

عنوان مقالات

- تأثیر کاپاکاراگینان بر ژل پر شده امولسیون سرد ایزوله پروتئین آب پنیر: یک مطالعه رئولوژیکی و مکانیکی ۵۰۱
محمدرضا صلاحی- سید محمد علی رضوی- محبت محبی
- بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی پودر سس پنیر فراسودمند حاوی عصاره هسته خرما و پودر آب پنیر ۵۱۹
فاطمه قربان پور- وحید حکیمزاده- حسن رشیدی
- بررسی اثر افزودن اسانس اسطوخودوس بر پایداری اکسایشی روغن کانولا تحت شرایط تسریع شده ۵۳۵
فاطمه سادات خاتقایی- فاطمه اکرمی مهاجری- الهه عسکری- حسین فلاح زاده- الهام خلیلی صدرآباد
- بهینه‌سازی عوامل مؤثر بر ویژگی آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی پروتئین هیدرولیز شده کتچاله کتجد با تخمیر توسط باسیلوس
سایتیلیس ۵۴۹
پریسا راعی- مرتضی خمیری- علیرضا صادقی ماهونک- علی مؤیدی- محبوبه کشیری
- بررسی پیش‌تیمارهای فراصوت و پوشش‌دهی با صمغ‌های مرو و گزانتان بر کیفیت، ترکیبات فنلی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و خصوصیات
حسی زغال‌اخته خشک‌شده به روش فرورسرخ ۵۶۱
معین اینانلودوقوز- فخرالدین صالحی- مصطفی کرمی- اشرف گوهری اردبیلی
- اثر زمان فراصوت بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی روغن‌های ماهی کیلکا، ذرت و سویا ۵۷۵
رضا فرهمندفر- سمانه فرقانی
- بررسی تأثیر صمغ فارسی بر ویژگی‌های میکروبی، فیزیکوشیمیایی و حسی پنیر فراپالایش آب‌نمکی طی دوره نگهداری ۵۹۱
علی‌اکبر غلامحسین‌پور- سعید زارع
- ارزیابی اثرات ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی فیلم تهیه شده از صمغ دانه مرو حاوی نانوامولسیون اسانس برگ بو (*Laurus nobilis*) ۶۰۹
حدیث تقواطلب- درنوش جعفرپور

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."

آذر- دی ۱۴۰۳

شماره ۵

جلد ۲۰

صاحب امتیاز: دانشگاه فردوسی مشهد

مدیر مسئول: دکتر ناصر شاهنوشی

سردبیر: 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

- ۵۰۱ تأثیر کاپاکاراگینان بر ژل پر شده امولسیون سرد ایزوله پروتئین آب پنیر: یک مطالعه رئولوژیکی و مکانیکی
محمدرضا صلاحی - سید محمد علی رضوی - محبت محبی
- ۵۱۹ بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی پودر سس پنیر فراسودمند حاوی عصاره هسته‌ی خرما و پودر آب پنیر
فاطمه قربان پور - وحید حکیمزاده - حسن رشیدی
- ۵۳۵ بررسی اثر افزودن اسانس اسطوخودوس بر پایداری اکسایشی روغن کانولا تحت شرایط تسریع شده
فاطمه سادات خانقایی - فاطمه اکرمی مهاجری - الهه عسکری - حسین فلاح زاده - الهام خلیلی صدرآباد
- ۵۴۹ بهینه‌سازی عوامل مؤثر بر ویژگی آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی پروتئین هیدرولیز شده کنجاله کنجد با تخمیر توسط *باسیلوس*
سابتیلیس
پریسا راعی - مرتضی خمیری - علیرضا صادقی ماهونک - علی مؤیدی - محبوبه کشیری
- ۵۶۱ بررسی پیش تیمارهای فراصوت و پوشش دهی با صمغ‌های مرو و گزانتان بر کیفیت، ترکیبات فنلی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و خصوصیات حسی زغال اخته خشک شده به روش فروسرخ
معین اینانلودوقوز - فخرالدین صالحی - مصطفی کرمی - اشرف گوهری اردبیلی
- ۵۷۵ اثر زمان فراصوت بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی روغن‌های ماهی کِلکا، ذرت و سویا
رضا فرهمندفر - سمانه فرقانی
- ۵۹۱ بررسی تأثیر صمغ فارسی بر ویژگی‌های میکروبی، فیزیکوشیمیایی و حسی پنیر فراپالایش آب‌نمکی طی دوره نگهداری
علی اکبر غلامحسین پور - سعید زارع
- ۶۰۹ ارزیابی اثرات ضد میکروبی و آنتی اکسیدانی فیلم تهیه شده از صمغ دانه مرو حاوی نانوامولسیون اسانس برگ بو (*Laurus nobilis*)
حدیث تقواطلب - درنوش جعفرپور

Influence of *k*-Carrageenan on Whey Protein Isolate Cold-Set Emulsion Filled Gel: A Rheological and Mechanical Study

M.R. Salahi^{1,3}, S.M.A. Razavi^{2,3*}, M. Mohebbi²

1 and 2- Ph.D. Graduated and Professor, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, respectively.

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

3- Center of Excellence in Native Natural Hydrocolloids of Iran, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran

Received: 16.04.2023
Revised: 18.05.2023
Accepted: 01.07.2023
Available Online: 02.07.2023

How to cite this article:

Salahi, M.R., Razavi, S.M.A., & Mohebbi, M. (2024). Influence of *k*-Carrageenan on whey protein isolate cold-set emulsion filled gel: A rheological and mechanical study. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 20(5), 499-515. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/ifstrj.2023.81976.1251>

Introduction

Emulsion-filled gel is a sort of gel system that traps oil droplets as a filler and contains a wide range of semi-solid to solid food products. It can also be utilized as a dual system to distribute and control the release of both lipophilic and hydrophilic bioactive and micronutrient substances. The main polymers involved in gel formation in food products are proteins and polysaccharides. Using molecular interactions between biopolymers, a wide range of rheological and physicochemical properties of gels can be methodically created. As a result, the interaction between proteins and polysaccharides has received a lot of attention in order to generate novel products. Because of their functional qualities and high nutritional value, whey proteins are frequently used in the food industry. As a result, mixed gels based on whey protein have gained a lot of attention. *k*-Carrageenan is commonly utilized in the food industry as a gelling and firming agent. Because *k*-Carrageenan, like whey protein isolate, can form a gel independently, its interaction with whey protein isolate in emulsion gel systems appears appealing. Therefore, in this study, the effect of *k*-Carrageenan gum (0.0, 0.1, 0.3, 0.5, and 0.7%) on the textural (uniaxial compression test), rheological (steady shear, strain sweep, and frequency sweep tests), and water holding capacity of cold-set emulsion-filled gel based on whey protein isolate was investigated.

Materials and Methods

Whey protein isolate (WPI) (98.9% protein, dry basis) was given as a gift by Agropur Ingredients Co. (Le Sueur, Minnesota, USA). *k*-Carrageenan and CaCl_2 (m_w : 147.01 gr/mol) were purchased from Sigma Aldrich Co. (USA) and Merck Co. (Darmstadt, Germany), respectively. Sunflower oil was supplied from local supermarket. Stock dispersions of WPI and *k*-Carrageenan were prepared by dissolving sufficient amounts of their powders in deionized water. To prepare uniform oil in water emulsion, sunflower oil was added to the WPI dispersion and the obtained mixture homogenized first using a laboratory rotor-stator homogenizer (15000 rpm, 3 min), then by an ultrasonic homogenizer (20 kHz, 5 min). The prepared emulsion and *k*-Carrageenan dispersions were poured into Schott bottles and heated in a water bath (90 °C, 40 min). WPI emulsion and AG dispersion were mixed in a cylindrical container on a stirring plate at a speed of 600 rpm for 6-8 min to obtain a homogeneous mixture. After decreasing the temperature to 60 °C for the ion-induced gelation, the mixtures were charged with CaCl_2 (10 mM). The prepared samples were incubated in a refrigerator overnight to stabilize the 3D network. The final mixed EFG samples contained 5.5% WPI, 20% oil, and 0, 0.1, 0.3, 0.5, and 0.7% (w/w) of *k*-carrageenan. The tests performed on emulsion-filled gel samples were: 1) steady shear (0.01-10 s^{-1}), 2) strain sweep (strain: 0.1-1000%, frequency: 1 Hz), 3) frequency sweep (frequency: 0.1-100 Hz, strain: 0.5%), 4) uniaxial compression (target strain: 80%, deformation speed: 1 mm/s), and 5) water holding capacity (by utilizing a microcentrifuge, 600×g for 10 min).



©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.2023.81976.1251>

Results and Discussion

According to the results of steady shear test, all samples had a shear thinning behavior, and based on the power-law model, this behavior was intensified in the presence of *k*-Carrageenan; and with increasing the gum concentration from 0 to 0.7%, the consistency coefficient increased from 339.9 to 545.7 Pa.s. In the strain sweep test, with the increase in the gum concentration, the values of the elastic and viscous modulus in the linear region and the modulus at the crossover point increased, and $\tan \delta_{LVE}$ decreased from 0.17 to 0.13, which indicated an increase in the strength of the emulsion gel network structure. Based on the frequency sweep test, with the increase in *k*-Carrageenan concentration, the parameters K' and K'' , network strength and network expansion increased from 5311.8 Pa, 939.9 Pa, 1.5380 Pa.s^{1/2} and 10.05 in the control sample to 25080 Pa, 3574.9 Pa, 16097.7 Pa.s^{1/2} and 16.41 in the sample containing 0.7% *k*-Carrageenan, respectively. Moreover, the frequency dependency of elastic modulus decreased from 0.095 in the control sample to 0.050 in the 0.7% *k*-Carrageenan contained sample. According to the large deformation test, in general, in the composite emulsion-filled gels, the values of apparent modulus of elasticity and fracture stress were higher and fracture strain and fracture energy were lower than in the control sample. Also, the results showed that different *k*-Carrageenan concentrations had no significant effect on the water holding capacity.

Conclusion

The obtained results showed that *k*-Carrageenan had considerable influence on the rheo-mechanical features of cold-set emulsion-filled gels based on whey protein which can add to the knowledge base for the production of new functional foods.

Keywords: Cold set emulsion filled gel, *k*-Carrageenan, Rheology, Texture, Whey protein

مقاله پژوهشی

جلد ۲۰، شماره ۵، آذر-دی ۱۴۰۳، ص. ۴۹۹-۵۱۵

تأثیر کاپاکاراگینان بر ژل پر شده امولسیون سرد ایزوله پروتئین آب پنیر: یک مطالعه رئولوژیکی و مکانیکی

محمدرضا صلاحی^۱ و^۳ سید محمد علی رضوی^۲ و^{۳*} - محبت محبی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۱۰

چکیده

در پژوهش حاضر، اثر صمغ کاپاکاراگینان (۰، ۰/۱، ۰/۳، ۰/۵، ۰/۷ درصد) بر ویژگی‌های مکانیکی (آزمون فشاری تک محور)، رئولوژیکی (آزمون‌های برشی پایا، کرنش متغیر و فرکانس متغیر) و ظرفیت نگهداری آب ژل سرد پر شده امولسیون مبتنی بر ایزوله پروتئین آب پنیر بررسی شد. طبق نتایج آزمون برشی پایا، تمامی نمونه‌ها دارای رفتار تضعیف شونده با برش بودند و بر اساس مدل قانون توان، در حضور کاپاکاراگینان این رفتار تشدید می‌شد؛ و با افزایش غلظت صمغ از صفر تا ۰/۷ درصد، مقدار ضریب قوام از ۳۳۹/۹ تا ۵۴۵/۷ پاسکال در ثانیه افزایش می‌یافت. در آزمون کرنش متغیر، با افزایش درصد صمغ مقادیر مدول الاستیک و ویسکوز در ناحیه خطی و مدول در نقطه تقاطع افزایش یافتند و $\tan \delta_{LVE}$ از ۰/۱۷ به ۰/۱۳ کاهش پیدا کرد که بیانگر افزایش استحکام ساختار شبکه ژل امولسیون بود. بر اساس آزمون فرکانس متغیر، با افزایش غلظت کاپاکاراگینان، پارامترهای K' و K'' ، قدرت شبکه و گسترش شبکه به ترتیب از ۵۳۱۱/۸ پاسکال، ۹۳۹/۹ پاسکال، ۵۳۸۰/۱ پاسکال در ثانیه و ۱۰/۰۵ در نمونه ژل امولسیون شاهد تا ۲۵۰۸۰/۶ پاسکال، ۳۵۷۴/۹ پاسکال، ۱۶۰۹۷/۷ پاسکال در ثانیه و ۱۶/۴۱ در نمونه حاوی ۰/۷ درصد کاراگینان افزایش یافتند. به‌طور کلی، در ژل‌های امولسیونی مرکب، مقادیر مدول ظاهری الاستیسیته و تنش شکست بیشتر و کرنش شکست و انرژی شکست کمتر از نمونه شاهد بود. همچنین، نتایج نشان داد که غلظت‌های مختلف کاپاکاراگینان اثر معنی‌داری بر ظرفیت نگهداری آب نمونه‌های ژل امولسیون نداشت. نتایج این پژوهش می‌تواند به دانش تولید غذاهای کاربردی جدید مبتنی بر برهمکنش پروتئین-پلی ساکارید بیفزاید.

واژه‌های کلیدی: بافت، پروتئین آب پنیر، رئولوژی، ژل سرد پر شده امولسیونی، کاپاکاراگینان

مقدمه

ترمودینامیکی، ژل‌های پر شده امولسیونی پایداری بالایی دارند و به دلیل اینکه هر دو مزیت ژل و امولسیون را با هم دارند، می‌توانند به عنوان یک سیستم دوگانه برای تحویل و کنترل رهایش هر دو طیف ترکیبات زیست فعال و ریز مغذی چربی‌دوست و آب‌دوست مانند پروبیوتیک‌ها، آنزیم‌ها، ویتامین‌ها، کاروتنوئیدها، آلفا توکوفرول و نیز ترکیبات آروماتی مورد استفاده قرار گیرند (Bao Alavi et al., 2020; Maltais; Lu et al., 2019; Chen et al., 2020; et al., 2020; Mao et al., 2018; et al., 2010). پروتئین‌ها و پلی ساکاریدها پلیمرهای اصلی در تشکیل ژل در محصولات غذایی هستند. طیف وسیعی از خواص رئولوژیکی و فیزیکی شیمیایی ژل‌ها می‌تواند به‌طور سیستماتیک با استفاده از برهمکنش‌های مولکولی بین بیوپلیمرها توسعه یابد. از این رو، برهمکنش بین پروتئین‌ها و پلی ساکاریدها به منظور توسعه محصولات نوین بسیار مورد توجه قرار گرفته است

ژل پر شده امولسیونی^۲ نوعی سیستم ژلی است که در آن قطرات روغن به‌عنوان پر کننده به دام افتاده‌اند و طیف گسترده‌ای از محصولات نیمه‌جامد تا جامد مانند ماست، سس، بستنی، پنیر و گوشت‌های فرآوری شده را در صنایع غذایی در بر می‌گیرند (Liu et al., 2015; Farjami & Madadlou, 2019). از نظر

۱ و ۲- به ترتیب دانش‌آموخته دکتری و استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۳- قطب علمی هیدروکلوئیدهای طبیعی بومی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

(*) نویسنده مسئول: (Email: s.razavi@um.ac.ir)

<https://doi.org/10.22067/ifstrj.2023.81976.1251>
2- Emulsion-filled gel

(Xiong et al., 2017). برهمکنش‌های بین پروتئین و پلی‌ساکارید به ویژگی‌های آنها (مانند وزن مولکولی و چگالی بار) و نیز شرایط محیطی (مانند pH، حضور یون‌ها و دما) بستگی دارد (Behrouzian & Razavi, 2020; Çakır & Foegeding, 2011). در تهیه ژل امولسیون‌ها معمولاً از پروتئین‌ها به دلیل داشتن هر دو خصوصیت امولسیفایری و ژل‌دهندگی به عنوان پایه ساختار ژل و از پلی‌ساکاریدها برای بهبود خواص رئومکانیکی و فیزیکوشیمیایی استفاده می‌شود (Salahi et al., 2024).

پروتئین‌های آب پنیر به دلیل خصوصیات عملکردی و ارزش غذایی بالا به طور گسترده در صنایع غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. لذا، ژل‌های ترکیبی مبتنی بر ایزوله پروتئین آب پنیر بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. ایزوله پروتئین آب پنیر به طور عمده از پروتئین‌های کروی شامل بتالاکتوگلوبولین (۵۰ درصد) و آلفاکاتالابومین (۲۰ درصد) تشکیل شده است (Behrouzian & Razavi, 2020). به منظور تشکیل ساختارهای ژلی، مولکول‌های کروی پس از دناتوره شدن، متراکم شده و به یکدیگر متصل می‌شوند و بسته به شرایط محیطی ساختارهایی با ویژگی‌های بافتی متفاوتی ایجاد می‌کنند.

کاپاکاراگینان^۱ به طور گسترده به عنوان یک عامل ژل‌دهنده و سفت‌کننده ساختار در صنایع غذایی از جمله صنایع لبنیات مورد استفاده قرار می‌گیرد. از آنجا که کاپاکاراگینان همانند ایزوله پروتئین آب پنیر قادر به تشکیل ژل به صورت مستقل است، لذا برهمکنش آن با ایزوله پروتئین آب پنیر جذاب به نظر می‌رسد. پس از انجام فرآیند حرارتی و در مرحله سرد کردن، ژل شدن کاپاکاراگینان در یک فرآیند دو مرحله‌ای شامل انتقال کوپل مارپیچی و سپس تجمع و تشکیل شبکه در حضور کاتیون‌ها رخ می‌دهد که خصوصیات فیزیکی ژل حاصل به غلظت پلیمر، نوع و غلظت کاتیون مورد استفاده و نیز سرعت سرد شدن محلول حرارت داده شده دارد (Çakır & Foegeding, 2011).

هنگامی که پروتئین‌ها و پلی‌ساکاریدها دو فاز بیوپلیمری را تشکیل می‌دهند، ژلاسیون معمولاً با ژل شدن فاز پروتئینی رخ می‌دهد. به طور کلی، ژل پروتئین‌ها با فرآیند حرارت تشکیل می‌شود که طی آن مولکول‌های پروتئین باز شده، به طور منظم متراکم شده و شبکه‌ای ایجاد می‌کنند که در نهایت منجر به ایجاد بافت ایده‌آلی در مواد غذایی می‌شود (Jiang et al., 2018). پروتئین‌های کروی می‌توانند از طریق روش گرم^۲ یا روش سرد^۳ به اشکال ژل‌های نرم تا جامد

تبدیل شوند. در روش‌های گرم، فرآیند عملیاتی ساده‌تر است به طوری که پدیده‌های دناتوره شدن، تجمع و ژل شدن به طور هم‌زمان در طول عملیات حرارتی رخ می‌دهند. اما تشکیل ژل به روش سرد در دو مرحله انجام می‌شود: در مرحله اول، محلول پروتئینی تحت فرآیند حرارتی قرار می‌گیرد تا مولکول‌های پروتئین دناتوره شده، به توده‌های محلول تبدیل شوند. در واقع در این مرحله، تشکیل توده‌های محلول پس از فرآیند حرارتی برای ژل‌سازی به روش سرد بسیار ضروری است. پس از سرد کردن محلول پروتئینی حرارت داده شده در ژل سازی به روش سرد، تشکیل ژل با اضافه کردن نمک‌هایی مانند NaCl و CaCl₂ (ژل شدن سرد ناشی از نمک)، یا با اضافه کردن اسیدی کننده‌هایی مانند گلوکونو دلتا لاکتون (ژل شدن سرد ناشی از اسید)، یا با اضافه کردن آنزیمی مانند ترانس گلوتامیناز (ژل شدن سرد ناشی از آنزیم) و یا استفاده از مخلوطی از این عوامل انجام می‌گیرد (Salahi et al., 2022a). روش‌های سرد نسبت به روش‌های گرم مزایای بیشتری دارند به عنوان مثال، روش‌های سرد می‌توانند از اجزای غذایی حساس به حرارت مانند ویتامین B₁ و پروبیوتیک‌ها محافظت کنند، همچنین کنترل بیشتری روی شکل نهایی، ساختار و بافت ژل وجود دارد (Kazemi-Taskooh & Varidi, 2021).

هدف از انجام این پژوهش، ایجاد درک بهتر در مورد ساختار ژل‌های پر شده امولسیونی مرکب تهیه شده به روش سرد حاصل از مخلوط ایزوله پروتئین آب پنیر و پلی‌ساکارید کاپاکاراگینان بر اساس آزمون‌های مکانیکی، رئولوژیکی و فیزیکوشیمیایی است.

مواد و روش‌ها

مواد

ایزوله پروتئین آب پنیر از شرکت آگروپور (Le Sueur, Minnesota, USA) تهیه شد که طبق آنالیز ارائه شده توسط شرکت متشکل از ۹۸/۹٪ پروتئین (بر مبنای وزن خشک)، ۰/۳٪ چربی، ۱/۷٪ خاکستر و ۴/۶٪ رطوبت با مقدار pH=۶/۹ (محلول ۱۰٪) بود (شماره سری ساخت: ۰۶۰-۱۹-۴۲۰). روغن آفتابگردان (ساخت شرکت اوپلا) از یک سوپر مارکت تهیه و به طور مستقیم و بدون انجام فرآیندهای خالص‌سازی مورد استفاده قرار گرفت. صمغ کاپاکاراگینان از شرکت سیگما آلدریج (آمریکا)، تهیه شد. نمک کلسیم کلرید دهیدراته (CaCl₂·2H₂O)، با وزن مولکولی ۱۴۷/۰۱ gr/mol نیز از شرکت مرک (Darmstadt, Germany) خریداری شد.

1- *k*-Carrageenan

2- Heat-set

3- Cold-set

آماده‌سازی نمونه‌ها

تهیه محلول صمغ

به‌منظور تهیه دیسپرسیون‌های صمغ کاپاکاراگینان، مقادیر لازم از پودر صمغ به آرامی همراه با مخلوط کردن توسط همزن مغناطیسی به آب دیونیزه اضافه شدند. عمل هم زدن با سرعت ۳۰۰ دور بر دقیقه و تا زمان تکمیل فرآیند انحلال و جذب آب توسط صمغ در دمای محیط ادامه داشت. پس از آن محلول صمغ به‌مدت ۲۴-۱۸ ساعت جهت انجام هیدراتاسیون کامل مولکول‌های صمغ در دمای یخچال (۴ درجه سانتی‌گراد) نگهداری شدند. صمغ کاپاکاراگینان بر اساس ایجاد غلظت‌های ۰/۱، ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ درصد در نمونه‌های ژل‌های پر شده امولسیونی تهیه شدند.

تهیه امولسیون ایزوله پروتئین آب پنیر

در ابتدا ایزوله پروتئین آب پنیر به آرامی حین هم زدن به آب دیونیزه اضافه شد. به‌منظور هیدراتاسیون کامل پروتئین‌ها، دیسپرسیون به‌مدت ۲ ساعت و با سرعت ۳۰۰ دور بر دقیقه توسط همزن مغناطیسی در دمای محیط هم‌زده شد. سپس، مقدار مناسبی از روغن آفتابگردان برای ایجاد غلظت ۲۰ درصد وزنی-وزنی در فرمولاسیون نهایی، به دیسپرسیون ایزوله پروتئین آب پنیر اضافه شد و مخلوط حاصل به‌مدت ۱ ساعت دیگر هم زده شد. به‌منظور هموژنیزه کردن مخلوط حاصل، از دستگاه همگن‌ساز التراتوراکس (مدل IKA، آلمان) با سرعت ۱۵۰۰ دور بر دقیقه به‌مدت ۳ دقیقه و در دمای محیط استفاده شد. در ادامه، به‌منظور یکنواختی بیشتر امولسیون، از دستگاه اولتراسونیک (مدل ۴۰۰-UHP، ۲۰ kHz، ساخت شرکت توسعه فناوری مافوق صوت، ایران) مجهز به یک پروب استوانه‌ای از جنس تیتانیوم و با قطر ۱۳ میلی‌متر استفاده شد. پروب دستگاه به اندازه ۲ سانتی‌متر در داخل نمونه‌ها فرو برده شد و عمل هموژنیزاسیون به‌مدت ۵ دقیقه و به‌صورت پالسی (۲۰ ثانیه روشن، ۱۰ ثانیه خاموش) انجام شد. با استفاده از یک حمام آب سرد، دمای نمونه‌ها طی فرآیند سونیکاسیون در محدوده ۳۰-۲۵ درجه سانتی‌گراد ثابت نگه داشته شد (Salahi et al., 2024).

تهیه نمونه‌های ژل‌های پر شده امولسیونی

امولسیون‌های تهیه شده درون بطری‌های شیشه‌ای ریخته شده و درون حمام آب داغ به‌مدت ۴۰ دقیقه در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شدند. برای صمغ کاپاکاراگینان نیز فرآیند حرارتی مشابهی انجام گرفت. بلافاصله پس از انجام فرآیند حرارتی، صمغ کاپاکاراگینان با امولسیون حرارت دیده درون ظروف پلاستیکی با قطر داخلی ۵۵ میلی‌متر مخلوط شده و روی همزن مغناطیسی با سرعت

۶۰۰ rpm برای ایجاد یک مخلوط یکنواخت هم‌زده شدند. پس از کاهش دمای مخلوط به ۶۰-۵۵ درجه سانتی‌گراد، به‌منظور تشکیل ژل، مقدار مناسبی از محلول ۵ درصد از نمک CaCl_2 تهیه شده برای ایجاد غلظت ۱۰ میلی‌مولار در فرمولاسیون نهایی به سیستم اضافه شد و سپس به‌منظور پخش یکنواخت نمک در نمونه‌های ژل، عمل هم زدن به‌مدت ۲ دقیقه و با سرعت ۶۰۰ دور بر دقیقه انجام شد. در پایان، به‌منظور تکمیل تشکیل ساختار ژل، نمونه‌ها به‌مدت یک شب در یخچال با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. در پایان این بخش ۵ نمونه ژل امولسیون شامل یک نمونه ژل امولسیون شاهد حاوی ۵/۵ درصد از ایزوله پروتئین آب پنیر و ۲۰ درصد از روغن به همراه نمونه‌های ژل امولسیون مرکب حاوی کاپاکاراگینان با غلظت‌های ۰/۱، ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ درصد تهیه شدند. قبل از انجام ارزیابی‌های خصوصیات ژل‌های امولسیونی تهیه شده، نمونه‌ها جهت رسیدن به دمای محیط به‌مدت یک ساعت در دمای ۲۲-۲۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

آزمون‌ها

آزمون‌های رئولوژیکی

برای ارزیابی خواص رئولوژی نمونه‌ها از دستگاه رئومتر پارافیزیکا (مدل ۳۰۱ MCR، شرکت Anton Paar) مجهز به پروب صفحه موازی با قطر ۵۰ میلی‌متر و اندازه گپ ۲۰۰۰ میکرومتر استفاده شد. تمامی آزمون‌ها در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد. برای کنترل دما از سیستم (Viscotherm VT2) Peltier مجهز به سیرکولاتور سیال با دقت ۰/۱ درجه سانتی‌گراد استفاده شد. برای ایجاد تعادل دمایی، قبل از شروع آزمون‌ها، نمونه‌ها به مدت ۳-۵ دقیقه در این دما قرار داشتند. داده‌های حاصل از آزمون‌های رئولوژیکی توسط نرم‌افزار رئوپلاس نسخه ۳/۴۰ ثبت شدند. همچنین برای برازش داده‌ها از نرم افزار متلب نسخه ۲۰۱۷b استفاده شد.

آزمون رئولوژیکی برشی پایا

اثر درجه برش بر رفتار رئولوژیکی نمونه‌ها در دامنه s^{-1} ۱۰-۰/۱ ارزیابی گردید. به‌منظور توصیف کمی خصوصیات رئولوژیکی پایا در نمونه‌های ژل امولسیون از مدل قانون توان^۱ (معادله ۱) استفاده شد:

$$\eta_a = k\dot{\gamma}^{(n-1)} \quad (1)$$

که در این مدل η_a نشان‌دهنده ویسکوزیته ظاهری (Pa.s)، k نشان‌دهنده ضریب قوام (Pa.sⁿ)، $\dot{\gamma}$ نشان‌دهنده درجه برش (s^{-1}) و n نشان‌دهنده شاخص رفتار جریان (بدون واحد) هستند (Salahi et al., 2022b):

آزمون‌های رئولوژیکی برشی دینامیک نوسان کم^۱

آزمون کرنش متغیر

در این پژوهش با استفاده از آزمون کرنش متغیر در دامنه کرنش ۰/۱۰۰-۱ درصد خصوصیات ویسکوالاستیک نمونه‌های ژل‌های پر شده امولسیون در میزان فرکانس ثابت ۱ Hz مورد ارزیابی قرار گرفت. پارامترهای مورد بررسی حاصل از این آزمون شامل مدول الاستیک (G'_{LVE} , Pa)، مدول ویسکوز (G''_{LVE} , Pa)، مقدار تانژانت اتلاف ($\tan \delta_{LVE}$)، ناحیه کرنش خطی (γ_L ، درصد)، مقدار کرنش در نقطه جریان (γ_F ، درصد)، تنش در نقطه جریان (τ_F , Pa)، و مدول متناظر آن ($G_F: G' = G''$, Pa) بودند (2020, Behrouzian & Razi et al., 2018; Razavi).

آزمون فرکانس متغیر

برای ارزیابی طیف مکانیکی نمونه‌های ژل امولسیون، آزمون فرکانس متغیر در دامنه فرکانس ۰/۱ تا ۱۰۰ هرتز و در دمای ثابت ۲۰ درجه سانتی‌گراد در ناحیه ویسکوالاستیک خطی^۲ (LVE) و تحت کرنش ثابت ۰/۵ درصد انجام شد. به‌منظور ارزیابی میزان وابستگی به فرکانس مدول‌های الاستیک و ویسکوز ژل‌های امولسیونی از مدل توانی (معادله‌های ۲ و ۳) استفاده شده است:

$$G' = K' \times \omega^{n'} \quad (2)$$

$$G'' = K'' \times \omega^{n''} \quad (3)$$

که در این معادله‌ها، K' (Pa.s^{n'}) و K'' (Pa.s^{n''}) به‌ترتیب عرض از مبدأ منحنی لگاریتمی مدول الاستیک و ویسکوز در برابر فرکانس زاویه‌ای را نشان می‌دهند که به‌ترتیب نشان‌دهنده سفتی شبکه و ضریب قوام ژل‌های امولسیونی هستند. همچنین، پارامترهای n' و n'' به‌ترتیب نشان‌دهنده میزان وابستگی مدول الاستیک و مدول ویسکوز به فرکانس هستند. مقدار K'/K'' (بدون بعد) نمونه‌های ژل امولسیون نیز مورد بررسی قرار گرفت. این پارامتر مقدار متوسط تانژانت اتلاف را در طول بازه فرکانسی مورد مطالعه نشان می‌دهد که برای محاسبه نسبت جزء ویسکوز به جزء الاستیک در یک سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرد.

علاوه بر این، به‌منظور تعیین قدرت ژل‌های امولسیونی تهیه شده، مقادیر مدول کمپلکس در برابر فرکانس به‌وسیله معادله ۴ برازش داده شدند:

$$G^* = \sqrt{G'^2 + G''^2} = A \times \omega^{1/z} \quad (4)$$

که در این معادله، G^* بیانگر ویسکوزیته کمپلکس (Pa)، A توصیف‌کننده قدرت شبکه ($\text{Pa.s}^{1/z}$) و مقدار z نشان‌دهنده تعداد اتصالات (بدون بعد) هستند (Khubber et al., 2021).

ارزیابی خواص مکانیکی بافتی ژل‌های امولسیونی

آزمون فشاری تک محوره نمونه‌های ژل امولسیون توسط دستگاه آنالیز بافت (مدل CNS Farnell Com, UK) و در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد. در این آزمون از پروب استوانه‌ای مدل TA25/1000 با قطر ۵۰ میلی‌متر استفاده شد. سرعت حرکت پروب در هر دو مرحله بارگذاری و باربرداری برابر با ۱ میلی‌متر بر ثانیه بود. میزان بار شروع^۳ ثبت داده‌ها ۰/۰۵ نیوتن بود. نمونه‌ها به‌مدت ۱ ساعت قبل از انجام آزمون درون انکوباتور یخچال‌دار برای رسیدن به دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. در ادامه، نمونه‌های ژل امولسیون به شکل استوانه و با ابعاد ۲۰ در ۲۰ میلی‌متر تهیه شدند. نمونه‌ها تا میزان کرنش ۸۰ درصد طبق شرایط بیان شده تحت فشار قرار گرفتند. برای ارزیابی پارامترهای بافتی از نرم‌افزار Brookfield TexturePro CT v1.0 استفاده شد. آزمون بافتی حداقل در سه تکرار و روی نمونه‌های تهیه شده در روزهای مختلف انجام شد. پارامترهای مورد بررسی عبارت بودند:

تنش شکست واقعی^۴: مقدار تنش در اولین انحناء مشاهده شده در نمودار تنش شکست واقعی-کرنش شکست واقعی که نشان دهنده ایجاد یک شکست مشخص در ساختار است.

کرنش شکست واقعی^۵: مقدار کرنش در اولین انحناء مشاهده شده در نمودار تنش شکست واقعی-کرنش شکست واقعی که نشان‌دهنده ایجاد یک شکست مشخص در ساختار است.

انرژی شکست: مساحت زیر منحنی تنش شکست-کرنش شکست تا نقطه شکست، و

مدول ظاهری الاستیسیته^۶: شیب ناحیه خطی محاسبه شده در نمودار تنش شکست واقعی-کرنش شکست واقعی تا مقدار کرنش واقعی ۱۵ درصد.

ظرفیت نگهداری آب^۷

برای این منظور از دستگاه میکروسانتریفیوژ مطابق با روش اوربوناite و همکاران (Urbonaite et al., 2014) با کمی تغییر

- 3- Trigger load
- 4- True fracture stress
- 5- True fracture strain
- 6- Apparent modulus of elasticity
- 7- Water holding capacity

- 1- Small amplitude oscillatory shear
- 2- Linear viscoelastic region

سرعت تخریب آنها کمتر است. این نوع رفتار برای اکثر محلول‌های هیدروکلوئیدی قابل مشاهده است که ناشی از وزن مولکولی بالا و درگیری‌ها و تجمعات پلیمری است. رفتار تضعیف شونده با برش برای هیدروکلوئیدهای آگار، کاراگینان و پکتین (Alghooneh, 2019; Marcotte et al., 2001)، گزارش شده است.

به‌منظور تعیین خصوصیات جریان نمونه‌های ژل امولسیون، مدل‌های مختلفی از جمله قانون توان، هرشل بالکلی^۱، کراس^۲، کاریو^۳ و سیسکو^۴ روی داده‌های رفتار جریان پایا مورد برآزش قرار گرفتند. اما همان‌طور که در شکل ۱ قابل مشاهده است داده‌ها در ناحیه قانون توان قرار دارند لذا قابل پیش‌بینی بود که مدول قانون توان به‌عنوان بهترین گزینه برای انجام برآزش باشد. بر اساس این مدل، میزان ضریب قوام (k) در نمونه شاهد برابر با $339/9 \text{ Pa.s}^n$ بود (جدول ۱). نتایج نشان داد با افزایش غلظت کاپاکاراگینان، مقدار k در نمونه‌های ژل امولسیون افزایش یافته و در محدوده $545/7 \text{ Pa.s}^n$ قرار داشت. ظرفیت زنجیره‌های پلیمری برای تشکیل ساختارهای سه‌بعدی می‌تواند دلیل افزایش ویسکوزیته ظاهری ژل امولسیون ایزوله پروتئین آب پنیر در حضور پلی‌ساکاریدها باشد.

مقدار شاخص رفتار جریان (n) در نمونه شاهد بر اساس مدل قانون توان برابر با $0/064$ بود. مقدار پارامتر n در نمونه‌های حاوی صمغ کاپاکاراگینان کمتر از نمونه شاهد بوده در محدوده $0/038$ - $0/019$ قرار داشت. این نتایج نشان‌دهنده رفتار بسیار تضعیف‌شونده با برش نمونه‌های ژل امولسیون تهیه شده است. پارامتر n شدت تغییرات ویسکوزیته را در برابر درجه برش نشان می‌دهد. مقادیر پایین به‌دست آمده برای n با توجه به تغییرات زیاد ویسکوزیته ظاهری در برابر تغییرات کم درجه برش قابل توجیه است. به‌عنوان مثال، در نمونه شاهد مقدار ویسکوزیته از حدود 25000 Pa.s در درجه برش s^{-1} به 10^1 در حدود $12/5 \text{ Pa.s}$ در درجه برش s^{-1} کاهش پیدا می‌کند، یعنی در این بازه محدود از درجه برش، مقدار ویسکوزیته ظاهری حدود 2000 مرتبه کاهش پیدا کرده است. به‌طور مشابه، لیو و همکاران (Liu et al., 2022) گزارش کردند که ژل‌های امولسیونی حاصل از ایزوله پروتئین آب پنیر-آلژینات سدیم که با استفاده از روش امولسیون لایه به لایه تشکیل شده بودند، بسیار به درجه برش حساس بوده و ویسکوزیته ظاهری با افزایش درجه برش به شدت کاهش پیدا می‌کرد به‌طوری‌که مقدار آن از حدود 86000 Pa.s در درجه برش s^{-1} به کمتر از 1000 Pa.s در درجه برش s^{-1} می‌رسید. همچنین، مقدار n مشابهی ($0/019$) برای پروتئین‌های

استفاده شد. ژل‌های امولسیونی با استفاده از چوب‌پنبه سوراخ‌کن با ابعاد 10 میلی‌متر ارتفاع و $4/8$ میلی‌متر قطر برش داده شدند. سپس با استفاده از میکرواسپاتول، نمونه‌ها درون میکروتیوب‌های فیلتر دار 2 میلی‌لیتری قرار داده شدند. این میکروتیوب‌ها درون تیوب‌های دیگری قرار گرفتند تا سرم رهایش یافته از ساختار ژل که از فیلتر عبور می‌کند در طی عمل سانتریفیوژ درون آن جمع آوری شود. عمل سانتریفیوژ با سرعت 600 g به مدت 10 دقیقه در دمای 20 درجه سانتی‌گراد انجام شد. پس از انجام عمل سانتریفیوژ، مایع زهکشی شده از تیوب داخلی به تیوب خارجی منتقل شده و تفاوت وزن بین تیوب خارجی قبل و بعد از سانتریفیوژ مطابق فرمول ۵ برای محاسبه میزان سرم رهایش یافته از ساختار ژل امولسیون مورد استفاده قرار گرفت:

$$(\%) \text{ ظرفیت نگهداری آب} = \frac{W_T - W_g}{W_T} \times 100 \quad (5)$$

که در این معادله، W_T مقدار آب در نمونه‌های ژل امولسیون قبل از انجام سانتریفیوژ (برحسب گرم) و W_g مقدار آب خارج شده از نمونه‌ها طی انجام عمل سانتریفیوژ است. میزان آب موجود در ژل‌های امولسیونی با خشک کردن نمونه‌ها در دمای 105 درجه سانتی‌گراد به مدت 10 ساعت در آون تعیین شد. ظرفیت نگهداری آب برای دو نمونه از هر تیمار در دو روز مختلف انجام شد و هر نمونه تهیه شده سه بار مورد تکرار قرار گرفت (۶ تکرار برای هر تیمار).

آنالیز آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌های مربوط به ویژگی‌های رئومکانیکی و ظرفیت نگهداری آب ژل‌های پر شده امولسیونی به‌صورت آنالیز واریانس یک‌طرفه (one-way ANOVA) در سطح اطمینان 95% ($P < 0/05$) با استفاده از نرم‌افزار Minitab نسخه ۱۸ انجام شد. همچنین، برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون Tukey استفاده شد. برآزش داده‌ها با نرم‌افزار Matlab نسخه ۲۰۱۷b و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۹ انجام شد.

نتایج و بحث

آزمون تنش برشی پایا

رفتار جریان نمونه‌های ژل امولسیون ایزوله پروتئین آب پنیر به عنوان تابعی از غلظت کاپاکاراگینان در بازه درجه برشی s^{-1} - 10 در شکل ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشخص است در تمامی نمونه‌ها، با افزایش درجه برش ویسکوزیته ظاهری کاهش یافته که نشانگر رفتار غیر نیوتنی تضعیف شونده با برش آنها است. رفتار تضعیف شونده با برش بیانگر آن است که در این بازه از درجه برش سرعت تشکیل پیوندهای بین مولکولی از

1- Herschel-Bulkley

2- Cross

3- Carreau

4- Sisko

فیبریل شده سفیده تخم مرغ که از حرارت دادن محلول پروتئینی در شرایط اسیدی با زمان انکوباسیون ۴۸ ساعت تشکیل شده بود، گزارش شده است (Alavi et al., 2020).

کرنش متغیر

نمودارهای کرنش متغیر به دست آمده نمونه‌های ژل امولسیون به عنوان تابعی از غلظت کاپاکاراگینان در شکل ۲ و نتایج پارامترهای حاصل از این آزمون در جدول ۲ ارائه شده‌اند. طبق نتایج به دست آمده، در آزمون کرنش متغیر می‌توان دو ناحیه را از یکدیگر جدا کرد: (۱) یک ناحیه LVE که در آن G' و G'' تقریباً موازی یکدیگر هستند و مقادیر ثابتی دارند و مقدار G' در این بخش در تمامی نمونه‌ها بالاتر از مقدار G'' است که نشان‌دهنده رفتار جامد-مانند در نمونه‌ها در مقیاس زمانی ۱ Hz است؛ (۲) یک ناحیه غیر خطی که در این بخش مقادیر G' و G'' با افزایش کرنش روند کاهشی پیدا کرده و در نقطه-ای یکدیگر را قطع می‌کنند و پس از این نقطه مقادیر G'' بالاتر از مقادیر G' می‌شود. همان‌طور که در شکل ۲ مشخص است، مدول ویسکوز بعد از ناحیه خطی در ابتدا افزایش و سپس کاهش پیدا می‌کند و بنابراین، رفتار نمونه‌ها از نوع جهش ضعیف با کرنش^۱ است که این رفتار نشان‌دهنده پیچیدگی ساختاری بالای نمونه‌ها است (Hyun et al., 2002). انجام آزمون‌ها در ناحیه LVE یکنواختی ساختاری نمونه‌ها را تضمین می‌کند و پارامترهای ویسکوالاستیکی به دست آمده در این ناحیه نشان‌دهنده خواص واقعی نمونه‌ها هستند که می‌تواند برای کنترل کیفیت محصولات غذایی مفید باشد (Moreno et al., 2020).

مقادیر G'_{LVE} و G''_{LVE} در نمونه ژل امولسیون شاهد به ترتیب برابر با $4438/3$ و $751/4$ Pa بود. در تمامی نمونه‌های ژل امولسیون مرکب، مقدار پارامترهای G'_{LVE} و G''_{LVE} بالاتر از نمونه شاهد بوده و با افزایش غلظت صمغ افزایش پیدا می‌کردند و بیشترین مقدار این پارامترها در نمونه حاوی ۰/۷ درصد از کاپاکاراگینان به ترتیب برابر با $15883/5$ و $2066/7$ پاسکال بود. این نتایج بیانگر تقویت رفتار شبه جامدی شبکه ژلی ایزوله پروتئین آب پنیر در حضور پلی‌ساکارید کاپاکاراگینان در مقیاس زمانی ۱ هرتر است.

پارامتر $\tan \delta_{LVE}$ ، که به صورت نسبت G''_{LVE} به G'_{LVE} تعریف می‌شود، بیانگر رفتار فیزیکی نمونه‌ها است. همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است، مقادیر $1 > \tan \delta_{LVE} > 0/1$ است که بیانگر آن است که نمونه‌ها ژل واقعی نیستند و ساختاری بین بیوپلیمر با غلظت بالا و ژل واقعی^۲ دارند (وجود ساختار الاستیک در ژل بیوپلیمر

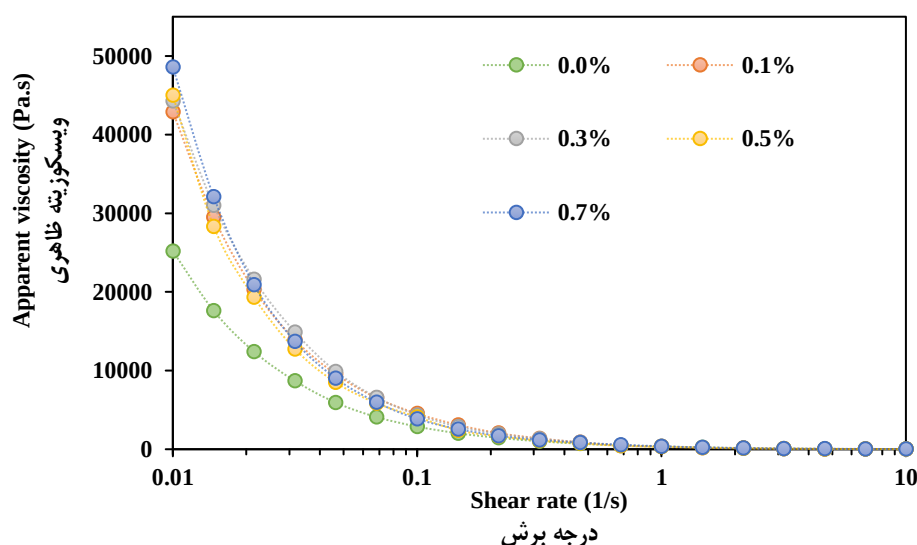
ضعیف). مقدار $\tan \delta_{LVE}$ در نمونه شاهد برابر با ۰/۱۷ بوده و اضافه کردن صمغ کاپاکاراگینان به‌طور معنی‌داری مقدار این پارامتر را کاهش می‌دهد و به مقدار ۰/۱۳ در غلظت ۰/۷ درصد از این صمغ می‌رسد که نشان‌دهنده آن است که با افزایش غلظت کاپاکاراگینان، نمونه‌ها به سمت تشکیل ساختار ژل واقعی حرکت می‌کنند (۰/۱ < $\tan \delta_{LVE}$). مقدار $\tan \delta_{LVE}$ برای صمغ کاپاکاراگینان، در غلظت ۱٪ و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد برابر با ۰/۰۷ گزارش شده است (Alghooneh, 2019).

پارامتر γ_L بیانگر طول ناحیه ویسکوالاستیک خطی است و حداکثر کرنشی را نشان می‌دهد که پس از آن مدول الاستیک شروع به کاهش می‌کند. همان‌طور که در جدول ۲ مشخص است، بالاترین مقدار γ_L در نمونه شاهد مشاهده شد (۲/۵۳ درصد). در حضور کاپاکاراگینان مقدار γ_L کاهش پیدا کرد و با افزایش درصد صمغ شدت کاهش مقدار γ_L مشهودتر بود به‌طوری‌که کمترین مقدار γ_L در نمونه ژل امولسیون حاوی ۰/۷ درصد کاپاکاراگینان مشاهده شد (۰/۸۶ درصد). این رفتار نشان می‌دهد که در حضور صمغ کاپاکاراگینان، ساختار ژل امولسیون ایزوله پروتئین آب پنیر نسبت به کرنش در تغییر شکل‌های کوچک‌تر شکننده‌تر می‌شود (Behrouzian & Razavi, 2020). همان‌طور که در شکل ۲ مشخص است، در تمامی نمونه‌ها، مدول‌های الاستیک و ویسکوز به وضوح در ناحیه غیر خطی کاهش پیدا کرده و در نقطه‌ای با یکدیگر تلاقی پیدا می‌کنند. مقدار مدول در نقطه تقاطع (G_F) می‌تواند به عنوان یک شاخص خوب برای توصیف استحکام یک سازه در نقطه شروع جریان مورد استفاده قرار بگیرد (Alghooneh, 2019). مقدار پارامتر G_F با افزایش غلظت کاپاکاراگینان افزایش پیدا کرده و از مقدار $1053/40$ پاسکال در نمونه شاهد به مقدار $2790/08$ در ژل امولسیون مرکب حاوی ۰/۷ درصد از صمغ می‌رسید.

پارامتر τ_F بیانگر میزان تنش در نقطه تقاطع است و لذا حداکثر مقاومت سازه را در مقابل تخریب و وقوع جریان نشان می‌دهد (Sun & Gunasekaran, 2009). مقدار این پارامتر در تمامی ژل‌های امولسیونی مرکب بالاتر از مقدار آن در نمونه شاهد بوده (Pa) $327/76$ بوده و بیشترین مقدار آن در نمونه حاوی ۰/۵ درصد از کاپاکاراگینان مشاهده شد (۴۷۵/۸۲).

مقدار کرنش در نقطه جریان (γ_F) نیز مورد محاسبه قرار گرفت. در نمونه ژل امولسیون شاهد γ_F برابر با $22/08$ درصد بوده و مقدار آن در ژل‌های امولسیونی مرکب تحت تأثیر غلظت پلی‌ساکارید قرار داشته به‌طوری‌که غلظت ۰/۷ درصد کاپاکاراگینان سبب کاهش چشمگیر مقدار این پارامتر شده (۹/۷۳ درصد) که بیانگر تردی بالای این نمونه است.

- 1- Weak strain overshoot
- 2- True gel



شکل ۱- اثر غلظت کاپاکاراگینان بر ویسکوزیته ظاهری ژل‌های پر شده امولسیونی

 Fig. 1. Effect of *k*-Carrageenan concentration on the apparent viscosity of emulsion-filled gels

جدول ۱- پارامترهای رئولوژیکی برشی ثابت ژل‌های پر شده با امولسیون در غلظت‌های مختلف کاپاکاراگینان بر اساس مدل قانون توان

 Table 1- Steady shear rheological parameters of emulsion-filled gels at different concentrations of *k*-Carrageenan based on the power-law model

<i>k</i> -Carrageenan (%) کاپا کاراگینان	k (Pa.s ^{<i>n</i>}) ضریب قوام	n (-) شاخص رفتار جریان	R^2 ضریب تعیین
0.0	339.9 ± 24.03 ^b	0.064 ± 0.005 ^a	0.999
0.1	468.4 ± 19.9 ^a	0.019 ± 0.003 ^c	0.999
0.3	497.5 ± 35.2 ^a	0.023 ± 0.003 ^{bc}	0.999
0.5	513.2 ± 36.3 ^a	0.038 ± 0.005 ^b	0.994
0.7	545.7 ± 40.1 ^a	0.032 ± 0.004 ^{bc}	0.995

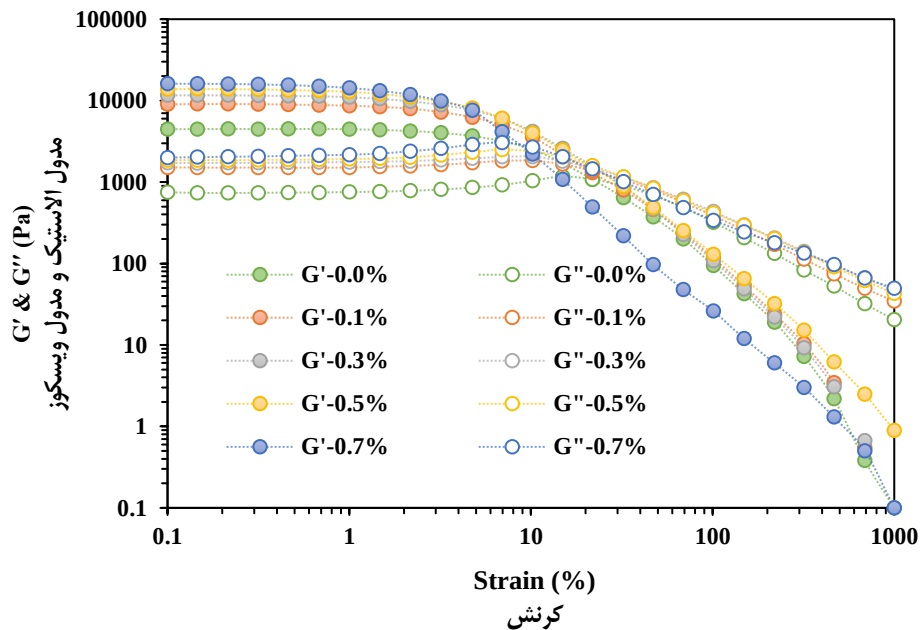
 بالانویس‌های مختلف در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت قابل توجهی در $P < 0.05$ است. داده‌ها میانگین ± انحراف معیار هستند.

 Different superscripts in each column represent a significant difference at $P < 0.05$. Data are means ± standard deviation.

فرکانس متغیر

آزمون فرکانس متغیر واکنش ماده به یک تغییر شکل ثابت در بازه‌های زمانی مختلف را نشان می‌دهد. نمودارهای فرکانس متغیر نمونه‌های ژل امولسیون در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشخص است، در تمامی دامنه فرکانس اعمال شده، مقدار مدول الاستیک بزرگ‌تر از مدول ویسکوز بوده و نمودارهای آنها کاملاً با یکدیگر موازی هستند و در هیچ نقطه‌ای همدیگر را قطع نکرده و نیز وابستگی اندکی به فرکانس از خود نشان می‌دهند. این نتایج تأیید کننده شبکه سه‌بعدی و جامد گونه نمونه‌های ژل امولسیون بوده که حتی در مقادیر بالای فرکانس نیز پایدار است. پارامترهای حاصل از برآزش بر داده‌های مدول الاستیک (n' , K') و مدول ویسکوز (n'' , K'') با استفاده از معادله قانون توان در جدول ۳ ارائه شده است. مقادیر بالای R^2 (۰/۸۶ – ۰/۹۹)

به‌دست آمده از این برآزش‌ها بیانگر مناسب بودن مدل قانون توان برای پیش‌بینی میزان وابستگی به فرکانس مدول‌های الاستیک و ویسکوز است. نتایج نشان داد که غلظت کاپاکاراگینان اثر بسیار معنی‌داری بر پارامترهای K' و K'' دارد. مقادیر K' و K'' به‌دست آمده در نمونه شاهد به‌ترتیب برابر با ۵۳۱۱/۸ و ۹۳۹/۹ Pa بودند. در نمونه‌های ژل امولسیون حاوی پلی کاپاکاراگینان، با افزایش غلظت صمغ از ۰/۱ تا ۰/۷ درصد، مقدار پارامترهای K' و K'' به‌طور مستقیم افزایش پیدا کرده و به‌ترتیب در محدوده‌های ۱۵۹۳۹/۴ – ۸۷۶۲/۲ پاسکال و ۱۶۲۶/۶ – ۲۳۸۸/۷ پاسکال قرار داشتند. افزایش مقادیر K' و K'' در حضور کاپاکاراگینان بیانگر افزایش استحکام سیستم ژل امولسیونی ایزوله پروتئین آب پنیر به‌دلیل توانایی این پلی‌ساکارید در تشکیل شبکه‌های سه‌بعدی قدرتمند است.



شکل ۲- وابستگی به کرنش متغیر مدول الاستیک (G') و مدول ویسکوز (G'') ژل‌های پر شده امولسیون به عنوان تابعی از غلظت کاپاکاراگینان
Fig. 2. Strain sweep dependency of elastic modulus (G') and viscous modulus (G'') of emulsion-filled gels as a function of the k -Carrageenan concentration

جدول ۲- پارامترهای رئولوژیکی دینامیکی ژل‌های پر شده امولسیون تعیین شده توسط آزمون کرنش متغیر
Table 2- Dynamic rheological parameters of emulsion-filled gels determined by the strain sweep test

کاپاکاراگینان (%)	مدول الاستیک در G'_{LVE} (Pa)	مدول ویسکوز در G''_{LVE} (Pa)	مدول اتلاف $\tan \delta_{LVE}$ (-)	ناحیه کرنش خطی γ_L (%)	مدول در نقطه تقاطع G_F (Pa)	تنش در نقطه جریان τ_F (Pa)	کرنش در نقطه جریان γ_F (%)
0.0	4438.3 ± 313.8 ^e	751.4 ± 53.1 ^d	0.17 ± 0.01 ^a	2.53 ± 0.16 ^a	1053.4 ± 59.6 ^c	327.76 ± 15.30 ^d	22.08 ± 0.94 ^a
0.1	8875.3 ± 313.8 ^d	1512.8 ± 59.9 ^c	0.17 ± 0.01 ^a	1.51 ± 0.10 ^b	1364.2 ± 77.2 ^{bc}	407.23 ± 16.13 ^{bc}	22.93 ± 0.65 ^a
0.3	11426.7 ± 646.4 ^c	1736.1 ± 61.4 ^{bc}	0.15 ± 0.01 ^{ab}	1.24 ± 0.08 ^{bc}	1447.9 ± 92.1 ^b	454.39 ± 15.42 ^{ab}	22.85 ± 0.97 ^a
0.5	13548.9 ± 574.8 ^b	1883.8 ± 53.3 ^{ab}	0.14 ± 0.00 ^b	1.13 ± 0.09 ^{bc}	1706.2 ± 72.4 ^b	475.82 ± 23.55 ^a	17.52 ± 0.62 ^b
0.7	15883.5 ± 629.0 ^a	2066.7 ± 76.0 ^a	0.13 ± 0.00 ^b	0.86 ± 0.05 ^c	2790.1 ± 125.3 ^a	344.37 ± 9.74 ^{cd}	9.73 ± 0.48 ^c

بالانویس‌های مختلف در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت قابل توجهی در $P < 0.05$ است. داده‌ها میانگین ± انحراف معیار هستند.

Different superscripts in each column represent a significant difference at $P < 0.05$. Data are means ± standard deviation.

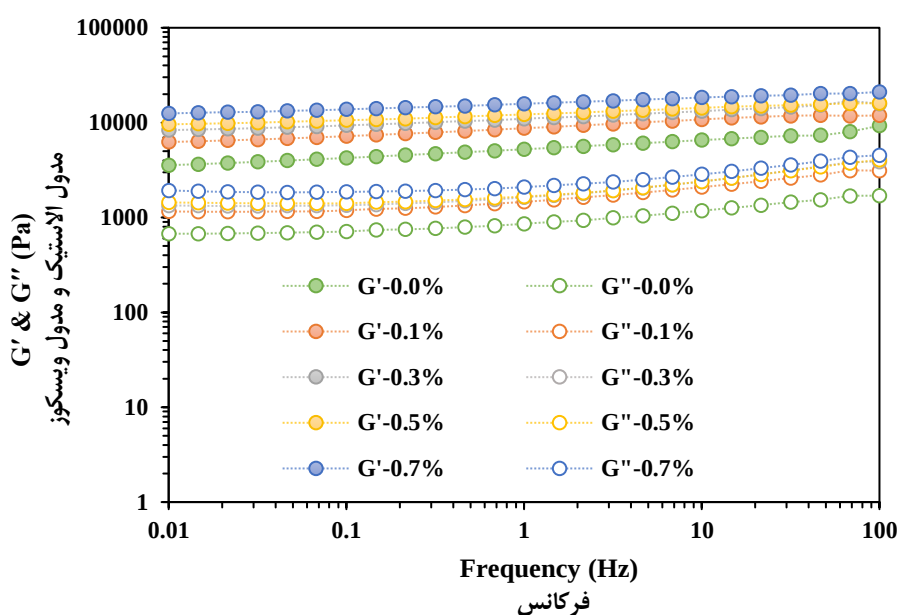
۰/۰۵۰ و ۰/۱۱۶-۰/۰۹۰ متغیر و نزدیک به مقدار مربوط به ژل حقیقی (صفر) بودند. این مقادیر نشان می‌دهد که مدول الاستیک نمونه‌ها تقریباً مستقل از فرکانس است که نشان‌دهنده الاستیسیته و قدرت بالای ساختار ژل‌های امولسیونی تهیه شده است. این عدم وابستگی با افزایش غلظت کاپاکاراگینان تقویت شد به‌طوری‌که کمترین مقدار پارامترهای n' و n'' در نمونه ژل امولسیون حاوی ۰/۷ درصد از این صمغ ثبت شد. مقدار n' در تمامی نمونه‌های ژل امولسیون تهیه شده کمتر از n'' است. این بدان معنی است که با

پارامترهای n' و n'' می‌توانند برای مشخص کردن خواص ویسکوالاستیک نمونه‌ها مورد بررسی قرار بگیرند به‌طوری‌که در ژل‌های کاملاً الاستیک که وابستگی به فرکانس از خود نشان نمی‌دهند، مقدار پارامترهای n' و n'' برابر با صفر است، در حالی‌که مقادیر n' و n'' بالاتر از صفر نشان‌دهنده آن است که ژل‌ها به فرکانس وابسته بوده و خاصیت الاستیک کمتری دارند (Razi et al., 2018; 2021; 2022b; Salahi et al., 2022b). طبق جدول ۳، مقدار پارامترهای n' و n'' به‌ترتیب در محدوده‌های ۰/۰۹۵-

است. همان‌طور که در **جدول ۳** مشاهده می‌شود، مقدار K''/K' در تمامی نمونه‌ها کمتر از ۱ بوده و در محدوده ۰/۱۳ تا ۰/۱۹ قرار دارد که نشان‌دهنده ساختارهای ژلی قدرتمند در نمونه‌های ژل امولسیون تشکیل شده است. در نمونه شاهد مقدار K''/K' برابر با ۰/۱۸ بوده، با افزایش غلظت کاپاکاراگینان مقدار این پارامتر کاهش پیدا کرده و به مقدار ۰/۱۵ در غلظت ۰/۷ درصد از این پلی‌ساکارید می‌رسد که نشان‌دهنده تشکیل ساختار ژلی قدرتمند در این نمونه است.

کاهش فرکانس، سرعت کاهش در مقدار K' کمتر از سرعت کاهش در مقدار K'' است (Moreno et al., 2020). مقادیر n' و n'' گزارش شده برای صمغ کاپاکاراگینان در غلظت ۱ درصد و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به ترتیب برابر با ۰/۰۵ و ۰/۰۸ بودند (Alghooneh, 2019).

نسبت پارامتر K'' به پارامتر K' (K''/K') نیز می‌تواند برای ارزیابی قدرت ژل‌ها مورد استفاده قرار بگیرد به طوری که افزایش شدت رفتار جامد نمونه‌ها با افزایش بیشتر K' نسبت به K'' همراه



شکل ۳- وابستگی به فرکانس متغیر مدول الاستیک (G') مدول ویسکوز (G'') ژل‌های پر شده امولسیونی به عنوان تابعی از غلظت کاپاکاراگینان
Fig. 3. Frequency sweep dependency of elastic modulus (G') and viscous modulus (G'') of emulsion-filled gels as a function of the k -Carrageenan concentration

جدول ۳- پارامترهای رئولوژیکی دینامیکی ژل‌های پر شده امولسیونی تعیین شده با آزمون فرکانس متغیر

Table 3- Dynamic rheological parameters of emulsion-filled gels determined by the frequency sweep test

k -Carrageenan (%)	$G' = K' \times (\omega)^{n'}$			$G'' = K'' \times (\omega)^{n''}$			$K''/K' (-)$
	$K' (\text{Pa})$	$n' (-)$	R^2	$K'' (\text{Pa})$	$n'' (-)$	R^2	
0.0	5311.8 ± 187.8 ^d	0.095 ± 0.005 ^a	0.988	939.9 ± 33.2 ^c	0.116 ± 0.009 ^a	0.934	0.18 ± 0.01 ^a
0.1	8767.2 ± 248.0 ^c	0.079 ± 0.004 ^b	0.986	1626.6 ± 69.0 ^b	0.117 ± 0.007 ^a	0.941	0.18 ± 0.01 ^a
0.3	11212.7 ± 412.3 ^b	0.070 ± 0.003 ^{bc}	0.983	1865.7 ± 92.3 ^b	0.120 ± 0.005 ^a	0.913	0.17 ± 0.01 ^{ab}
0.5	12298.5 ± 434.8 ^b	0.060 ± 0.003 ^{cd}	0.995	1922.1 ± 68.2 ^b	0.110 ± 0.003 ^{ab}	0.888	0.16 ± 0.01 ^{ab}
0.7	15939.4 ± 721.3 ^a	0.050 ± 0.002 ^d	0.996	2388.7 ± 94.6 ^a	0.090 ± 0.004 ^b	0.863	0.15 ± 0.01 ^b

بالانویس‌های مختلف در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت قابل توجهی در $P < 0.05$ است. داده‌ها میانگین ± انحراف معیار هستند.

Different superscripts in each column represent a significant difference at $P < 0.05$. Data are means ± standard deviation.

آگاهی‌های ارزشمندی در زمینه ساختارهای رئولوژیکی و خواص ماکروسکوپی در نمونه‌های ژل را نشان دهند به این شکل که ماده به عنوان شبکه‌ای از واحدها در نظر گرفته می‌شود که با یکدیگر برهمکنش داشته و ساختار ژل را تشکیل می‌دهند. تعداد گره‌ها و

در ادامه، پارامترهای شبکه‌ای نمونه‌های ژل امولسیون تهیه شده شامل قدرت اتصالات (A) و تعداد اتصالات (یا توسعه شبکه) (Z) از طریق برازش داده‌های مدول کمپلکس (G^*) در برابر فرکانس با مدل قانون توان، مورد بررسی قرار گرفتند. این پارامترها می‌توانند

نشان داد که تعداد رشته‌های مؤثر^۱ و مدول رشته‌ها^۲ با مدول ظاهری الاستیسیته آنها رابطه مستقیمی دارد.

تنش شکست واقعی

مقدار تنش شکست واقعی در نمونه شاهد برابر با ۱۰/۳۹ kPa بود (جدول ۵). در حضور صمغ کاپاکاراگینان به غیر از غلظت ۰/۳ درصد که کمترین میزان تنش شکست واقعی را در بین تمام نمونه‌ها داشت (۹/۶۷ kPa)، در سایر سطوح غلظتی کاپاکاراگینان، مقدار این پارامتر افزایش پیدا کرده و بیشترین مقدار آن در غلظت ۰/۷ درصد از این پلی‌ساکارید مشاهده شد. در این نوع از ژل‌های مرکب، افزایش تنش شکست ممکن است ناشی از کاهش تداخل و افزایش همگنی شبکه ژلی با افزایش درصد پلی‌ساکاریدها (Jang Babaei et al., 2019; Matsubara, 2005 &) و یا افزایش غلظت موضعی و اتصالات بین تجمعات پروتئین‌ها (Çakır & Foegeding, 2011) باشد. مونیالو و همکاران (Munialo et al., 2016) دریافتند که در ژل‌های مخلوط ایزوله پروتئین آب پنیر و پولولان، با افزایش سطح صمغ از ۰ تا ۰/۱ درصد، مقدار تنش شکست نمونه افزایش و با افزایش غلظت صمغ از ۰/۱ تا ۰/۲ درصد، تنش شکست نمونه‌ها به میزان قابل توجهی کاهش پیدا می‌کرد. آنها بیان کردند که کاهش تنش شکست نشان‌دهنده آن است که حضور پولولان ساختار شبکه سه‌بعدی ژل را مختل می‌کند. آنها همچنین بیان کردند که کاهش تنش شکست ژل‌ها ممکن است به تجمع استرس در نقاط تماس بین مولکول‌های پروتئین و پلی‌ساکارید نسبت داده شود که باعث افزایش ناهمگنی در ماتریکس ژل و در نتیجه کاهش تنش شکست می‌شود.

کرنش شکست واقعی

کرنش شکست انعکاسی از ضعیف‌ترین نقطه در شبکه فضایی فاز جامد است و می‌تواند به‌عنوان معیاری برای تغییر شکل‌پذیری ژل‌ها در نظر گرفته شود (Vilela et al., 2011; Munialo et al., 2016). مقدار کرنش شکست واقعی در نمونه شاهد برابر با ۰/۵۷ بود (جدول ۵). در غلظت ۰/۱ درصد از صمغ کاپاکاراگینان، مقدار کرنش شکست نسبت به نمونه شاهد اندکی کاهش پیدا کرد (۰/۵۶) ($P > 0.05$) اما در غلظت ۰/۳ درصد از این پلی‌ساکارید، مقدار کرنش شکست به مقدار بسیار قابل توجهی کاهش پیدا کرد ($P < 0.05$) و به مقدار ۰/۲۴ رسید. در غلظت‌های ۰/۵ و ۰/۷ درصد کاپاکاراگینان، مقدار کرنش شکست واقعی مشابه بوده و وابستگی قابل توجهی به غلظت صمغ نداشت و از نظر آماری بین این دو نمونه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

رشته‌ها، و قدرت برهمکنش بین این اجزاء به‌منظور ایجاد یک شبکه سه‌بعدی به‌ترتیب توسط پارامترهای A و z مورد مطالعه قرار می‌گیرند (Yu et al., ; Khubber et al., 2021; Anvari & Joyner, 2017) 2020). همان‌طور که در جدول ۴ ارائه شده است، مقادیر پارامتر A در نمونه‌های ژل امولسیون مرکب بالاتر از مقدار آن در نمونه شاهد ($5380/1 \text{ Pa.s}^{1/2}$) بوده و بیشترین مقدار این پارامتر در نمونه حاوی ۰/۷ درصد از کاپاکاراگینان ($16096/7 \text{ Pa.s}^{1/2}$) مشاهده شد. افزایش مقدار پارامتر A در ژل‌های مرکب احتمالاً به‌دلیل ایجاد برهمکنش‌های مناسب بین ایزوله پروتئین آب پنیر و پلی‌ساکاریدها بوده که منجر به افزایش استحکام نمونه‌های ژل امولسیون می‌شود (Yu et al., 2020; Khubber et al., 2021). مقادیر پارامتر z در ژل‌های امولسیونی مرکب در بازه ۱۶/۴۱-۱۲/۱۴ ثبت شد که بالاتر از مقدار این پارامتر در نمونه شاهد (۱۰/۰۵) بوده و همانند پارامتر A ، بیشترین مقدار پارامتر z نیز در نمونه حاوی ۰/۷ درصد از کاپاکاراگینان مشاهده شد. مقدار پارامتر z می‌تواند تعیین‌کننده سختی و عدم انعطاف‌پذیری شبکه باشد و افزایش مقدار آن نشان می‌دهد که تعداد گره‌ها و رشته‌های متقابل شبکه ژل امولسیون ایزوله پروتئین افزایش پیدا کرده و شبکه ژلی گسترده‌تر شده است و افزایش ضریب A نشان می‌دهد که بزرگی برهمکنش‌ها افزایش یافته است (Salahi et al., 2022b; Gabriele et al., 2009). بر این اساس، می‌توان گفت که نمونه حاوی ۰/۷ درصد از کاپاکاراگینان دارای پیچیده‌ترین ساختار و بالاترین سطح برهمکنش‌های بین پروتئین و پلی‌ساکارید است.

ویژگی‌های مکانیکی بافتی

مدول ظاهری الاستیسیته

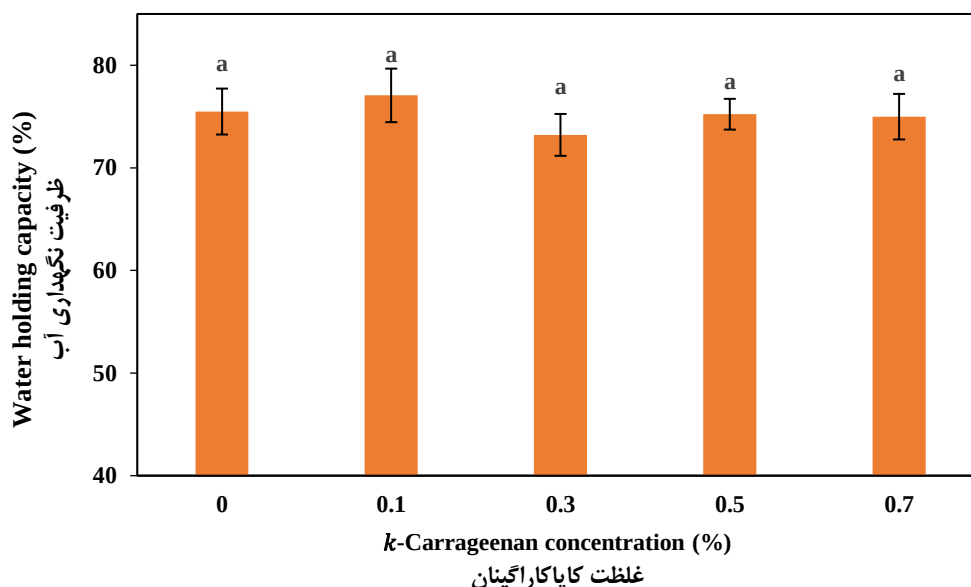
مدول ظاهری الاستیسیته معیاری برای بیان سفتی ژل‌ها است (Oliver et al., 2015). مقدار این پارامتر در نمونه ژل امولسیون شاهد برابر با ۲۳/۲۲ kPa بود (جدول ۵). نتایج نشان داد که در حضور صمغ کاپاکاراگینان و با افزایش غلظت آن از ۰/۱ تا ۰/۷ درصد، مقدار مدول ظاهری الاستیسیته به‌طور مستقیم افزایش پیدا کرده و در محدوده ۵۸/۹۶-۳۰/۶۲ قرار داشت. با افزایش غلظت پلی‌ساکاریدها و افزایش دافعه بین پروتئین‌ها و پلی‌ساکاریدها، غلظت موضعی و اتصال بین تجمعات پروتئینی افزایش پیدا کرده که می‌تواند دلیلی برای افزایش سفتی ژل‌ها باشد (Munialo et al., 2016). ولد وان دی و دی جونگ (van de Velde & de Jong, 2007) گزارش کردند که در ژل‌های مخلوط پروتئین آب پنیر و پلی‌ساکاریدها با چگالی بار متفاوت تهیه شده با روش ژل‌سازی سرد القاء شده با اسید، سفتی ژل‌ها با ریزساختار آنها مرتبط بوده به‌طوری‌که نتایج

1- Number of effective strands

2- Modulus of the strands

شکست مستقل از افزایش غلظت پلی ساکارید از ۰/۳ تا ۰/۷ درصد است که نشان می دهد این ویژگی تنها به وسیله برهمکنش های رخ داده بین بیوپلیمرها کنترل می شود.

($P > 0.05$) که این امر نشان می دهد نمونه ها از نظر مقدار کرنش شکست به تعادل رسیده اند. به طور مشابه، ویلیا و همکاران (Vilela *et al.*, 2011) در مطالعه خود روی ژل های مخلوط ایزوله پروتئین سویا-صمغ ژلان القاء شده با نمک CaCl_2 دریافتند که مقادیر کرنش



شکل ۴- اثر غلظت کاپاکاراگینان بر ظرفیت نگهداری آب ژل های پر شده امولسیونی

Fig. 4. Effect of *k*-Carrageenan concentration on the water holding capacity of emulsion-filled gels

جدول ۴- پارامترهای قدرت شبکه (*A*) و گسترش شبکه (*z*) ژل های پر شده امولسیونی

<i>k</i> -Carrageenan (%)	<i>A</i> (Pa. s ^{1/2})	<i>z</i> (-)	<i>R</i> ²
کاپاکاراگینان	قدرت شبکه	گسترش شبکه	ضریب تعیین
0.0	5380.1 ± 228.3 ^d	10.05 ± 0.38 ^c	0.977
0.1	8929.4 ± 315.7 ^c	12.14 ± 0.34 ^b	0.994
0.3	11313.3 ± 480.5 ^b	12.72 ± 0.54 ^b	0.997
0.5	12446.7 ± 352.0 ^b	15.73 ± 0.56 ^a	0.994
0.7	16096.7 ± 637.4 ^a	16.41 ± 0.56 ^a	0.995

بالانویس های مختلف در هر ستون نشان دهنده تفاوت قابل توجهی در $P < 0.05$ است. داده ها میانگین ± انحراف معیار هستند.

Different superscripts in each column represent a significant difference at $P < 0.05$. Data are means ± standard deviation.

جدول ۵- خواص مکانیکی ژل های پر شده امولسیونی اندازه گیری شده توسط آزمون فشاری تک محوره

<i>k</i> -Carrageenan (%)	Initial tangent modulus (kPa)	True fracture stress (kPa)	True fracture strain (-)	Fracture energy (mJ)
کاپاکاراگینان	مدول ظاهری الاستیسیته	تنش شکست واقعی	کرنش شکست واقعی	انرژی شکست
0.0	23.22 ± 1.16 ^d	10.39 ± 0.83 ^{cd}	0.58 ± 0.04 ^a	22.65 ± 2.97 ^b
0.1	30.58 ± 2.62 ^c	11.17 ± 0.57 ^c	0.56 ± 0.03 ^a	27.57 ± 2.42 ^a
0.3	46.51 ± 2.59 ^b	9.67 ± 0.76 ^d	0.24 ± 0.03 ^c	9.15 ± 1.54 ^e
0.5	49.29 ± 3.72 ^b	12.99 ± 1.17 ^b	0.31 ± 0.02 ^b	13.60 ± 1.29 ^d
0.7	62.96 ± 2.76 ^a	16.78 ± 1.22 ^a	0.34 ± 0.03 ^b	19.70 ± 2.71 ^c

بالانویس های مختلف در هر ستون نشان دهنده تفاوت قابل توجهی در $P < 0.05$ است. داده ها میانگین ± انحراف معیار هستند.

Different superscripts in each column represent a significant difference at $P < 0.05$. Data are means ± standard deviation.

انرژی شکست

مطابقت دارد؛ به طوری که با افزایش غلظت پلی ساکارید تغییر در ریزساختار ژل ها از حالت هموژن در نمونه شاهد به حالت دوپوسته^۱ در ژل های مرکب مشاهده شده است. در طرف مقابل، رضی و همکاران (Razi et al., 2018) و صلاحی و همکاران (Salahi et al., 2022a) گزارش کردند صمغ دانه ریحان باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب به ترتیب در ژل های مبتنی بر ایزوله پروتئین آب پنیر و آلومین تخم مرغ می شود که به دلیل تعامل بین مولکولی قدرتمند بین سیستم های پروتئین-پلی ساکارید بود.

نتیجه گیری

در این پژوهش امکان تولید ژل های پر شده امولسیون به روش سرد مبتنی بر ایزوله پروتئین آب پنیر به عنوان تابعی از غلظت پلی ساکارید کاپاکاراگینان بررسی شد. نمونه های تهیه شده تحت آزمون های برشی پایا، کرنش متغیر، فرکانس متغیر، TPA و ظرفیت نگهداری آب قرار گرفتند. نتایج حاصل از آزمون برشی پایا و برازش داده ها با مدل قانون توان، بیانگر رفتار به شدت غیر نیوتنی و تضعیف شونده با برش نمونه ژل امولسیون شاهد بوده امولسیون بوده ($n=0.64$) و استفاده از صمغ کاپاکاراگینان در تمامی سطوح غلظتی مورد مطالعه $0.7-0.1$ درصد این رفتار تضعیف شونده با برش را تشدید می کرد ($0.38 < n < 0.19$) که می تواند باعث احساس دهانی مطلوب شود. بر پایه اطلاعات به دست آمده از آزمون های برشی ناپایا (کرنش متغیر و فرکانس متغیر) می توان بیان کرد که حضور کاپاکاراگینان منجر به تقویت ساختمان شبکه ژل امولسیون ایزوله پروتئین آب پنیر و توسعه رفتار شبه جامد آن شده به طوری که بیشترین مقدار مدول الاستیک و کمترین مقدار مدول اتلاف در آزمون کرنش متغیر و بیشترین مقدار K' و کمترین مقدار n' در آزمون فرکانس متغیر در نمونه ژل امولسیون حاوی 0.7 درصد کاپاکاراگینان مشاهده شد. طبق نتایج آزمون TPA، به طور میانگین، در حضور صمغ کاپاکاراگینان مدول ظاهری الاستیسیته و تنش شکست واقعی افزایش و مقدار کرنش شکست واقعی و انرژی شکست کاهش پیدا کرد که بیانگر افزایش تردی نمونه های ژل امولسیون است. از نظر آماری، غلظت های مختلف کاپاکاراگینان تأثیر معنی داری بر مقدار پارامتر ظرفیت نگهداری آب نداشت. نتایج این پژوهش می تواند در طراحی سیستم های غذایی نوین از نظر بافتی و نیز حفظ، انتقال و رهایش ترکیبات ریزمغذی و طعمی در محیط دهان و دستگاه گوارش مفید باشد.

این پارامتر به عنوان مقدار انرژی مورد نیاز برای فشرده سازی نمونه تا نقطه شکست محاسبه می شود. مقدار پارامتر انرژی شکست در نمونه شاهد برابر با $24/65$ mJ بود (جدول ۵). در حضور غلظت 0.1 درصد از صمغ کاپاکاراگینان، مقدار انرژی شکست افزایش پیدا می کند، اما با ادامه افزایش غلظت این صمغ به 0.3 درصد، مقدار این پارامتر کاهش پیدا کرده برابر با $9/15$ mJ می شود. کاهش شدید میزان انرژی شکست در غلظت 0.3 درصد به دلیل کاهش قابل توجه انرژی شکست در این نمونه ها است. در ادامه، با افزایش غلظت صمغ به سطح 0.5 و 0.7 درصد، مجدداً میزان انرژی شکست روند افزایش پیدا کرده و در غلظت 0.7 درصد به مقدار $19/70$ mJ می رسد. ژل های با انرژی شکست کمتر در طی فراوری دهانی راحت تر به قطعات کوچک تر تجزیه شده و به تعداد سیکل های جویدن کمتری نیاز دارند (Luo et al., 2020).

ظرفیت نگهداری آب

ظرفیت نگهداری آب نقش مهمی در ارزیابی کیفیت ژل دارد و به ریزساختار، فعل و انفعالات بین ماتریکس ژل و آب و برهمکنش های بین پروتئین و پلی ساکارید مرتبط است (Yang et al., 2021; Zhao et al., 2020). شکل ۴ ظرفیت نگهداری نمونه های ژل امولسیون را به عنوان تابعی از غلظت کاپاکاراگینان نشان می دهد. در نمونه شاهد میزان ظرفیت نگهداری آب برابر با $75/49\%$ بود. نتایج نشان داد که نمونه های ژل امولسیون حاوی 0.1 و 0.3 درصد به ترتیب دارای بیشترین ($77/06$ درصد) و کمترین ($73/21$ درصد) میزان ظرفیت نگهداری آب نسبت به نمونه شاهد هستند ($75/49$ درصد). با این حال از نظر آنالیز آماری، غلظت های مختلف کاپاکاراگینان تأثیر معنی داری بر این پارامتر نداشتند ($P > 0.05$). پلی ساکاریدها می توانند اثرات متفاوتی بر ظرفیت نگهداری ژل های مبتنی بر پروتئین داشته باشند. به عنوان مثال ژانگ و وردهانابوتی (Vardhanabhuti & Zhang, 2014) و فوگدینگو ککر (Çakır, Foegeding & 2011)، ون دن برگ و همکاران (van den Berg et al., 2007) و صلاحی و همکاران (Salahi et al., 2022b) گزارش کردند که، به ترتیب، در ژل های مرکب حاصل از ایزوله پروتئین آب پنیر با پلی ساکاریدهای پکتین با متوکسیل پایین، کاپاکاراگینان، ژلان با متوکسیل پایین و آگار، ظرفیت نگهداری آب در حضور پلی ساکاریدها کاهش پیدا می کرد. این پژوهشگران اظهار داشتند که تفاوت در ظرفیت این ژل های مرکب در حفظ فاز آبی در شبکه خود در طول سانتریفیوژ با تفاوت های مشاهده شده در برهمکنش های پروتئین-پلی ساکارید و ویژگی های ریزساختاری آنها

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ تعارض منافی ندارند.

محمدعلی رضوی: مدیریت داده‌ها، مدیریت پروژه، نظارت، محبت

محبتی: مدیریت پروژه، نظارت.

میزان مشارکت

محمد رضا صلاحی: انجام آزمایشات، تحقیق و بررسی،

روش‌شناسی، مدیریت داده‌ها، نوشتن-پیش‌نویس اصلی، سید

منابع تأمین مالی

این مقاله از رساله دکتری آقای محمد رضا صلاحی با حمایت

مالی دانشگاه فردوسی مشهد با شماره طرح ۳/۴۹۹۳۹ ارائه شده

است که به این وسیله قدردانی می‌شود.

References

1. Alavi, F., Emam-Djomeh, Z., Mohammadian, M., Salami, M., & Moosavi-Movahedi, A.A. (2020). Physico-chemical and foaming properties of nanofibrillated egg white protein and its functionality in meringue batter. *Food Hydrocolloids*, 101, 105554. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105554>
2. Alghooneh, A. (2019). *Biopolymers identification and clustering based on rheological, thermal, and structural properties*. (Ph.D. thesis), Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian)
3. Anvari, M., Joyner, H.S. (2017). Effect of fish gelatin-gum arabic interactions on structural and functional properties of concentrated emulsions. *Food Research International*, 102, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.085>
4. Babaei, J., Mohammadian, M., & Madadlou, A. (2019). Gelatin as texture modifier and porogen in egg white hydrogel. *Food Chemistry*, 270, 189-195. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.109>
5. Bao, H., Ni, Y., Dong, H., & Liang, L. (2020). α -Tocopherol and resveratrol in emulsion-filled whey protein gels: Co-encapsulation and in vitro digestion. *International Dairy Journal*, 104, 104649. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104649>
6. Behrouzain, F., & Razavi, S.M.A. (2020). Structure-rheology relationship of basil seed gum-whey protein isolate mixture: Effect of thermal treatment and biopolymer ratio. *Food Hydrocolloids*, 102, 105608. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105608>
7. Çakır, E., & Foegeding, E.A. (2011). Combining protein micro-phase separation and protein-polysaccharide segregative phase separation to produce gel structures. *Food Hydrocolloids*, 25(6), 1538-1546. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.02.002>
8. Chen, H., Mao, L., Hou, Z., Yuan, F., & Gao, Y. (2020). Roles of additional emulsifiers in the structures of emulsion gels and stability of vitamin E. *Food Hydrocolloids*, 99, 105372. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105372>
9. de Jong, S., & van de Velde, F. (2007). Charge density of polysaccharide controls microstructure and large deformation properties of mixed gels. *Food Hydrocolloids*, 21(7), 1172-1187. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.09.004>
10. Farjami, T., & Madadlou, A. (2019). An overview on preparation of emulsion-filled gels and emulsion particulate gels. *Trends in Food Science and Technology*, 86, 85-94. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.043>
11. Gabriele, D., Migliori, M., Di Sanzo, R., Rossi, C.O., Ruffolo, S.A., & De Cindio, B. (2009). Characterisation of dairy emulsions by NMR and rheological techniques. *Food Hydrocolloids*, 23(3), 619-628. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.05.002>
12. Hyun, K., Kim, S.H., Ahn, K.H., & Lee, S.J. (2002). Large amplitude oscillatory shear as a way to classify the complex fluids. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 107, 51-65. [https://doi.org/10.1016/S0377-0257\(02\)00141-6](https://doi.org/10.1016/S0377-0257(02)00141-6)
13. Jang, B.-K., & Matsubara, H. (2005). Influence of porosity on hardness and Young's modulus of nanoporous EB-PVD TBCs by nanoindentation. *Materials Letters*, 59(27), 3462-3466. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2005.06.014>
14. Jiang, S., Altaf Hussain, M., Cheng, J., Jiang, Z., Geng, H., & Sun, Y. (2018). Effect of heat treatment on physicochemical and emulsifying properties of polymerized whey protein concentrate and polymerized whey protein isolate. *LWT-Food Science and Technology*, 98, 134-140. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.08.028>
15. Kazemi-Taskooh, Z., & Varidi, M. (2021). Designation and characterization of cold-set whey protein-gellan gum hydrogel for iron entrapment. *Food Hydrocolloids*, 111, 106205. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106205>
16. Khubber, S., Chaturvedi, K., Thakur, N., Sharma, N., & Yadav, S.K. (2021). Low-methoxyl pectin stabilizes low-fat set yoghurt and improves their physicochemical properties, rheology, microstructure and sensory liking. *Food Hydrocolloids*, 111, 106240. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106240>

17. Liu, F., Liang, X., Yan, J., Zhao, S., Li, S., Liu, X., & McClements, D.J. (2022). Tailoring the properties of double-crosslinked emulsion gels using structural design principles: Physical characteristics, stability, and delivery of lycopene. *Biomaterials*, 280, 121265. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2021.121265>
18. Liu, K., Stieger, M., van der Linden, E., & van de Velde, F. (2015). Fat droplet characteristics affect rheological, tribological and sensory properties of food gels. *Food Hydrocolloids*, 44, 244-259. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.09.034>
19. Lu, Y., Mao, L., Hou, Z., Miao, S., & Gao, Y. (2019). Development of emulsion gels for the delivery of functional food ingredients: from structure to functionality. *Food Engineering Reviews*, 11(4), 245-258. <https://doi.org/10.1007/s12393-019-09194-z>
20. Luo, N., Ye, A., Wolber, F.M., & Singh, H. (2020). In-mouth breakdown behaviour and sensory perception of emulsion gels containing active or inactive filler particles loaded with capsaicinoids. *Food Hydrocolloids*, 108, 106076. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106076>
21. Maltais, A., Remondetto, G.E., & Subirade, M. (2010). Tableted soy protein cold-set hydrogels as carriers of nutraceutical substances. *Food Hydrocolloids*, 24, 518-524. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.11.016>
22. Mao, L., Miao, S., Yuan, F., & Gao, Y. (2018). Study on the textural and volatile characteristics of emulsion filled protein gels as influenced by different fat substitutes. *Food Research International*, 103, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.10.024>
23. Marcotte, M., Hoshahili, A.R.T., & Ramaswamy, H.S. (2001). Rheological properties of selected hydrocolloids as a function of concentration and temperature. *Food Research International*, 34(8), 695-703. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(01\)00091-6](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(01)00091-6)
24. Moreno, H.M., Domínguez-Timón, F., Díaz, M.T., Pedrosa, M.M., Borderías, A.J., & Tovar, C.A. (2020). Evaluation of gels made with different commercial pea protein isolate: Rheological, structural and functional properties. *Food Hydrocolloids*, 99, 105375. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105375>
25. Munialo, C.D., van der Linden, E., Ako, K., Nieuwland, M., Van As, H., & de Jongh, H.H.J. (2016). The effect of polysaccharides on the ability of whey protein gels to either store or dissipate energy upon mechanical deformation. *Food Hydrocolloids*, 52, 707-720. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.08.013>
26. Oliver, L., Scholten, E., & van Aken, G.A. (2015). Effect of fat hardness on large deformation rheology of emulsion-filled gels. *Food Hydrocolloids*, 43, 299-310. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.05.031>
27. Razi, S.M., Motamedzadegan, A., Shahidi, A., & Rashidinejad, A. (2018). The effect of basil seed gum (BSG) on the rheological and physicochemical properties of heat-induced egg albumin gels. *Food Hydrocolloids*, 82, 268-277. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.01.013>
28. Salahi, M.R., Razavi, S.M.A., & Mohebbi, M. (2022a). Physicochemical, rheological and structural properties of cold-set emulsion-filled gels based on whey protein isolate-basil seed gum mixed biopolymers. *Food Biophysics*, 17(4), 635-649. <https://doi.org/10.1007/s11483-022-09751-w>
29. Salahi, M.R., Razavi, S.M.A., & Mohebbi, M. (2022b). Analyzing the effects of agar gum on the textural and rheological properties of cold-set whey protein isolate emulsion-filled gel. *Research and Innovation in Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.22101/JRIFST.2022.318480.1303>
30. Salahi, M.R., Razavi, S.M.A., & Mohebbi, M. (2024). Impact of *Lallemantia royleana* seed mucilage on the physicochemical, textural, rheological, and in-mouth breakdown behavior properties of cold-set whey protein isolate emulsion-filled gel. *LWT*, 191, 115691. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115691>
31. Sun, A., & Gunasekaran, S. (2009). Yield stress in foods: measurements and applications. *International Journal of Food Properties*, 12(1), 70-101. <https://doi.org/10.1080/10942910802308502>
32. Urbonaitė, V., De Jongh, H.H.J., Van der Linden, E., & Pouvreau, L. (2014). Origin of water loss from soy protein gels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(30), 7550-7558. <https://doi.org/10.1021/jf501728t>
33. van den Berg, L., van Vliet, T., van der Linden, E., van Boekel, M.A.J.S., & van de Velde, F. (2007). Serum release: The hidden quality in fracturing composites. *Food Hydrocolloids*, 21(3), 420-432. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.05.002>
34. Vilela, J.A.P., Cavallieri, Â.L.F., & Da Cunha, R.L. (2011). The influence of gelation rate on the physical properties/structure of salt-induced gels of soy protein isolate-gellan gum. *Food Hydrocolloids*, 25(7), 1710-1718. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.03.012>
35. Xiong, W., Ren, C., Tian, M., Yang, X., Li, J., & Li, B. (2017). Complex coacervation of ovalbumin-carboxymethylcellulose assessed by isothermal titration calorimeter and rheology: Effect of ionic strength and charge density of polysaccharide. *Food Hydrocolloids*, 73, 41-50. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.06.031>
36. Yang, Q., Wang, Y.-R., Li-Sha, Y.-J., & Chen, H.-Q. (2021). The effects of basil seed gum on the physicochemical and structural properties of arachin gel. *Food Hydrocolloids*, 110, 106189. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106189>

37. Yu, B., Zheng, L., Cui, B., Zhao, H., & Liu, P. (2020). The effects of acetylated distarch phosphate from tapioca starch on rheological properties and microstructure of acid-induced casein gel. *International Journal of Biological Macromolecules*, 159, 1132-1139. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.05.049>
38. Zhang, S., & Vardhanabhuti, B. (2014). Acid-induced gelation properties of heated whey protein–pectin soluble complex (Part II): Effect of charge density of pectin. *Food Hydrocolloids*, 39, 95-103. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.12.020>
39. Zhao, H., Chen, J., Hemar, Y., & Cui, B. (2020). Improvement of the rheological and textural properties of calcium sulfate-induced soy protein isolate gels by the incorporation of different polysaccharides. *Food Chemistry*, 310, 125983. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125983>

Investigating the Physicochemical Properties of Functional Cheese Sauce Powder Containing Date Kernel Extract and Whey Powder

F. Ghorbanpour¹, V. Hakimzadeh^{2*}, H. Rashidi³

1- M.Sc Student, Department of Food Science and Technology, Quchan Branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran

2- Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Quchan Branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran

(*- Corresponding Author Email: v.hakimzadeh@iauu.ac.ir)

3- Associate Professor, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and education center, AREEO, Mashhad, Iran

Received: 27.06.2023
Revised: 08.08.2023
Accepted: 09.09.2023
Available Online: 09.09.2023

How to cite this article:

Ghorbanpour, F., Hakimzadeh, V., & Rashidi, H. (2024). Investigating the physicochemical properties of functional cheese sauce powder containing date kernel extract and whey powder. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 20(5), 517-531. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/ifstrj.2023.83169.1267>

Introduction

One of the relatively new dairy products is cheese sauce, which can increase the consumption of cheese per capita and replace unhealthy sauces. Process functionality achieved by adding useful compounds to food in order to improve properties of foods while maintaining its appearance. Nowadays, due to the importance of some compounds such as essential fatty acids, antioxidants and fiber, the demand for consuming products containing these compounds in the diet is increasing. Date kernel extract contains fiber, antioxidants, lignans and essential fatty acids. Also, date kernels contain micronutrient such as selenium, iron, calcium, phenolic compounds, sterols, tocopherols, metal ions and essential amino acids. The functional properties of phenolic compounds and flavonoids in date kernels have also been proven. On the other hand, whey as a by-product in dairy plants has many nutritional properties and contains many essential and functional amino acids. In addition to the nutritional properties of whey powder, its technological properties such as creating viscosity are considered important in sauces formulation. The purpose of this research was to prepare cheese sauce using such compounds so that while preparing a useful product, it is possible to prevent the wastage of valuable by-products.

Materials and Methods

In this research, in order to prepare cheese sauce powder, the homogenized mixture was turned into powder by a spray dryer at 180°C. During the treatment of samples, date kernel extract was formulated at three levels of zero (control), 5 and 15%. In the treatments, one sample without whey and another sample with 15% of the final formula was considered. The effect of Date kernel extract and whey on the physicochemical properties of cheese sauce powder samples were investigated by determining solubility, dry matter, protein, total phenol, pH, viscosity and antioxidant activity. The organoleptic properties of samples, were also studied in 5-hedonic points. The results were analyzed in the form of a completely randomized design with 6 treatments and 3 replications. The software used was SPSS and the comparison of mean was done by Duncan's method at the 5% level. Graphs were plotted using Excel software.

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.2023.83169.1267>

The results showed that increasing the level of date kernel extract in the formulation of cheese sauce powder containing whey led to the improvement of the antioxidant power of cheese sauce and its phenolic compounds due to the presence of compounds such as gallic acid and cysteine amino acids in whey. High levels of date kernel extract in the presence of whey improved its solubility due to the increase in the amount of protein and dry matter of the sauce powder. It was also observed in the results obtained from the viscosity measurement that the presence of whey along with the date kernel extract reduced the viscosity by adjusting the percentage of carbohydrates. The result obtained in relation to the reduction of protein percentage in the conditions of simultaneous use of whey and date kernel extract was probably due to the precipitation of whey proteins based on the interaction with the carbohydrate components of date kernel extract leading to formation of unsolved products during the drying process. The presence of protein and essential amino acids, carbohydrates and fiber, mineral salts, vitamins and antioxidants in the final product increased the percentage of dry matter in samples containing high percentage of extract along with whey. Changes in pH were also not significant in different treatments. Overall, the results showed that the use of seemingly useless compounds can be significantly effective on the properties of cheese sauce and improve the properties of cheese sauce and finally produce a functional product.

Keywords: Antioxidant, Cheese sauce, Date kernel, Functional, Lignan

مقاله پژوهشی

جلد ۲۰، شماره ۵، آذر-دی ۱۴۰۳، ص. ۵۳۱-۵۱۷

بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی پودر سس پنیر فراسودمند حاوی عصاره هسته‌ی خرما و پودر آب پنیر

فاطمه قربان پور^۱ - وحید حکیمزاده^{۲*} - حسن رشیدی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۸

چکیده

سس پنیر یکی از محصولات لبنی نسبتاً جدید است که می‌تواند سبب افزایش سرانه مصرف پنیر و نیز جایگزین سس‌های ناسالم گردد. فراسودمندی با افزایش ترکیبات مفید به ماده‌ی خوراکی ضمن حفظ شکل ظاهری سبب بهبود ویژگی‌های آن می‌گردد. امروزه به دلیل اهمیت ترکیباتی مانند اسیدهای چرب ضروری، آنتی‌اکسیدان‌ها و فیبر، تقاضا برای مصرف محصولات حاوی این ترکیبات در رژیم غذایی بسیار بالاست. عصاره‌ی هسته‌ی خرما حاوی فیبر، آنتی‌اکسیدان‌ها، لیگنان‌ها و اسیدهای چرب ضروری می‌باشد. از سویی آب پنیر نیز دارای ویژگی‌های تغذیه‌ای فراوان می‌باشد. هدف از این پژوهش تهیه سس پنیر با استفاده از چنین ترکیباتی است تا ضمن تهیه محصولی فراسودمند بتوان از هدر رفت موادجانبی ارزشمند نیز جلوگیری کرد. در این پژوهش به بررسی اثر عصاره‌ی هسته‌ی خرما در مقادیر صفر (شاهد)، ۵ و ۱۵ درصد به فرمول سس پنیر در حضور و عدم حضور آب پنیر بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نمونه‌های پودر سس پنیر پرداخته شد. نتایج نشان دادند که افزودن آب پنیر و عصاره‌ی هسته‌ی خرما به سس پنیر بطور معنی‌داری سبب افزایش ویژگی‌هایی مانند درصد ماده خشک، حلالیت پودر، ترکیبات فنلی، خاصیت آنتی‌اکسیدانی و ویسکوزیته نسبت به نمونه کنترل شد. اما از طرفی افزایش عصاره‌ی هسته‌ی خرما و آب پنیر در مقادیر ۱۵ درصد میزان پروتئین سس پنیر را کاهش داد. نتایج ارزیابی ویژگی‌های حسی نمونه‌ها نیز نشان داد که بیشترین مقبولیت حسی مربوط به نمونه‌ی با ۵ درصد عصاره‌ی هسته‌ی خرما در حضور آب پنیر بود.

واژه‌های کلیدی: آنتی‌اکسیدان، سس پنیر، فراسودمند، لیگنان، هسته‌ی خرما

مقدمه

امروزه پنیر و فرآورده‌های مبتنی بر آن از اهمیت تجاری زیادی برخوردار می‌باشد و سرانه مصرف آن در کشورهای مختلف رو به گسترش می‌باشد. خوشبختانه با گسترش فناوری‌های مختلف تولید

پنیر و مشتقات مختلف آن نیز دچار تحول شده است (Johansson, 2002). امروزه بر اساس نیاز متنوع مصرف‌کنندگان در بازار مواد غذایی، انواع مختلفی از سس‌ها و دیپ‌ها رواج یافته است. سس پنیر امروزه به دلیل ارزش غذایی و تأمین سلامت فرد، ارزش بالایی پیدا کرده است و جایگزین سس‌های متداول شده است (Salek, Vašina, et al., 2019). متأسفانه نمی‌توان تعریف دقیقی برای سس پنیر ارائه داد و به طور کلی می‌توان ادعا نمود که سس(های) پنیر فرآورده‌ای متعلق به گروه محصولات با رطوبت بالا و فعالیت آبی بالا هستند و ممکن است حاوی مخلوطی از مواد با منشأ لبنی یا غیرلبنی باشند (Saad, El-Mahdi et al., 2016). انواع پنیرها می‌توانند متداول ترین پایه برای تهیه سس پنیر باشند و از اینرو طعم و بافت پنیر اولیه در سس پنیر اثرگذار است (Banes, Helm et al., 2014). سس پنیر

۱- دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، قوچان، ایران

۲- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، قوچان، ایران

(*) نویسنده مسئول: (Email: v.hakimzadeh@yahoo.com)

۳- دانشیار آموزشی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

<https://doi.org/10.22067/ifstrj.2023.83169.1267>

را می‌توان به همراه انواع غذاهای مختلف استفاده نمود و همین گستردگی کاربرد سبب ایجاد تنوع و تحقیقات مختلف در آن نیز شده است (Nachay, 2015). امروزه افزایش ترکیبات مفید به مواد ضمن حفظ شکل ظاهری آنان به بهبود خواص آن کمک می‌کند و به این ترتیب فراسودمندی مواد رخ می‌دهد. با مطرح شدن غذاهای فراسودمند و افزایش آگاهی افراد از رابطه بین سلامتی و مصرف مواد غذایی، تقاضا برای مصرف غذاهایی که اثرات سودمند بالاتری دارند، افزایش یافته است. محققان زیادی به غنی‌سازی مواد غذایی با ریزمغذی‌هایی مثل اسیدهای چرب، امگا۳، فیبرهای محلول و غیره برای افزایش اثرات مفید آنها و جلوگیری از بیماری‌ها پرداخته‌اند (Ottaway, 2008). هسته خرما یکی از محصولات منتج از پسماند بخش کشاورزی و ضایعات کارخانجات صنایع غذایی بوده و می‌تواند بعد از فرآوری به عنوان یک افزودنی فراسودمند جایگزین بخشی از خوراک انسان و دام شود (Golshan Tafti, Solaimani, 2017). هسته خرما حاوی فیبر رژیمی و ترکیبات ریزمغذی نظیر سلیوم، آهن، کلسیم، ترکیبات فنلی، استرول‌ها، توکوفرول‌ها، یون‌های فلزی و اسیدهای آمینه ضروری می‌باشد. خواص فراسودمندی اسیدهای فنلی و فلاونوئیدها موجود در هسته خرما ثابت شده است (Ghasemi, Loghmanifar et al., 2020). آب‌پنیر ماده جانبی مازاد کارخانه‌های تولید پنیر بوده که دارای ۶٪ ماده خشک می‌باشد و از آن به عنوان ماده اولیه استفاده می‌کنند. آب پنیر کاربردهای متعدد در صنایع غذایی دارد که می‌توان به کاربرد آن در صنعت اسنک اشاره کرد. همچنین به کاربردهای آن در فرآورده‌های حجیم، غنی کردن فرآورده‌های ماکارونی و کلیه محصولات تهیه‌شده با آرد و حتی در صنایع گوشتی نیز می‌توان اشاره کرد (Jensen, Nielsen et al., 2011). متأسفانه در کشور ما به تحقیق و توسعه در رابطه با این سس مفید پرداخته نشده و می‌توان ادعا نمود این بررسی اولین تحقیق در این زمینه می‌باشد. تحقیقات متعددی در بهبود خصوصیات فیزیکی‌شیمیایی سس پنیر در خارج از کشور انجام شده است. دوسوکی و همکاران (Desouky, Salama et al., 2019) به اثرات پودر شیر شتر بر ویژگی‌های کیفی سس پنیر پرداختند. ایشان گزارش کردند که طی این تحقیق سس پنیر به ویژگی بافتی مناسبی همچون ویسکوزیته بالاتر زمان برش رسید. شالبی و همکاران (Shalaby, Mohamed et al., 2017) به افزایش اسید آمینه‌های ضروری پرداختند و سبب افزایش ارزش غذایی سس پنیر شدند. زافرانسکا و همکاران (Szafrńska, Muszyński et al., 2020) به تولید سس پنیر فرآوری شده با روغن نارگیل و چربی شیر بدون آب به همراه کنستانت‌تره آب پنیر پرداختند و نشان دادند که افزایش غلظت کنستانت‌تره باعث افزایش سختی و چسبندگی و

همچنین ویسکوزیته ظاهری شده و با افزایش روغن نارگیل محصول غلیظ‌تری نیز ایجاد می‌گردد و به سس پنیر با ارزش غذایی بالاتری منجر می‌شود. آنها همچنین بیان داشتند که افزایش فیبرهای غذایی سبب بهبود خواص سس پنیر تهیه شده می‌گردد. بنابراین با توجه به موارد ذکر شده؛ استفاده از آب پنیر در تهیه پودر سس پنیر پیشنهادی در این مطالعه می‌تواند در راستای فراسودمندی محصول بدست آمده، به کار رود (Kusio, Szafrńska et al., 2020). این پروتئین‌ها نیز اگرچه به میزان کمتری نسبت به پروتئین‌های آب پنیر در عصاره هسته خرما وجود دارند اما شامل آمینواسیدهای ضروری بوده و لذا استفاده از آنها نیز می‌تواند به افزایش ارزش غذایی و فراسودمندی محصول نهایی مورد نظر کمک کند (Jalali Jivan, Sadeghi et al., 2013).

در این تحقیق با رویکرد کاربرد سس پنیری با ارزش غذایی بالا در صنایع غذایی برآن شدیم که به تهیه سس پنیر با افزودن پودر هسته خرما و پودر آب پنیر به آن به عنوان ترکیبات ارزشمند پرداخته و خصوصیات فیزیکی‌شیمیایی آن را بررسی کنیم.

مواد و روش‌ها

پودر آب پنیر و پنیرچدار از شرکت صنایع غذایی گلشاد مشهد تهیه شد و افزودنی‌های لازم و خرمای مورد نظر از بازار مشهد تهیه شدند. کلیه مواد شیمیایی و حلال‌های مورد استفاده در این پروژه ساخت شرکت مرک آلمان با درجه خلوص تجزیه‌ای بودند.

عصاره‌گیری از هسته‌ی خرما

برای تهیه‌ی عصاره هسته خرما از روش جالالی جیوان و همکاران (Jalali Jivan, Sadeghi et al., 2013) استفاده شد به این صورت که هسته‌های خرمای وارسته کبکاب بوشهر بعد از شستشو و تمیز شدن، ابتدا در آون تا رسیدن به رطوبت مطلوب، در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد برای ۴ ساعت خشک شده و سپس با استفاده از یک آسیاب چکشی آزمایشگاهی (مدل TS-50، شرکت توس‌شکن ایران) آسیاب گردید. سپس مقدار ۵۰ گرم از پودر هسته با یک لیتر آب دوبار تقطیر با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷ ساعت با همزن مگنت دار با سرعت ۱۰۰ دور در دقیقه مخلوط گردید و سپس در دمای ۴ درجه‌ی سانتی‌گراد نگهداری شد.

تولید پودر سس پنیر

برای تهیه سس پنیر از روش گامای (Gamay et al., 2011) استفاده شد. ابتدا طبق تیمار بندی و فرمولاسیون جدول ۱ پنیر چدار به همراه عصاره تغلیظ شده آبی هسته خرما در دمای ۷۷ درجه

به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ g با در سانتریفوژ (Universal، بریتانیا) قرار گرفت. سپس ۲۵ میلی‌لیتر از بخش شفاف بالای لوله آزمایش برداشته و تا رسیدن به وزن ثابت در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. مقدار حلالیت برحسب درصد و از نسبت وزن ماده جامد محلول خشک شده به پودر اولیه محاسبه شد (ISIRI, 2006, No. 2090).

اندازه‌گیری درصد ماده خشک

جهت اندازه‌گیری ماده خشک به روش وزن‌سنجی، نمونه‌های بازسازی شده (هر ۶۰ گرم از نمونه‌ی پودر با آب مقطر به وزن ۱۰۰ گرم رسید) در آون ۱۰۲ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و تا رسیدن به وزن ثابت خشک شد (ISIRI, Zolfaghari & Asnaashari 2023, 1753).

اندازه‌گیری میزان پروتئین

مقدار پروتئین کل موجود در نمونه‌ها با استفاده از روش هضم، تقطیر، جمع‌آوری و تیتراسیون کلدال اندازه‌گیری شد و برای تبدیل درصد نیتروژن به درصد پروتئین از ضریب ۵/۳۰ استفاده گردید (Hakimzadeh, 2021).

سانتی‌گراد با یکدیگر مخلوط شد. سپس پودر آب پنیر و نشاسته که در آب حل شده بود به همراه کره به آن افزوده شد در انتها نمک‌های خوراکی و طعم دهنده‌های مجاز به آن افزوده و مخلوط در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد با دستگاه هموژن آزمایشگاهی اولتراتوراکس (مدل T-25، شرکت IKA آلمان با سرعت ۲۴۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه یکنواخت گردید. به منظور تهیه پودر سس پنیر، مخلوط هموژن شده، توسط خشک‌کن پاششی پایلوتی مستقر در شرکت گلشاد مشهد در دمای ۱۸۰ سانتی‌گراد به پودر تبدیل گردید. طی تیماربندی نمونه ها، عصاره هسته‌ی خرما در سه سطح صفر (شاهد)، ۵ و ۱۵ درصد در فرمول کل لحاظ گردید. در تیمارها همچنین یک نمونه بدون آب پنیر و نمونه‌ی دیگر با مقدار ۱۵ درصد از فرمول نهایی در نظر گرفته شد (جدول ۱).

آزمون‌ها

حلالیت

به منظور اندازه‌گیری شاخص حلالیت در آب، مقدار ۱ گرم از پودر سس پنیر به ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر افزوده شد و در یک مخلوط‌کن (مدل d-134، آمریکا) با سرعت ۱۵۰۰ دور در دقیقه به خوبی حل شد. به منظور جدا شدن بخش‌های نامحلول، مخلوط بدست آمده

جدول ۱- تیماربندی و فرمولاسیون نمونه‌های سس پنیر بر اساس متغیرها
Table 1- Treatment and formulation of cheese sauce samples based on variables

تیمار Treatments	T1 (Control)	T2	T3	T4	T5	T6
عصاره آبی هسته خرما Kernel Date extract	0	0	5	5	15	15
پودر آب پنیر Cheese Powder	0	15	0	15	0	15
پنیر چدار Cheddar Cheese	15	15	15	15	15	15
کره Butter	18	18	18	18	18	18
نشاسته و پرکننده‌ها Starch and Fillers	5	5	5	5	5	5
نمک‌های فسفات Phosphates	4	4	4	4	4	4
سدیم کلرید Sodium Chloride	1	1	1	1	1	1
اسید سوربیک Ascorbic Acid	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
طعم دهنده‌های مجاز خوراکی Edible Flavoring	6	6	6	6	6	6
تعلیق کننده Stabilizer	10	10	10	10	10	10
آب Water	40.9	25.9	35.9	20.9	25.9	10.9

اندازه‌گیری pH

ده گرم از نمونه پودر سس پنیر در بالن ژوژه ۱۰۰ میلی‌لیتری با آب مقطر ۲۰ درجه‌ای سانتی‌گراد به حجم رسانده شد و میزان pH آن با دستگاه pH متر (شرکت Milwauk، چین) اندازه‌گیری گردید (ISIRI, No. 2852, 2006)

اندازه‌گیری فنل کل

محتوای فنل کل با استفاده از معرف فولین سیوکالتیو اندازه‌گیری شد. به ۰/۵ گرم نمونه حدود ۲/۵ میلی‌لیتر واکنش‌گر فولین سیوکالتیو ۰/۲ نرمال اضافه شد. پس از ۵ دقیقه ۲ میلی‌لیتر از محلول ۷۵ گرم بر لیتر کربنات سدیم به آن اضافه شد و پس از ۲ ساعت، جذب مخلوط حاصله در طول موج ۵۱۷ نانومتر توسط دستگاه اسپکتوفتومتر در مقابل شاهد خوانده شد. از گالیک اسید به‌عنوان استاندارد برای رسم منحنی کالیبراسیون استفاده شد و میزان فنل کل بر اساس میزان معادل میلی‌گرم گالیک اسید در ۱۰۰ میلی‌لیتر پودر پنیر گزارش شد (Safari Shurbakhorlo & Jafarpour, 2023)

اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی

جهت انجام آزمون از روش برند-ویلیامز و همکاران با اندکی تغییرات استفاده شد. در این آزمون ۰/۱ ml نمونه با ۲/۹ میلی‌لیتر از محلول ۰/۱ میلی‌مولار DPPH، در متانول، مخلوط و سپس در دمای اتاق و مکان تاریک به مدت ۳۰ دقیقه قرار داده شد. سپس میزان جذب نمونه‌ها در مقابل نمونه شاهد (متانول) در طول موج ۵۱۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل بر حسب درصد بازدارندگی از طریق رابطه ۱ محاسبه گردید (Dehghan, Barzegar et al., 2018).

(۱) $100 \times [1 - (A_s - A_0) / A_c]$ درصد مهارکنندگی رادیکال A_s و A_c به ترتیب میزان جذب نمونه و شاهد است و A_0 جذب مخلوط ۵/۵ میلی‌لیتر متانول و ۵۰۰ میکرولیتر نمونه در در طول موج ۵۱۵ نانومتر هستند.

ویسکوزیته

ویسکوزیته سس پنیر بازسازی شده از پودر و ویژگی‌های رئولوژیکی آن با استفاده از دستگاه ویسکومتر بروکفیلد چرخشی (مدل CS4-27 LVDV III Ultra، آمریکا) انجام شد که با یک اسپیندل دو استوانه‌ای هم محور به شکل هم مرکز عمل می‌کرد. سیال مورد آزمون بین دو استوانه قرار گرفت و در یک دامنه سرعت برشی s^{-1}

۱-۸۵ مورد آزمون واقع شد. مقدار ویسکوزیته‌ی تیمارها بر حسب میلی‌پاسکال ثانیه بود (Hakimzadeh, 2021).

ارزیابی مزه، بو و پذیرش کلی

برای ارزیابی حسی از ۲۰ ارزیاب حسی داوطلب در آزمایشگاه (خانم و ۱۱ آقا در محدوده سنی ۲۸-۳۴ سال) کمک گرفته شد. ویژگی حسی مورد بررسی شامل بو، مزه، ظاهر و پذیرش کلی از طریق آزمون هدونیک ۵ نقطه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. گزینه‌های تعریف شده در فرم‌های ارزیابی شامل بسیار خوب-خوب-متوسط-بد-خیلی بد بود که به ترتیب نمره‌های ۱ الی ۵ را به خود اختصاص دادند. نمونه‌ها در ظروف شیشه‌ای با کدهای مربوط آماده شدند، فرم‌ها توسط ارزیابان تکمیل و سپس نمرات هر نمونه محاسبه گردید (Safari Shurbakhorlo & Jafarpour, 2023).

آنالیز آماری

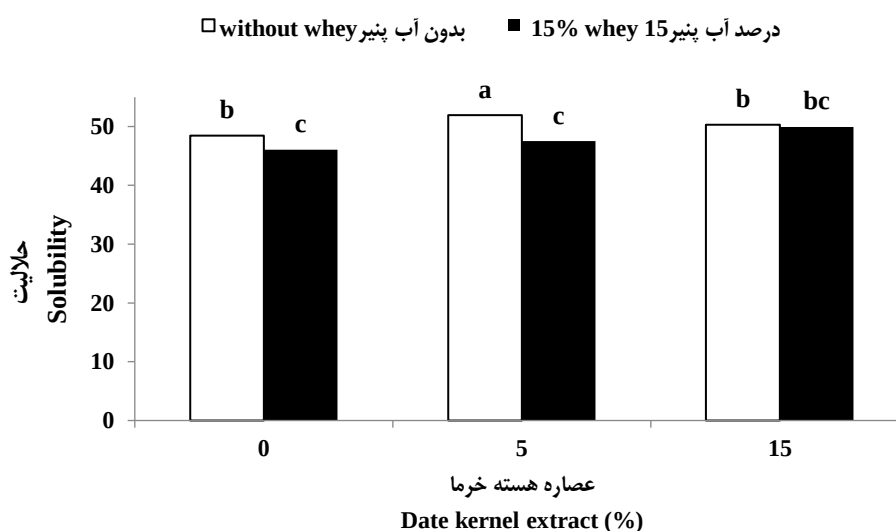
در این پژوهش نتایج در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۶ تیمار (جدول ۱) و ۳ تکرار مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نرم‌افزار مورد استفاده SPSS, Ver16 بود و مقایسه میانگین داده‌ها به روش دانکن و در سطح ۵ درصد انجام شد. رسم نمودارها نیز با نرم‌افزار Excel صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

حلالیت پودر

با توجه به شکل ۱، مشاهده شد که افزایش میزان عصاره هسته خرما از صفر تا ۱۵ درصد بر سرعت حلالیت پودر سس پنیر افزود. همچنین از نتایج می‌توان دریافت که وجود آب پنیر به تنهایی منجر به کاهش سرعت حلالیت شده و بکار بردن آن همراه با عصاره هسته خرما می‌تواند حلالیت پودر سس را کمی بیشتر نماید که البته در سطح ۵ درصد معنی‌دار نبود.

سرعت حلالیت به‌عنوان یکی ویژگی‌های عملکردی مهم در پودرهای غذایی در نظر گرفته می‌شود و از عوامل مهم در ارزیابی کیفی پودرها محسوب می‌شود. در واقع هیدراته کردن پودرها به‌عنوان یک عامل کیفی بحرانی برای مصرف مواد غذایی، مورد توجه است. باید در نظر داشت که اگرچه بکارگیری روش‌های استاندارد بازسازی پودر برای بررسی کیفی ویژگی‌های محصول نسبتاً آسان است، اما بررسی و تحلیل نتایج بدست آمده به‌عنوان ویژگی محصول نهایی، نیازمند درک صحیح و ایجاد ارتباط با سایر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی است (Hatami, 2020).



شکل ۱- تأثیر سطوح مختلف عصاره هسته‌ی خرما و حضور آب پنیر بر درصد حلالیت پودر سس پنیر

Fig. 1. The effect of different levels of date kernel extract and the presence of whey on the solubility of cheese sauce powder

پنیر بود. همچنین وجود هر دو عامل در ترکیب پودر سس پنیر نیز اثر مضاعفی بر افزایش ماده خشک موجود در محصول نهایی گذاشت. با افزایش عصاره هسته‌ی خرما از صفر تا ۱۵ درصد، میزان ماده خشک افزایشی در حدود ۵ درصد در میزان ماده خشک نهایی یافت همچنین در حضور ۱۵ درصد آب پنیر (علاوه بر عصاره هسته خرما) نسب به حالتی که از آب پنیر استفاده نشده است، در حدود ۴ درصد دیگر به میزان ماده خشک نهایی اضافه شده است.

هر ماده غذایی شامل ترکیبات متعددی است که اگر آب (رطوبت) را از آن حذف کنیم، باقی‌مانده را ماده خشک می‌گویند. بنابراین ماده خشک شامل پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها، ریزمغذی‌ها، مواد افزودنی، نگهدارنده، رنگ و ... است و مقایسه نتایج حاصل از ارزیابی درصد ماده خشک موجود در نمونه‌های مورد بررسی می‌تواند به‌عنوان معیاری از اثر بخشی تیمارها و تغییرات اعمال شده بر محصول مورد نظر ما یعنی پودر سس پنیر فراسودمند در نظر گرفته شود. علاوه بر این، درصد ماده خشک در فرآورده‌های غذایی به نوعی نشان‌دهنده انسجام، قوام و خواص تغذیه‌ای مهم همچون میزان پروتئین و آمینواسیدهای ضروری، کربوهیدرات و فیبر، املاح معدنی، ویتامین‌ها و آنتی اکسیدان‌ها و ... می‌باشد. در فرآورده‌های غذایی فراسودمند، درصد ماده خشک حاکی از میزان این ترکیبات مفید بوده و ارزیابی آن در کنار سایر عوامل حائز اهمیت است (Hakimzadeh, 2021). داده‌های بدست آمده (شکل ۲) حاکی از افزایش درصد ماده خشک در اثر استفاده از آب پنیر و عصاره هسته‌ی خرما می‌باشد، این مشاهده با افزایش درصد پروتئین‌ها در تیمارهای مشابه هم‌راستا و در توافق است. واضح است که بخشی از پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها و اسیدهای

از آنجا که حلالیت به‌عنوان یک ویژگی فیزیکوشیمیایی تابعی از اندازه ذرات، توزیع آن‌ها و همچنین متأثر از خصوصیات و ماهیت شیمیایی هر ترکیب (از جمله بار اجزای سازنده و بار الکتریکی سطحی هر یک از آن‌ها) می‌باشد، با توجه به ثابت بودن روش خشک کردن و سایر پارامترهای محیطی از جمله دما و pH؛ می‌توان نتیجه گرفت که افزایش در حلالیت می‌تواند ناشی از تغییر در ترکیب اجزای سازنده و به تبع آن ایجاد تفاوت در بار الکتریکی آن‌ها باشد. افزایش حلالیت مشاهده شده با افزایش درصد پروتئین نسبت به میزان ماده خشک در توافق است. این نتایج حاکی از تأثیر بیشتر کربوهیدرات‌های موجود در عصاره هسته‌ی خرما بر حلالیت پودر سس پنیر نسبت به تأثیر پروتئین‌های موجود در آب پنیر می‌باشد. این مشاهده با خواص فیزیکوشیمیایی مورد انتظار از ماکرومولکول‌های کربوهیدراتی (حلالیت بیشتر) و پروتئینی (حلالیت کمتر) در توافق است. به‌طور کلی اکثر قندها به‌دلیل ویژگی آب‌دوستی شدید و حلالیت آن‌ها، محلول‌های بسیار غلیظ تولید می‌کنند. قندها توسط گروه هیدروکسیل با مولکول‌های آب پیوند هیدروژنی برقرار می‌نمایند. با توجه به ساختار مولکولی قندها به نظر می‌رسد با افزایش پودر خرما، اتصالات هیدروژنی مذکور بیشتر شده و ضمن کاهش تحرک آب آزاد، منجر به افزایش ویسکوزیته‌ی ماست حاوی پودر خرما شده‌اند (Mehrijou et al., 2023).

درصد ماده خشک

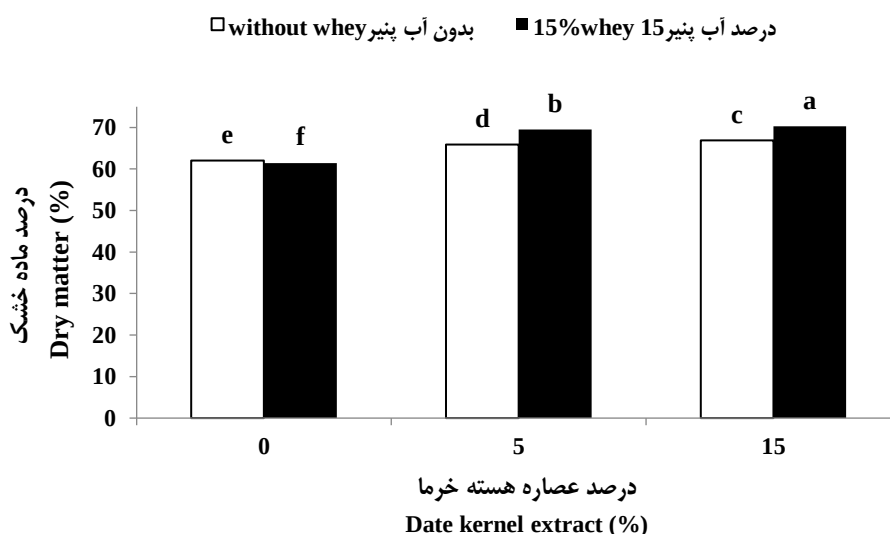
همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود اثر عصاره هسته خرما بر افزایش درصد ماده خشک پودر سس پنیر کمی بیشتر از اثر آب

پنیر و عصاره‌ی هسته‌ی خرما نیز موجب معنی‌دار شدن میزان پروتئین تیمارها در سطح ۵ درصد شد ($P < 0/05$). بنابراین واضح است که آب پنیر به‌عنوان یک منبع غنی‌تر پروتئین نسبت به عصاره‌ی هسته‌ی خرما، اثر بیشتری بر میزان پروتئین‌های موجود در پودر سس پنیر بدست آمده داشت. با این حال دو عامل آب پنیر و عصاره‌ی هسته‌ی خرما با معنی‌داری در سطح ۵ درصد حاکی از تأثیر کمتر نسبت به استفاده هر یک از عوامل به تنهایی می‌باشد (شکل ۳).

چرب موجود در آب پنیر و عصاره‌ی هسته‌ی خرما در محصول نهایی، یعنی پودر سس بدست آمده، باقی مانده و علاوه بر تغییر در پارامترهای ارزیابی شده منجر به سودمندی و ارتقاء ارزش تغذیه‌ای نیز شده است.

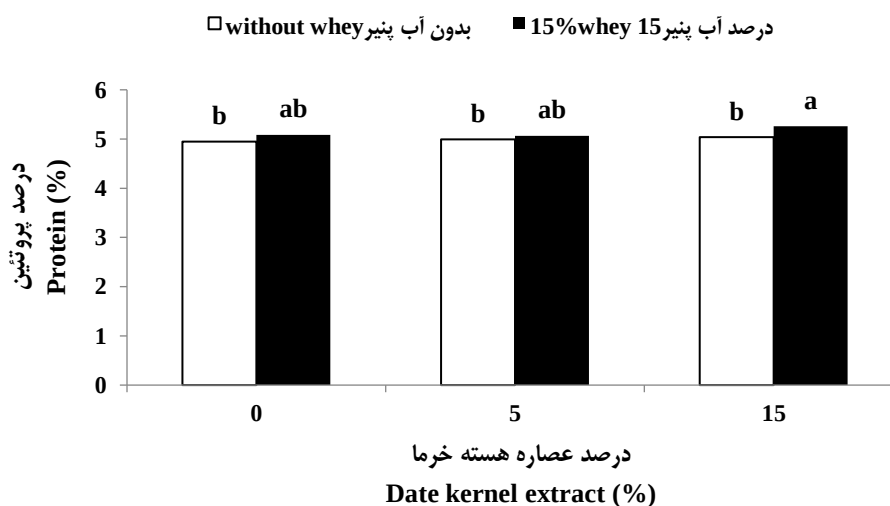
درصد پروتئین

نتایج نشان داد که حضور آب پنیر به‌طور معنی‌داری میزان پروتئین تیمارها را افزایش داد. همچنین حضور هم‌زمان پروتئین آب



شکل ۲- تأثیر سطوح مختلف عصاره‌ی هسته‌ی خرما و حضور آب پنیر بر درصد ماده خشک پودر سس پنیر

Fig. 2. The effect of different levels of date kernel extract and the presence of whey on the dry matter percentage of cheese sauce powder



شکل ۳- تأثیر سطوح مختلف عصاره‌ی هسته‌ی خرما و حضور آب پنیر بر درصد پروتئین پودر سس پنیر

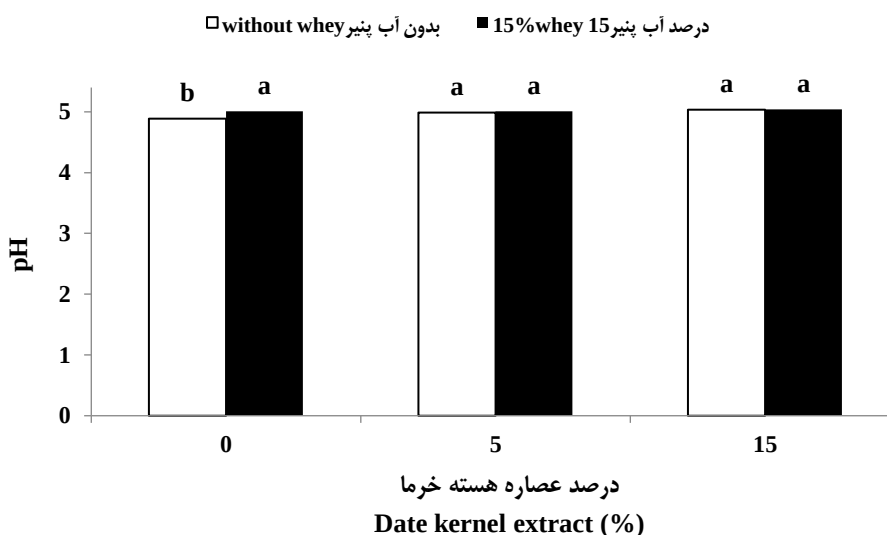
Fig. 3. The effect of different levels of date kernel extract and the presence of whey on the protein percentage of cheese sauce powder

بین پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها به شکل کلوخه و شلاته شدن و طی فرآیند خشک کردن از ترکیب نهایی حذف می‌شوند (Jalali Jivan, 2013). در همین راستا نیز می‌توان گفت میزان افزایش درصد پروتئین‌ها با تغییرات ویسکوزیته مشاهده شده در توافق است. به عبارتی افزایش عصاره هسته‌ی خرما که حاوی کربوهیدرات، چربی و پروتئین است می‌تواند علاوه بر افزایش میزان ماده خشک، بر ویسکوزیته محصول نهایی نیز اثر افزایشی داشته باشد.

pH

مطالعه ما نشان داد که اثر تیمارهای مختلف روی تغییرات pH معنی‌دار نبود. بر اساس نتایج بدست آمده و طبق شکل ۴ افزایش مقادیر عصاره خرما و آب پنیر در pH سس پنیر تولید شده تغییری ایجاد نکرد. بطوری که مقدار pH سس پنیر قبل از اضافه کردن عصاره هسته‌ی خرما و آب پنیر و بعد از آن در حدود ۵ بود.

آب پنیر به عنوان یک فرآورده جانبی تولید پنیر از شیر، علاوه بر قند شیر (لاکتوز) به عنوان جزء اصلی و نیز مقدار کمی چربی باقی مانده، حاوی مقادیر قابل توجهی پروتئین می‌باشد. وجود پروتئین‌های دخیل در سیستم ایمنی، آمینواسیدهای ضروری و نیز ترکیبات گلیکوپروتئینی در آب پنیر منجر شده که در سال‌های اخیر استفاده از پودر آب پنیر به عنوان یک مکمل فراسودمند در بین عموم مردم رواج یافته و بررسی و بهره‌برداری از ویژگی‌های آن در زمینه‌های گوناگون از جمله صنایع غذایی مورد توجه قرار گیرد. از سوی دیگر با بررسی ترکیبات تشکیل دهنده عصاره هسته‌ی خرما در تحقیقات متعدد می‌توان به وجود مقادیر پروتئین در کنار بخش عمده کربوهیدراتی و مقادیر متفاوتی از اسیدهای چرب، پی برد. احتمال می‌رود نتیجه بدست آمده در ارتباط با کاهش درصد پروتئین در شرایط استفاده همزمان از آب پنیر و عصاره هسته‌ی خرما؛ به دلیل رسوب پروتئین‌های آب پنیر در اثر برهمکنش با اجزای کربوهیدراتی عصاره هسته‌ی خرما باشد که طی آن برخی از میانکنش‌های ماکرومولکولی



شکل ۴- تأثیر سطوح مختلف عصاره هسته‌ی خرما و حضور آب پنیر بر pH پودر سس پنیر

Fig. 4. The effect of different levels of date kernel extract and the presence of whey on the pH of cheese sauce powder

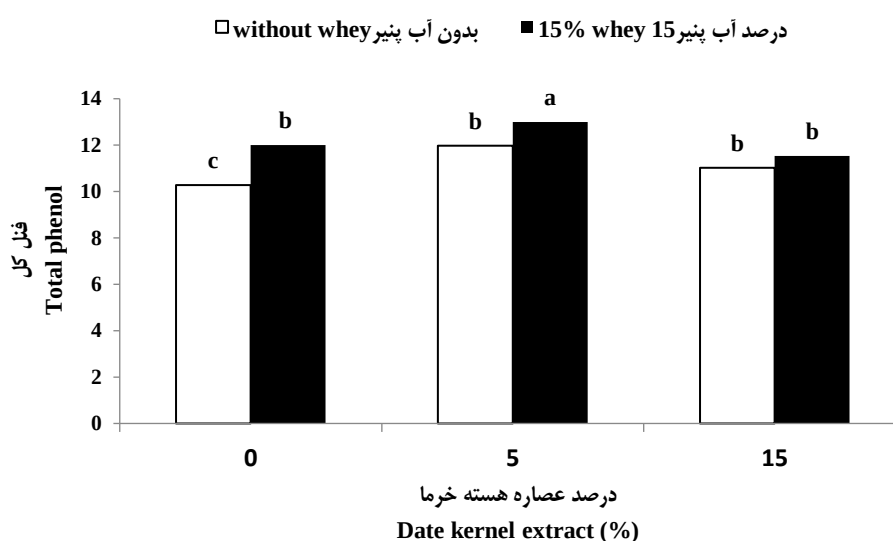
نشان دادند. تیمار فرموله شده با آب پنیر به تنهایی از خود اثر معنی‌داری در مورد تغییر میزان ترکیبات فنلی نشان نداد. مطالعات نشان داده‌اند که هسته‌ی خرما یکی از منابع غنی از پلی‌فنل‌ها و فیبرهای تغذیه‌ای می‌باشد و بدین ترتیب هسته‌ی خرما نقش محافظت سلولی قابل توجهی در برابر عوامل آسیب سلولی مانند اکسیدکننده‌ها ایفا می‌کند. از این ترکیبات خواص مختلف آنتی‌اکسیدان، ضد سرطان، ضد التهاب و ضد ویروسی گزارش شده

ترکیبات فنلی

بر اساس نتایج بدست آمده (شکل ۵) استفاده از عصاره هسته‌ی خرما موجب افزایش ترکیبات فنلی سس پنیر فراسودمند می‌گردد و نمونه‌هایی که در آن‌ها عصاره هسته‌ی خرما وجود دارد میزان بیشتری از فنل را نشان دادند. یعنی نمونه‌هایی که به تنهایی با عصاره هسته‌ی خرما تیمار شده‌اند و نمونه‌هایی که همزمان با عصاره هسته‌ی خرما و آب پنیر تیمار شدند نیز این اثر را از خود

هدف ما در این مطالعه دارد ترکیب اسید گالیک می‌باشد. از جمله خواصی که برای اسید گالیک بیان شده است می‌توان به خواص ضدباکتریایی، ضد التهابی، ضد ویروسی و ضد سرطانی اشاره کرد (Verma, Singh *et al.*, 2013). علاوه بر این اسید گالیک به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان قوی است که رادیکال‌های آزاد ناشی از اکسیژن را حذف می‌کند (Badhani, Sharma *et al.*, 2015). سپهری فر و همکاران (Sepehrifar & Hasanloo, 2010) نشان دادند که در نمونه‌های گیاهی جمع شده از چهار منطقه مختلف کشور اثر آنتی‌اکسیدانی گیاهان مورد نظر رابطه مستقیمی با مقدار ترکیبات فنلی دارد.

است (Biglari, AlKarkhi *et al.*, 2008). علاوه نشان داده شده است که عصاره هسته‌ی خرما در درمان و پیشگیری بیماری‌های کبدی در موش مؤثر می‌باشد (Al-Qarawi, Abdel-Rahman *et al.*, 2005). مطالعه ما نیز نشان داد که عصاره هسته‌ی خرما موجب افزایش فنل‌های موجود در سس می‌گردد و بدین ترتیب در اثرات آنتی‌اکسیدانی نیز بطور معنی‌دار نقش افزاینده دارد. همانطور که پیش‌تر بیان شد یکی از مهم‌ترین فنل‌های موجود در عصاره خرما اسید گالیک می‌باشد با توجه به اینکه اثرات آنتی‌اکسیدانی متعددی از این ترکیب منتشر شده است یکی از موادی که نقش مهمی در افزایش خاصیت آنتی‌اکسیدانی افزودنی‌های مورد



شکل ۵- تأثیر سطوح مختلف عصاره هسته‌ی خرما و حضور آب پنیر بر میزان فنل کل پودر سس پنیر

Fig. 5. The effect of different levels of date kernel extract and the presence of whey on the amount of total phenol in cheese sauce powder

با نتایج جلالی جیوان و همکاران (Jalali Jivan, Sadeghi *et al.*, 2013) مطابقت دارد. ایشان نشان دادند که عصاره‌های مختلف هسته‌ی خرما بر اساس روش (ABTS) دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی هستند. اردکانی و همکاران (Ardekani, Khanavi *et al.*, 2010) نیز گزارش کردند که هسته ۱۴ رقم از خرما می‌ایران شامل شاهانی، خاصویی، سایر، زاهدی، شکار، شهابی، کبکاب، خیزی، مکتوب، مجول، گفتار، لاش، کبکاب دالاک، شهابی دارای فعالیت نسبتاً بالای آنتی‌اکسیدانی هستند و می‌توان آن‌ها را به‌عنوان منبع خوبی از آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی برای اهداف دارویی و تجاری در نظر گرفت. الحترهی و همکاران (Al Harthi, Mavazhe *et al.*, 2015) نیز

خاصیت آنتی‌اکسیدانی

اثر افزودن عصاره خرما به تنهایی در مقایسه با گروه شاهد از نظر قدرت آنتی‌اکسیدانی معنی‌دار بود. همچنین اثر افزودن آب پنیر در گروه‌های حاوی عصاره‌ی هسته‌ی خرما نیز معنی‌دار بود و تأثیر همزمان حضور عصاره هسته‌ی خرما با آب پنیر نیز فعالیت آنتی‌اکسیدانی معنی‌داری نسبت به گروه کنترل در سطح ۵ درصد داشت. به‌عبارت دیگر افزودن این تیمارها چه به‌صورت باهم و چه به‌صورت تک تک موجب بهبود خواص آنتی‌اکسیدان سس فراسودمندگردید (شکل ۶).

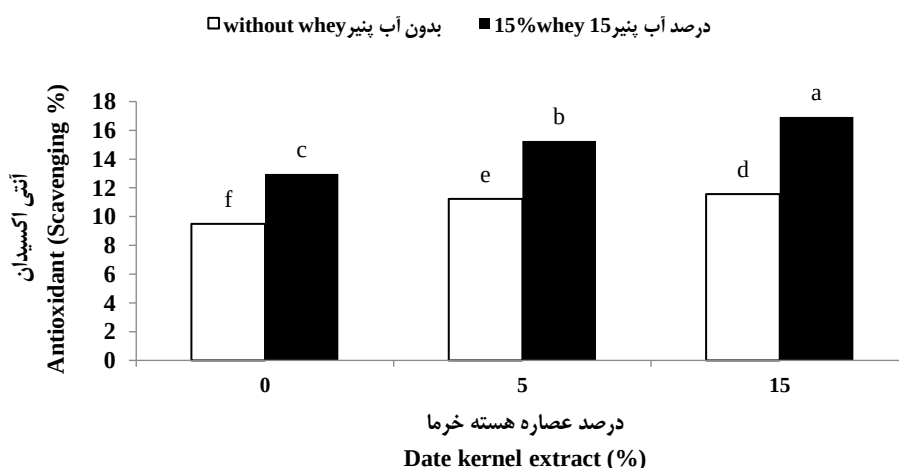
نتایج ما نشان داد که عصاره هسته‌ی خرما موجب افزایش ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی در سس پنیر می‌گردد که در گروه‌های مورد تیمار میزان اثر نسبت به گروه غیر تیمار معنی‌دار بوده است. این نتایج

دادند که استفاده از آب پنیر در نوشیدنی تخمیر همراه با پسته موجب افزایش اثرات آنتی‌اکسیدانی می‌گردد که بخشی از این اثرات مربوط به وجود قدرت آنتی‌اکسیدانی آب پنیر می‌باشد. برخی از خصوصیات آنتی‌اکسیدانی آب پنیر می‌تواند مربوط به توانایی زدودن رادیکال‌های آزاد، به دام انداختن فلزات، خاموش کننده اکسیژن یا دهنده هیدروژن و امکان جلوگیری از نفوذ آغازگرهای اکسیداسیون چربی با تشکیل لایه‌ای در اطراف روغن باشد (Khantaphant & Benjakul, 2008). پیری قشلاق و همکاران (Piri, Sadeghi et al., 2015) نشان دادند که اثرات آنتی‌اکسیدانی پروتئین هیدرولیز شده آب پنیر در مقایسه با آنتی‌اکسیدان سنتتزی BHT قابل توجه است به نحوی که پروتئین هیدرولیز شده آب پنیر حتی در غلظت‌های پایین‌تر نسبت به نمونه شاهد توانست به‌طور قابل ملاحظه‌ای اکسیداسیون را به تعویق بیندازد. خاصیت آنتی‌اکسیدانی پروتئین هیدرولیز شده وابسته به غلظت بود، به‌طوری‌که در غلظت ۷۰۰ پی‌پی‌ام توانست به خوبی روند اکسیداسیون روغن سویا را کند نماید و از این نظر قابل رقابت با BHT در غلظت‌های ۱۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ ppm بود.

ویسکوزیته

نتایج نشان داد (شکل ۷) که حضور آب پنیر در فرمول به شکل معنی‌داری سبب افزایش ویسکوزیته‌ی سس در همه‌ی غلظت‌های عصاره‌ی خرما شد. عصاره‌ی آبی هسته‌ی خرما به دلیل آنکه با آب فرمولاسیون جایگزین شد تغییر معنی‌داری در ویسکوزیته‌ی سس ایجاد نکرد.

نشان دادند که عصاره هسته‌ی خرما دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی در روش مهار رادیکال آزاد DPPH است که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. نمادی پور و همکاران (Namadiour, Ghorbani et al., 2020) گزارش دادند که اثر استفاده از عصاره هسته‌ی خرما به همراه کنار موجب خواص آنتی‌اکسیدان جالب توجهی می‌گردند و می‌توان از این ترکیبات به‌عنوان فرآورده‌های جایگزین آنتی‌اکسیدان‌های مصنوعی استفاده کرد. سیاهپوش و همکاران (Siahpoosh, Momeni et al., 2013) گزارش دادند که عصاره هسته‌ی خرما موجب افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل هم در نمونه‌های سرم و هم در نمونه‌های سلول‌های خونی می‌گردد و یا افزایش در نمونه‌های مربوط به اریتروسیت بیشتر می‌باشد. همچنین آن‌ها گزارش دادند که عصاره هسته‌ی خرما موجب افزایش میزان آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز در نمونه‌ها می‌گردد که حضور مقدار بیشتر این آنزیم در نمونه‌ها باعث افزایش اثر آنتی‌اکسیدانی می‌گردد. خالصی و همکاران (Khalesi, Emadzadeh et al., 2016) نشان دادند که آب پنیر غنی از پروتئین‌های مختلف می‌باشد و این پروتئین‌ها دارای خواص آنتی‌اکسیدانی می‌باشند. از طرفی آب پنیر غنی از اسیدهای آمینه ضروری می‌باشد که نقش‌های مهمی در بدین ایفا می‌کنند و همچنین به دلیل وجود مقادیر نسبتاً زیادی از اسیدهای آمینه سولفوردار یعنی متیونین و سیستئین است که عملکرد ایمنی بدن با تبدیل درون سلولی به گلوکاتایون را افزایش می‌دهند. فعالیت آنتی‌اکسیدانی ناشی از شرکت اسید آمینه سیستئین در سنتز گلوکاتایون می‌باشد که این ترکیب نقش مهمی در عملکرد آنتی‌اکسیدانی بدن ایفا می‌کند (Walzem, Dillard et al., 2002). محمدی و همکاران (Mohammadi, Yeganeh, Khodaiyan et al., 2015) نشان



شکل ۶- تأثیر سطوح مختلف عصاره هسته‌ی خرما و حضور آب پنیر بر قدرت آنتی‌اکسیدانی پودر سس پنیر
 Fig. 6. The effect of different levels of date kernel extract and the presence of whey on the antioxidant power in cheese sauce powder



شکل ۷- تأثیر سطوح مختلف عصاره هسته خرما و حضور آب پنیر بر ویسکوزیته پودر سس پنیر

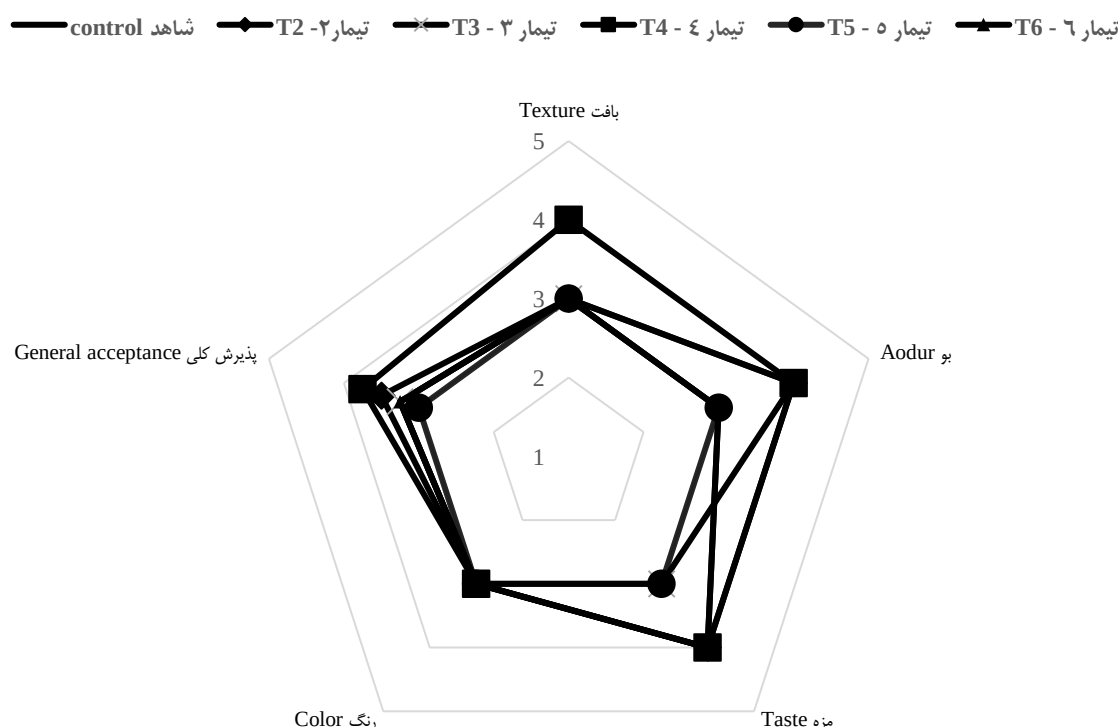
Fig. 7. The effect of different levels of date kernel extract and the presence of whey on the total phenol in cheese sauce powder

پنیر بدست آمده نیز ضمن تأیید موارد مطرح شده نشان می‌دهد که مطابق انتظار افزایش درصد کربوهیدرات‌های عصاره خرما با افزایش حلالیت ابتدا منجر به کاهش ویسکوزیته و روانی بیشتر شده و سپس همراه با بالا رفتن میزان کربوهیدرات‌ها، ضمن افزایش حلالیت، بافت سس پنیر به سمت چسبندگی و گرانروی بیشتر متمایل می‌شود. در نتایج بدست آمده از سنجش ویسکوزیته می‌بینیم که وجود آب پنیر در کنار عصاره هسته خرما با تعدیل درصد کربوهیدرات‌های تشکیل دهنده کل ترکیب، گرانروی را کاهش می‌دهد.

ارزیابی مزه، بو و پذیرش کلی

نتایج بدست آمده از ارزیابی پنج نقطه‌ای هدونیک (شکل ۸) نشان داد که تیمار ۴ (حاوی ۵ درصد عصاره هسته خرما و ۱۵ درصد آب پنیر) نسبت به سایر تیمارها دارای پذیرش بهتری بود. در تیمارهایی که میزان عصاره هسته خرما در سطح بالاتری قرار داشت امتیاز بو ضعیف‌تر بود که احتمالاً به دلیل وجود اسانس‌های حاصل از عصاره بود اما حضور آب پنیر در فرمولاسیون تیمار توانست مزه و بوی بهتری را در سس پنیر ایجاد کند که شاید به دلیل بوی مطلوبی بوده است که طی واکنش میلارد هنگام خشک کردن ایجاد شده است.

در توجیه مشاهدات حاصل از تغییرات ویسکوزیته نسبت به تیمارهای آب پنیر و عصاره هسته خرما می‌توان دلایلی را عنوان کرد. ترکیب منبع پروتئین (پروتئین موجود در آب پنیر و عصاره هسته خرما) مورد استفاده در یک تولید نیز بر ساختار محصول نهایی تأثیر می‌گذارد. پروتئین‌های غذایی مخلوطی از چندین پروتئین هستند، بنابراین جذب رقابتی و پایداری لایه سطحی بسته به نسبت اولیه اجزای پروتئین بین آن‌ها رخ می‌دهد (Damodaran, 2017). از طرفی جذب پروتئین‌های آب پنیر روی سطوح گلبول‌های چربی در طی فرآیند امولسیون‌سازی با روغن شیر و عصاره هسته خرما می‌تواند اتفاق بیفتد که خود سبب افزایش ویسکوزیته سس پنیر خواهد شد. این مورد را نیز شیمیزو و همکاران (Shimizu, Kamiya et al., 1981) در pH های مختلف بررسی کردند که تحقیقات ایشان نشان داد میزان پروتئین آب پنیر جذب شده در pH= 5 روی سطح چربی در مقایسه با سایر pH های آزمایش شده بیشتر بود که خود می‌تواند اثبات‌کننده افزایش ویسکوزیته به وسیله عصاره هسته خرما و آب پنیر در طرح حاضر با pH حدود ۴/۹ باشد. عبارتی ساده‌تر می‌توان گفت که افزایش ظرفیت اتصال به آب بالا توسط ترکیبات موجود در آب پنیر و عصاره هسته خرما سبب کاهش جریان پذیری و افزایش مقاومت نمونه در برابر جاری شدن یا همان ویسکوزیته ظاهری می‌شود. علاوه بر این نتایج حاصل از ارزیابی ویسکوزیته پودر سس



شکل ۸- ارزیابی حسی نمونه‌های سس پنیر بر اساس آزمون هدونیک ۵ نقطه‌ای
Fig. 8. Sensory evaluation of cheese samples based on 5-point hedonic test

نتیجه‌گیری

پنیر و عصاره هسته‌ی خرما احتمالاً به‌دلیل رسوب پروتئین‌های آب پنیر در اثر میان‌کنش با اجزای کربوهیدراتی عصاره هسته‌ی خرما بود که طی آن برخی از میان‌کنش‌های ماکرومولکولی بین پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها به شکل کلوخه و شلاته شدن و طی فرآیند خشک کردن از ترکیب نهایی حذف می‌شوند. وجود پروتئین و آمینواسیدهای ضروری، کربوهیدرات و فیبر، املاح معدنی، ویتامین‌ها و آنتی‌اکسیدان‌ها در فرآورده نهایی، درصد ماده خشک را در نمونه‌های حاوی درصد بالای عصاره به همراه آب پنیر افزایش داد. تغییرات pH نیز در تیمارهای مختلف معنی‌دار نبود. روی هم رفته نتایج کلی نشان داد که استفاده از ترکیبات مقید به ظاهر بدون کاربرد می‌تواند بر خواص سس پنیر بطور قابل ملاحظه‌ای مؤثر باشد و خواص سس پنیر را بهبود بخشیده و در نهایت یک محصول فراسودمند تولید گردد.

میزان مشارکت

فاطمه قربان پور: تحقیق و بررسی، روش‌شناسی، مفهوم‌سازی، منابع و تحلیل رسمی. وحید حکیم زاده: مدیریت پروژه، نظارت،

استفاده از ترکیبات فراسودمند موجود در محصولات جانبی کارخانجات صنایع غذایی به‌عنوان رویکردی مهم می‌تواند در فراسودمندسازی محصولات غذایی کاربرد داشته باشد. با توجه به وجود ترکیبات مفید در عصاره‌ی هسته‌ی خرما و ارزشمند بودن آب پنیر در این تحقیق به استفاده از این دو ترکیب مهم در فرمولاسیون پودر سس پنیر بعنوان یک محصول جالب و جذاب در صنایع لبنی پرداخته شد. افزایش سطح عصاره‌ی هسته‌ی خرما در فرمولاسیون پودر سس پنیر حاوی آب پنیر منجر به بهبود قدرت آنتی‌اکسیدانی سس پنیر و ترکیبات فنلی آن به‌دلیل وجود ترکیباتی همچون اسید گالیک و اسیدهای آمینه سیستئین در آب پنیر گردید. سطوح بالای عصاره‌ی هسته‌ی خرما در حضور آب پنیر به‌دلیل افزایش میزان پروتئین و ماده خشک پودر سس حلالیت آن را بهبود داد. همچنین در نتایج بدست آمده از سنجش ویسکوزیته مشاهده شد که وجود آب پنیر در کنار عصاره هسته‌ی خرما با تعدیل درصد کربوهیدرات‌های تشکیل دهنده کل ترکیب، گرانروی را کاهش داد. نتیجه بدست آمده در ارتباط با کاهش درصد پروتئین در شرایط استفاده همزمان از آب

منابع تأمین مالی

اعتبارسنجی و نوشتن (بررسی و ویرایش). حسن رشیدی: نظارت،

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

نوشتن پیش‌نویس اصلی، نرم‌افزار، مدیریت داده‌ها و تجسم.

References

1. Al-Qarawi, A.A., Abdel-Rahman, H., Ali, B.H., Mousa, H.M., & El-Mougy, S.A. (2005). The ameliorative effect of dates (*Phoenix dactylifera* L.) on ethanol-induced gastric ulcer in rats. *Journal of Ethnopharmacology*, 98(3), 313-317. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2005.01.023>
2. Al Harthi, S.S., Mavazhe, A., Al Mahroqi, H., & Khan, S.A. (2015). Quantification of phenolic compounds, evaluation of physicochemical properties and antioxidant activity of four date (*Phoenix dactylifera* L.) varieties of Oman. *Journal of Taibah University Medical Sciences*, 10(3), 346-352. <https://doi.org/10.1016/j.jtumed.2014.12.006>
3. Ardekani, M.R.S., Khanavi, M., Hajimahmoodi, M., Jahangiri, M., & Hadjiakhoondi, A. (2010). Comparison of antioxidant activity and total phenol contents of some date seed varieties from Iran. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research: IJPR*, 9(2), 141.
4. Badhani, B., Sharma, N., & Kakkar, R. (2015). Gallic acid: A versatile antioxidant with promising therapeutic and industrial applications. *Rsc Advances*, 5(35), 27540-27557. <https://doi.org/10.1039/C5RA01911G>
5. Baner, J., Helm, T., & Taylor, D. (2014). Modified whey proteins as texturizers in reduced and low-fat foods. *Food Texture Design and Optimization*, 108-127. <https://doi.org/10.3390/app10207064>
6. 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>
7. Damodaran, S. (2017). Food proteins: an overview. Food proteins and their applications, 1-24. <https://doi.org/10.1201/9780203755617>
8. Dehghan, N., Barzegar, H., Mehrnia, M.A., & Jooyandeh, H. (2018). Investigation on the effect of Methanolic Bene (*Pistachia atlantica*) hull extract on oxidative stability of soybean oil. *Innovative Food Technologies*, 5(3), 499-507. <https://doi.org/10.22104/jift.2018.2577.1607>
9. Desouky, M.M., Salama, H.H., & El-Sayed, S.M. (2019). The effects of camel milk powder on the stability and quality properties of processed cheese sauce. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 18(4), 349-359. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.2019.0645>
10. Gamay, A.Y., Gammons, C., & Smith, E.B. (2011). U.S. Patent Application No. 12/915,897.
11. Ghasemi, E., Loghmanifar, S., & Salar, S. (2020). The effect of adding date kernel powder on the qualitative and sensory properties of spongy cake. *Journal of Novel Applied Sciences*, 9(3), 47-53.
12. Golshan Tafti, Dahdivan, N.S., & Ardakani, S.Y. (2017). Physicochemical properties and applications of date seed and its oil. *International Food Research Journal*, 24(4).
13. Hakimzadeh, V. (2021). The use of soy milk in the production of functional Kashk powder and determining its characteristics. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, 17(109), 65-73.
14. Hatami Takami, SZ. (2018). Modified milk powder: production and investigation of flavored low lactose milk powder. *FSCT*, 15(78), 333-343. <https://doi.org/10.5829/idosi.ajejaes.2014.14.04.8413>
15. Institute of Standards and Industrial Research of Iran. (2006). Milk and its products, the method for determining total acidity and pH. 3rd Revision, ISIRI No. 2852. (In Persian)
16. Jalali Jivan, M., Sadeghi, S., Madadlou, A., & Yermend, M.S. (2013). Effect of heating and acidification on total phenolic content and antioxidants activity of date palm pit extract. *Journal of Food Research*, 23(2), 237-248.
17. Jensen, B.M., Nielsen, J.H., Sørensen, J., Mortensen, G., & Dalsgaard, T.K. (2011). Changing oxidation in whey fat concentrate upon addition of green tea extract. *European Food Research and Technology*, 233, 631-636. <https://doi.org/10.1007/s00217-011-1555-0>
18. Johansson, I. (2002). Milk and dairy products: possible effects on dental health. *Scandinavian Journal of Nutrition*, 46(3), 119-122. <https://doi.org/10.1080/11026480260363242>
19. Khalesi, H., Emadzadeh, B., Kadkhodaei, R., & Fang, Y. (2016). Whey protein isolate-Persian gum interaction at neutral pH. *Food Hydrocolloids*, 59, 45-49. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.10.017>
20. Khantaphant, S., & Benjakul, S. (2008). Comparative study on the proteases from fish pyloric caeca and the use for production of gelatin hydrolysate with antioxidative activity. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 151(4), 410-419. <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2008.08.011>

21. Kusio, K., Szafrńska, J.O., Radzki, W., & Sołowiej, B.G. (2020). Effect of whey protein concentrate on physicochemical, sensory and antioxidative properties of high-protein fat-free dairy desserts. *Applied Sciences*, 10(20), 7064. <https://doi.org/10.3390/app10207064>
22. Mehrjou, N., Soltani, M., & Mohammadi, S. (2023). Effect of using date powder on physicochemical, textural and sensory properties of low-fat set-type yoghurt. *Journal of Innovation in Food Science and Technology*, 15(1), 103-116. <https://doi.org/10.52547/fsct.19.122.377>
23. Mohammadi Yeganeh, Z., Khodaiyan, F., Hosseini, S.S., Safari, M., Rezaee, K., & Mousavi, S.M. (2015). Study of antioxidant and physicochemical properties of fermented beverage whey-pistachio by kefir starter. *Innovative Food Technologies*, 3(1), 69-84. <https://doi.org/10.22104/jift.2015.231>
24. Nachay, K. (2015). Dairy's functional potential. *Food Technology*, 69, 49-53.
25. Namadiour, A., Ghorbani, M., Sadeghi, M.A., & Maghsoudloo, Y. (2020). Antioxidative effect of the zizyphus fruit (*Ziziphus spina-christi*) and date seed (*Phoenix dactylifera*) var. Mazafati extracts on soybean oil oxidation. <https://doi.org/10.22069/ejfp.2020.12286.1389>
26. Ottaway, P.B. (2008). Food fortification and supplementation: Technological, safety and regulatory aspects, Elsevier.
27. Piri, G.S., Sadeghi, M.A., Alami, M., & Ghorbani, M. (2015). Antioxidant effect of whey protein hydrolysate on development of oxidation soybean oil. *Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology*, 3(3), 245-254.
28. Saad, S.A., El-Mahdi, L.D., Awad, R.A., & Hassan, Z.M.R. (2016). Impact of different food protein sources in processed cheese sauces manufacture. *International Journal of Dairy Science*, 11(2), 52-60. <https://doi.org/10.3923/ijds.2016.52.60>
29. Safari Shurbakhorlo, S., & Jafarpour, D. (2023). Investigation the biopreservative, physicochemical and sensory properties of Masineh drink. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, 19(132), 295-311. <https://doi.org/10.22034/FSCT.19.132.295>
30. Salek, R.N., Vašina, M., Lapčík, L., Černíková, M., Lorencová, E., Li, P., & Buňka, F. (2019). Evaluation of various emulsifying salts addition on selected properties of processed cheese sauce with the use of mechanical vibration damping and rheological methods. *LWT*, 107, 178-184. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.022>
31. Sepehrifar, R., & Hasanloo, T. (2010). Polyphenolics, flavonoids and anthocyanins content and antioxidant activity of Qare-Qat (*Vaccinium arctostaphylos* L.) from different areas of Iran. *Journal of Medicinal Plants* 9(33), 66-175.
32. Shalaby, S.M., Mohamed, A.G., & Bayoumi, H.M. (2017). Preparation of a novel processed cheese sauce flavored with essential oils. *International Journal of Dairy Science*, 12(3), 161-169. <https://doi.org/10.3923/ijds.2017.161.169>
33. Shimizu, M., Kamiya, T., & Yamauchi, K. (1981). The adsorption of whey proteins on the surface of emulsified fat. *Agricultural and Biological Chemistry*, 45(11), 2491-2496. <https://doi.org/10.1080/00021369.1981.10864922>
34. Siahpoosh, A., Momeni, F., Azadbakht, Y., & Housseini, S.M. (2013). Evaluation of the effect of date kernel (*Phoenix dactylifera*) methanolic extract on the total antioxidant capacity and glutathione peroxidase enzyme of rats blood. *Jentashapir Journal of Cellular and Molecular Biology*, 3(4), 479-488.
35. Szafrńska, J.O., Muszyński, S., & Sołowiej, B.G. (2020). Effect of whey protein concentrate on physicochemical properties of acid casein processed cheese sauces obtained with coconut oil or anhydrous milk fat. *LWT*, 127, 109434. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109434>
36. The ISIRI (Iranian Institute of Standards and Industrial Research) standard. ISIRI 2090; Determination of Solubility Index in Dry Milk; ISIRI 2091. ISIRI no 2852. Karaj: ISIRI; 2006. (In Persian)
37. Verma, S., Singh, A., & Mishra, A. (2013). Gallic acid: molecular rival of cancer. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 35(3), 473-485. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2013.02.011>
38. Walzem, R.L., Dillard, C.J., & German, J.B. (2002). Whey components: millennia of evolution create functionalities for mammalian nutrition: what we know and what we may be overlooking. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 42(4), 353-375. <https://doi.org/10.1080/10408690290825574>
39. Zolfaghari, M., & Asnaashari, M. (2023). Evaluation of physicochemical and textural properties of low calorie eggplant marmalade. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, 19(133), 359-368. <https://doi.org/10.22034/FSCT.19.133.359>

Research Article

Vol. 20, No. 5, Dec.-Jan. 2024, p. 533-545

Effects of Lavender Essential Oil Addition on Oxidative Stability of Canola Oil under Accelerated Condition

F.S. Khanagaei¹, F. Akrami Mohajeri², E. Askari³, H. Fallahzadeh⁴, E. Khalili Sadrabad^{ID 2*}

1 and 2- M.Sc Graduated and Associate Professor, Research Center for Food Hygiene and Safety, Department of Food Hygiene and Safety, School of Public Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran, respectively.

3- Assistant Professor, Department of Nutrition, School of Health & Nutrition, Lorestan University of Medical Sciences, Khoram abad, Iran

4- Professor, Center for Healthcare Data Modeling, Departments of Biostatistics and Epidemiology, School of Public Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran

(* - Corresponding Author Email: Khalili.elham@ssu.ac.ir)

Received: 19.08.2023
Revised: 12.08.2024
Accepted: 18.09.2024
Available Online: 21.11.2024

How to cite this article:

Khanagaei, F.S., Akrami Mohajeri, F., Askari, E., Fallahzadeh, H., Khalili Sadrabad, E. (2024). Effects of lavender essential oil addition on oxidative stability of canola oil under accelerated condition. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 20(5), 533-545. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.83911.1276>

Introduction

Canola oil with high unsaturated fatty acids and nutritional value is susceptible to oxidation due to lipid oxidation. Lipid oxidation leads to a reduction of nutritional quality, sensory and safety characteristics of the vegetable oils. To retard lipid oxidation, the synthetic antioxidants are usually used in the vegetable oils. By increasing the public concern about health problems of synthetic antioxidants, the use of natural antioxidants is increasing. Lavender (*Lavandula officinalis*) is an evergreen plant native to the Mediterranean. The presence of linalool, linalyl acetate, 1,8-cineole B-ocimene, terpinen-4-ol, and camphor in lavender essential oil, make it a good natural antioxidant which could use in food industry. Therefore, in the current research, it was aimed to investigate the antioxidant effect of lavender essential oil on the stability of canola oil.

Material and Method

The lavender was bought from Golestan province and dried in room temperature. The lavender essential oil was prepared by hydro distillation of flower heads. Then, the phenolic compounds were determined using GC-MASS. The Total phenolic content (TPC), flavonoid content (TFC), and antioxidant activity (FRAP and DPPH) of lavender essential oil were evaluated. Then, lavender essential oil in concentrations of 200, 400, 600, 800, and 1000 mg/kg was added to the crude canola oil compared to canola oils without antioxidants and synthetic antioxidant TBHQ (100 and 200 mg/kg). Then, the samples were kept at 60 to 70 °C for 12 days. The analysis was done in an interval of 24 h for 12 days. Lipid oxidation of samples was determined by peroxide value, p-anisidine value, TOTOX value, and thiobarbituric acid each 24 h. analyses of Data were done by one-way analysis of variance (ANOVA) using SPSS software and the means were compared by the Tukey multiple range test.

Result and Discussion

According to the GC-MS analysis, 1, 8-cineole (59.45 %), linalool acetate (32.48 %), linalool (6.31 %), and limonene (1.06 %) were identified as the major constituent of lavender essential oil. Also, Total phenol, flavonoid, FRAP and DPPH (IC₅₀) contents of lavender essential oil were 71.55 mg GAE/g, 82.66 mg of rutin/100 g, 12.63 mmol H₂SO₄, and 55.88 mg/ml, respectively. According to the results, all lipid oxidation



©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.2024.83911.1276>

indexes were increased after twelve days of storage. In general, lavender essential oil was effective in retarding the oxidation of canola oil at a temperature of 70 °C. Also, the concentration of 1000 mg/kg of the essential oil had antioxidant activities similar to the TBHQ in 100 mg/kg concentration.

Conclusion

It was showed that lavender essential oil, as a natural antioxidant, has the ability to react with the radicals resulting from the oxidation of lipids and causes the interruption of oxidation chain reactions and increases the time and decreases the rate of oxidation. As observed, the oxidation of canola oil in all samples, especially the samples without antioxidants or antioxidants to a lesser extent, increased significantly with increasing storage time. In general, lavender essential oil at L₁₀₀₀ concentration and also in some oxidation indices of lavender essential oil at L₈₀₀ concentration has an effective role in preventing the oxidation of canola oils like synthetic antioxidant TBHQ.

Keywords: Antioxidant activity, Canola oil, Lavender essential oil, Lipid oxidation

مقاله پژوهشی

جلد ۲۰، شماره ۵، آذر-دی ۱۴۰۳، ص. ۵۳۳-۵۴۵

بررسی اثر افزودن اسانس اسطوخودوس بر پایداری اکسایشی روغن کانولا تحت شرایط تسریع شده

فاطمه سادات خانقایی^۱ - فاطمه اکرمی مهاجری^۲ - الهه عسکری^۳ - حسین فلاح زاده^۴ - الهام خلیلی صدرآباد^{۵*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۸

چکیده

در این تحقیق، فعالیت آنتی اکسیدانی و اثرات حفاظتی اسانس اسطوخودوس بر پایداری روغن کانولا بررسی و با آنتی اکسیدان سنتزی TBHQ مورد مقایسه قرار گرفت. ابتدا اسانس اسطوخودوس از نظر ترکیبات فنولی، محتوای فنول تام، محتوای فلاونوئید و خاصیت آنتی اکسیدانی (FRAP و DPPH) مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس، در غلظت‌های ۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰ و ۱۰۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم به روغن کانولای فاقد آنتی اکسیدان اضافه و به همراه روغن کانولای حاوی آنتی اکسیدان سنتزی TBHQ با دو غلظت ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم و روغن بدون آنتی اکسیدان در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد به مدت ۱۲ روز نگهداری شدند. سپس، هر ۲۴ ساعت یک مرتبه پیشرفت اکسایش با اندازه گیری عدد پراکسید، عدد آنیزیدین، عدد توتوکس و عدد تیوباربیتوریک اسید تعیین گردید. براساس نتایج کروماتوگرافی گازی ترکیبات عمده موجود در اسانس اسطوخودوس شامل ۱۸-سینئول (۵۹/۴۵ درصد)، لینالول استات (۳۲/۴۸ درصد)، لینالول (۶/۳۱ درصد) و لیمونن (۱/۰۶ درصد) بود. محتوای فنول تام، فلاونوئید، FRAP و DPPH اسانس به ترتیب ۷۱/۵۵ میلی گرم بر گرم اسید گالیک، ۸۲/۶۶ میلی گرم روتین بر ۱۰۰ گرم اسانس، ۱۲/۶۳ میلی مولار بر حسب آهن و ۵۵/۸۸ میلی گرم بر میلی لیتر به دست آمد. در طی دوازده روز نگهداری تمامی شاخص‌های اکسایشی در روغن‌های مورد مطالعه به طور معنی داری افزایش یافت. به طور کلی، اسانس اسطوخودوس در غلظت‌های ۸۰۰ و ۱۰۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاصیت آنتی اکسیدانی مشابه با آنتی اکسیدان سنتزی TBHQ در غلظت ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم داشت. نتایج نشان داد اسانس اسطوخودوس دارای خاصیت آنتی اکسیدانی نسبتاً بالایی است و می‌توان از این گیاه به عنوان جایگزین آنتی اکسیدان سنتزی برای جلوگیری از اکسیداسیون روغن استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: اکسایش چربی، اسانس اسطوخودوس، خاصیت آنتی اکسیدانی، روغن کانولا

مقدمه

می‌گردند (Fu et al., 2016). واکنش‌های اکسایش و تجزیه اکسایش، تخریب کننده اصلی محصولات غذایی هستند که ارزش غذایی و کیفیت حسی محصولات را کاهش می‌دهند و علاوه بر آن عمر نگهداری روغن را کاهش می‌دهند و به دلیل تولید ترکیبات نامطلوب در آن موجب پیر شدن، ایجاد بیماری‌های قلبی، ایجاد جهش و ایجاد سرطان می‌شوند (Cui et al., 2016). کانولا از کلزای اصلاح شده به دست می‌آید و از روغن‌هایی است که حاوی مقدار زیادی اسید چرب آلفالینولنیک است و به عنوان یکی از منابع تأمین کننده امگا ۳ به شمار می‌رود. پایداری حرارتی روغن‌های نباتی رایج از جمله سویا، آفتابگردان، ذرت و کلزا به دلیل میزان بالای اسیدهای چرب غیر اشباع غالباً بسیار نامناسب ارزیابی می‌شود (Farhoosh et al., 2010). باتوجه به اهمیت لیپیدها و روغن‌ها در رژیم غذایی انسان‌ها و ایجاد و اکنش‌های اکسایش در این ماده که علاوه بر

لیپیدها منابع ارزشمندی از انرژی هستند که قادرند بیش از دو برابر کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها انرژی تولید کنند. اسیدهای چرب ضروری و نیز بخشی از ویتامین‌های مورد نیاز بدن (ویتامین‌های محلول در چربی) از طریق مصرف این منابع در رژیم غذایی تأمین

۱ و ۲- به ترتیب دانش‌آموخته و دانشیار، بهداشت و ایمنی مواد غذایی، مرکز تحقیقات سلامت و ایمنی غذا، گروه بهداشت و ایمنی مواد غذایی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران
۳- استادیار، بهداشت و ایمنی مواد غذایی، مرکز تحقیقات بهداشت تغذیه، دانشکده بهداشت و تغذیه، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، خرم آباد، ایران
۴- استاد، مرکز تحقیقات مدل سازی داده‌های سلامت، گروه آمار و اپیدمیولوژی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران
(*) نویسنده مسئول: (Email: khalili.elham@ssu.ac.ir)

مجاورت سولفات سدیم بدون آب، آبگیری و تا زمان استفاده در دمای چهار درجه سانتی گراد نگهداری شد (Karami et al., 2010).

تهیه روغن کانولا

نمونه‌های روغن کانولای خام از شرکت صنایع غذایی نشاط آور یزد تهیه شدند.

آنالیز ترکیبات فنولی اسانس اسطوخودوس توسط دستگاه GC- MASS

آنالیز اسانس اسطوخودوس استخراج شده با دستگاه کلونجر با دستگاه کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنج جرمی با ستون DB-5 به طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت ۰/۲۵ میکرومتر، گاز حامل هلیوم با شدت جریان ۱/۱ میلی‌لیتر بر دقیقه، دمای تزریق و شناسایی ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد و برنامه دمایی ۴۰ تا ۴۶۰ درجه سانتی‌گراد و روند افزایشی ۵ درجه سانتی‌گراد در دقیقه، حجم تزریق ۰/۲ میکرولیتر و شناساگر یونیزاسیون الکترونی با انرژی یونیزاسیون ۷۰ الکترون ولت، انجام پذیرفت (Sarrami et al., 2023).

اندازه‌گیری فنول تام

مقدار فنول تام، توسط روش رنگ‌سنجی و با معرف فولین سیوکالتو (Folin-Ciocalteu reagent (FCR)) اندازه‌گیری شد. غلظت‌های مختلف اسانس در متانول تهیه شد و میزان ۰/۵ میلی‌لیتر نمونه با ۲/۵ میلی‌لیتر معرف فولین سیوکالتو (ده برابر رقیق شده) و ۲ میلی‌لیتر بی‌کربنات سدیم ۷/۵ درصد مخلوط گردید. مخلوط حاصل به مدت ۶۰ دقیقه در دمای محیط باقی‌مانده و سپس جذب توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (HACH DR6000 ساخت کشور آمریکا) در طول موج ۷۶۵ نانومتر خوانده شد. برای نمونه شاهد از متانول استفاده گردید. جهت رسم منحنی استاندارد از غلظت‌های مختلف اسید گالیک استفاده گردید و محتوای فنول تام به‌صورت میلی‌گرم معادل اسید گالیک در گرم ماده خشک عصاره (mg GAE/g) گزارش شد (Sarrami et al., 2023).

اندازه‌گیری فلاونوئید تام

به‌منظور تخمین میزان فلاونوئید تام در اسانس اسطوخودوس در حدود ۲۵۰ میکرولیتر از اسانس به ۱/۲۵ میلی‌لیتر متانول اضافه شد. سپس، ۷۵ میکرولیتر نیتريت سدیم ۵ درصد به مخلوط اضافه شد و پس از گذشت ۶ دقیقه ۱۵۰ میکرولیتر آلومینیوم کلرید هیدرات ۱۰ درصد افزوده شد. پس از گذشت ۵ دقیقه، در حدود ۰/۵ میلی‌لیتر محلول هیدروکسید سدیم ۱ مولار و ۲۷۵ میکرولیتر اتانول به مخلوط

کاهش ارزش تغذیه‌ای، کیفیت‌های حسی از لحاظ رنگ، طعم و بو کاهش می‌دهد، لزوم بررسی کیفیت این گونه محصولات در طی نگهداری ضروری به‌نظر می‌رسد. در صنعت روغن نیز برای جلوگیری از اکسیداسیون روش‌های متعددی وجود دارد که یکی از این موارد افزودن آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی می‌باشد. با توجه به این که آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی اثرات نامطلوبی مانند اثر جهش‌زایی و سرطان‌زایی در بدن انسان دارند به تدریج از لیست آنتی‌اکسیدان‌های مصرفی حذف می‌گردند.

امروز ترکیبات فنولی موجود در گیاهان به‌عنوان بهترین منبع آنتی‌اکسیدان طبیعی شناخته می‌شوند. فعالیت آنتی‌اکسیدانی ترکیبات فنولی به طرق مختلف صورت می‌گیرد که از جمله آن‌ها می‌توان به شلاته کردن رادیکال‌های آزاد، دادن هیدروژن، جمع‌آوری اکسیژن و متصل نمودن یون‌ها اشاره کرد. در میان گیاهان حاوی ترکیبات آنتی‌اکسیدانی، گیاهان تیره نعناعیان بیشترین سهم را به خود اختصاص داده و حتی ترکیبات موجود در این منابع می‌توانند مدل‌هایی برای ساخت ترکیبات سنتزی باشند (Ghadri et al., 2010). یکی از گیاهانی که حاوی این ترکیبات است اسطوخودوس با نام علمی *Lavandula officinalis* می‌باشد که گیاهی از خانواده نعناعیان (Lamiaceae) است. اسطوخودوس گیاهی علفی و یک‌ساله است که از اسانس‌های روغن آن برای مصارف درمانی-آرایشی استفاده می‌شود. این گیاه به‌صورت خودرو در مناطق مختلف دنیا یافت می‌شود. روغن استخراج شده از این گیاه (اسانس) حاوی ترکیبات آلی فراری همانند منوترپن‌ها، تانن‌ها و مشتقات کومارین است (Taha Nejad et al., 2012). حضور این ترکیبات در گیاه اسطوخودوس، خواص آنتی‌اکسیدانی این گیاه را افزایش داده است. بنابراین در تحقیق حاضر، اسانس اسطوخودوس از نظر ترکیبات فنولی، فلاونوئیدی و خاصیت آنتی‌اکسیدانی مورد بررسی قرار گرفت. سپس، اسانس اسطوخودوس در غلظت‌های مختلف به روغن کانولا اضافه شده و در طی نگهداری در شرایط تسریع شده (به‌مدت ۱۲ روز) اثر حفاظتی آن بر روغن کانولا بررسی شد.

مواد و روش‌ها

تهیه نمونه اسانس اسطوخودوس

گیاه اسطوخودوس با نام علمی *Lavandula officinalis* از شهر گلستان تهیه شد و پس از تأیید توسط هرباریوم، گل و سرشاخه‌های گلدار گیاه خشک شده و به‌صورت پودر در ظرفی تیره نگهداری شد. اسانس‌گیری با استفاده از اسطوخودوس پودر شده (۵۰ گرم)، به روش تقطیر با آب (۳۰۰ میلی‌لیتر) به‌مدت چهار ساعت توسط دستگاه کلونجر انجام گرفت. سپس، روغن فرار استخراج شده (اسانس) در

مقادیر مختلف (۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰ و ۱۰۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم) به روغن کانولا تصفیه شده اضافه گردید. یک نمونه فاقد اسانس و دو نمونه حاوی غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم TBHQ به عنوان کنترل در نظر گرفته شد. نمونه‌ها درون ظروف تیره رنگ به مدت یک ساعت بر روی شیکر قرار داده شدند تا به خوبی هموژن شوند. سپس شاخص‌های شیمیایی همانند عدد پراکسید، عدد آیزیدین، عدد توتوکس و عدد تیوباربیتریک اسید در طی نگهداری روغن در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲ روز سنجیده شد. از این پس، آنتی‌اکسیدان سنتزی TBHQ با دو غلظت ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم به صورت TBHQ₁₀₀ و TBHQ₂₀₀ و اسانس‌های اسطوخودوس با غلظت‌های ۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰ و ۱۰۰۰ میلی-گرم بر کیلوگرم به ترتیب به صورت L₂₀₀، L₄₀₀، L₆₀₀، L₈₀₀، L₁₀₀₀ و نمونه کنترل L₀ ذکر می‌گردد.

سنجش شاخص‌های اکسایشی روغن کانولا

ارزیابی عدد پراکسید^۱: به منظور سنجش عدد پراکسید از روش تیتراسیون با تیوسولفات سدیم براساس میلی‌اکی‌والان اکسیژن بر کیلوگرم استفاده شد. بدین منظور، ۵ گرم نمونه روغن با ۳۰ میلی‌لیتر محلول اسید استیک-کلروفرم (۲:۳ حجمی/حجمی) مخلوط شد. سپس ۰/۵ میلی‌لیتر محلول یدید پتاسیم اشباع به نمونه اضافه شد. پس از گذشت یک دقیقه، ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر افزوده و نمونه‌ها در حضور شناساگر چسب نشاسته با تیوسولفات سدیم ۰/۰۱ نرمال تیترا شدند. تیتراسیون تا محو شدن رنگ آبی ادامه یافت و عدد پروکسید براساس فرمول زیر محاسبه شد.

$1000 \times \text{حجم نمونه/نرمالیت تیوسولفات سدیم} \times \text{حجم مصرفی در طی تیتراسیون} = \text{عدد پروکسید}$

ارزیابی عدد آیزیدین^۲: برای ارزیابی عدد پارا آیزیدین، ۰/۱۲۵ گرم پارا آیزیدین پس از توزین در بالن ۵۰ میلی‌لیتری، با اسید استیک به حجم رسانده شد (محلول شماره ۱). سپس، پنج گرم روغن با ایزواکتان به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد (محلول شماره ۲). سپس در لوله آزمایش به ۵ میلی‌لیتر از محلول شماره ۲ مقدار یک میلی‌لیتر اسید استیک اضافه گردید (محلول واکنش نیافته) و به ۵ میلی‌لیتر محلول شماره ۲، یک میلی‌لیتر محلول شماره یک اضافه شد (محلول واکنش یافته). برای تهیه بلانک، به ۵ میلی‌لیتر حلال ایزواکتان یک میلی‌لیتر محلول شماره یک افزوده شد. پس از نگهداری به مدت ۱۰ دقیقه در دمای محیط، جذب نمونه‌ها در برابر بلانک در طول موج ۳۵۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد و میزان عدد آیزیدین بر طبق فرمول زیر محاسبه گردید.

حاصل اضافه شد و نمونه‌ها مقابل متانول به عنوان بلانک در طول موج ۵۱۰ نانومتر (اسپکتروفتومتر، HACH DR6000) ساخت کشور آمریکا) خوانده گردید. سپس شکل استاندارد برای روتین رسم گردید (Amiri et al., 2023).

ارزیابی ظرفیت آنتی‌اکسیدانی با رادیکال دی فنیل پیکریل هیدرازیل یا DPPH

به منظور سنجش خاصیت آنتی‌اکسیدانی نمونه، غلظت‌های مختلف اسانس در آزمون DPPH مورد بررسی قرار می‌گیرد. بدین منظور، با افزودن ۵۰۰ میکرولیتر اسانس (غلظت‌های مختلف) به ۱/۵ میلی‌لیتر DPPH (۳/۹۴ میلی گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر متانول) صورت می‌گیرد. بعد از ۲۰ دقیقه جذب در طول موج ۵۱۷ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده گردید. نمونه بلانک حاوی ۵۰ میکرولیتر آب مقطر با ۱/۵ میلی‌لیتر DPPH است. سپس، مقادیر بدست آمده وارد نرم‌افزار اکسل شده و با رسم نمودار و پس از بدست آمدن فرمول مربوطه، غلظتی از اسانس که قادر به خنثی کردن یا مهار ۵۰ درصد از رادیکال آزاد DPPH باشد، محاسبه می‌شود. بدیهی است که هرچه این عدد کوچکتر باشد قدرت آنتی‌اکسیدانی یا مهار رادیکال‌های آزاد، بیشتر می‌باشد (Sarafraz Ardakani et al., 2023).

ارزیابی ظرفیت آنتی‌اکسیدانی براساس احیای آهن با روش FRAP

به طور خلاصه محلول کار FRAP حاوی سه محلول: بافر استات سدیم (۳۰۰ میلی‌مولار با pH=۳/۶، ۲،۴۶-تریس (۲-پیریدیل)-اس، تری آازین ۱۰ میلی‌مولار در اسید هیدروکلریک ۴۰ میلی‌مولار و کلرید آهن ۶ آبه (۲۰ میلی‌مولار) به نسبت ۱۰:۱:۱ تهیه شد. ابتدا رقت‌های مختلف اسانس تهیه شد و سپس به ۱۵۰ میکرولیتر از نمونه های رقیق شده، ۳ میلی‌لیتر از محلول کار FRAP افزوده شد و پس از پنج دقیقه جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۹۳ نانومتر خوانده گردید. از ترکیب ۱۵۰ میکرولیتر متانول با ۳ میلی‌لیتر از محلول کار FRAP به عنوان نمونه شاهد استفاده شد. برای تهیه محلول استاندارد FRAP، میزان ۰/۲۷۸ گرم از فروس سولفات ۵ آبه در یک لیتر آب مقطر حل گردید و سپس غلظت استاندارد (۰/۱ میلی‌مولار تا ۱ میلی‌مولار) تهیه شد و از ترکیب ۱۵۰ میکرولیتر آب مقطر و ۳ میلی‌لیتر محلول کار FRAP بعنوان بلانک استفاده گردید (Sarafraz Ardakani et al., 2023).

افزودن اسانس اسطوخودوس به روغن کانولا

بعد از سنجش خاصیت آنتی‌اکسیدانی با دو روش DPPH و FRAP و محتوای فنول و فلاونوئید تام، اسانس اسطوخودوس در

1- Peroxide value

2- p-Anisidine

وزن روغن (گرم) / (جذب محلول واکنش نیافته - جذب محلول واکنش یافته) $\times 100 = 25$ عدد آنیزیدین

ارزیابی عدد TBARS: در ابتدا مقدار ۱ میلی لیتر نمونه روغن با ۲ میلی لیتر محلول TBA-TCA که حاوی تری کلرو استیک اسید ۱۵ درصد (TCA) و ۲-تیوباربیتریک اسید ۰/۳۷۵ درصد (TBA) در آب مقطر است، مخلوط و ورتکس می شود. سپس در حمام آبگرم ۹۵ درجه سانتی گراد به مدت ۳۰-۱۵ دقیقه تا ظاهر شدن رنگ صورتی آنکوبه می شود. مخلوط حاصل به مدت ۱۵ دقیقه در سانتریفیوژ با دور ۴۵۰۰ rpm قرار داده می شود. سپس جذب مواد روئی در طول موج ۵۳۲ نانومتر در برابر بلانک خوانده می شود. برای آزمون TBARS نمودار استاندارد با استفاده از، ۱، ۳، ۳-تترا اتوکسی پروپان (TEP) در غلظت های مختلف رسم و نتایج به صورت میلی گرم مالون دی آلدید (MDA) در هر کیلوگرم نمونه بیان گردید.

ارزیابی عدد توتوکس: شاخص TOTOX بر اساس نتایج به دست آمده از آزمون های پراکسید و آنیزیدین بر طبق رابطه زیر محاسبه گردید (Foglia et al., 1993).

عدد آنیزیدین + (۲ × عدد پروکسید) = عدد توتوکس

تجزیه و تحلیل آماری

بعد از جمع آوری و ورود اطلاعات به نرم افزار SPSS ۱۸ داده ها با استفاده از از آزمون آنالیز واریانس یک طرفه و Repeated measure مورد بررسی قرار گرفت و نتایج در سطح اطمینان ۹۵ درصد تحلیل گردید. برای مقایسه میانگین ها از آزمون توکی استفاده شد.

نتایج و بحث

ارزیابی ترکیبات شیمیایی اسانس اسطوخودوس با روش کروماتوگرافی گازی (GC-MS)

بر اساس نتایج بدست آمده در **جدول ۱**، ۱۸ ترکیب شیمیایی با مجموع ۹۹/۹۹ درصد در اسانس اسطوخودوس شناسایی شد. در میان ترکیبات شناسایی شده، 1,8-Cineole با ۵۹/۴۵ درصد بیشترین مقدار و پس از آن Linalool، Linalool acetate و Limonene به ترتیب با درصدهای ۳۲/۴۸، ۶/۳۱ و ۱/۰۶ در جایگاه های بعدی بودند. در مطالعه گزیلا و همکاران (Xylia et al., 2017) نیز مطابق با مطالعه حاضر 1,8-Cineol با میزان ۷۵/۵ درصد به عنوان بیشترین ترکیب در اسانس اسطوخودوس معرفی شد. نتایج پژوهش های دی رپر و همکاران (de Rapper et al., 2013) نشان داد که Linalyl acetate (۳۶/۷ درصد) و Linalool (۳۱/۴ درصد) ترکیبات اصلی در اسانس اسطوخودوس هستند که مقادیر Linalyl acetate تقریباً در محدوده مطالعه حاضر می باشد. با وجود اختلاف در بیشترین نوع ترکیب یافت شده اما میزان Linalyl acetate در مطالعه حاضر با

نتایج حاصل از این دو پژوهش همخوانی دارد. در تحقیق سیوکارلان و همکاران (Ciocarlan et al., 2021) ۴۱ ترکیب در اسانس روغنی اسطوخودوس شناسایی شد که Linalool، Linalyl acetate، E-Ocimene و β -Caryophyllene بترتیب بیشترین ترکیبات را شامل می شدند. در مطالعه دانگ و همکاران (Dong et al., 2020) ۴۰ ترکیب در اسانس اسطوخودوس شناسایی شد که حدود ۹۲/۰۳ درصد از ترکیب کلی اسانس را شامل می شد که بیشترین ترکیبات شناسایی شده شامل Linalyl acetate (۲۶/۶۱ درصد)، Linalool (۱۹/۷۱ درصد)، Lavandulol acetate (۱۲/۶۸ درصد)، β -Caryophyllene oxide (۳/۶۵ درصد)، α -Terpineol (۳/۶۱ درصد)، β -cis-Ocimene (۳/۳۱ درصد) بود (Dong et al., 2020). همانطور که مشاهده می شود، میزان ترکیبات شیمیایی در گیاه اسطوخودوس در مطالعات مختلف متغیر می باشد که این تفاوت می تواند به دلیل تفاوت در نوع گونه، شرایط اقلیمی و رشد گیاه، زمان برداشت، مدت زمان نگهداری و نحوه اسانس گیری مرتبط باشد (Behbahani et al., 2017, Yalcin et al., 2017).

ارزیابی محتوای فنول تام و فلاونوئید تام اسانس اسطوخودوس

همانطور که در **جدول ۲** مشاهده می شود، میزان فنول تام اسانس اسطوخودوس ۷۱/۵۵ میلی گرم اسید گالیک بر گرم و میزان فلاونوئید تام ۸۲/۶۶ میلی گرم روتین بر صد گرم محاسبه شد. در بررسی دیف و همکاران (Dif et al., 2017) بر روی سه گونه اسطوخودوس در الجزیره، میزان فنول و فلاونوئید تام در نمونه ها بترتیب ۶۰/۸۴ میلی گرم بر گرم و ۱۸/۱۳ میلی گرم بر گرم تخمین زده شد. میزان فنول تام اسانس اسطوخودوس اسپانیایی در حدود ۱۳۷/۵۲ میلی گرم اسید گالیک بر لیتر گزارش گردید (Marín et al., 2016). در مطالعه باجالان و همکاران (Bajalan et al., 2016) میزان فنول و فلاونوئید تام در ۳۰ نمونه اسطوخودوس بترتیب در محدوده ۱۳/۴۵ تا ۱۰۵/۳۹ میلی گرم بر حسب اسید گالیک در ۱۰۰ گرم وزن خشک و ۲۸/۱۹ تا ۷۱/۶۲ میلی گرم بر حسب کوئرستین در ۱۰۰ گرم وزن خشک گزارش گردید. در مطالعه ای دیگر میزان محتوای فنول اسانس اسطوخودوس مصری ۱۴۰/۳۳ میلی گرم بر حسب اسید گالیک در لیتر محاسبه شد (Viuda-Martos et al., 2011). دلیل تفاوت در میزان ترکیبات فنولی به تفاوت های جغرافیایی (اثر نور خورشید بر فلاونوئیدها)، نوع خاک، شرایط کشت، آب و هوای منطقه و حتی نحوه خشک کردن گیاه بستگی دارد (Caser et al., 2023). همچنین تولید ترکیبات فنولی (ترکیبات ثانویه گیاهان)، تحت تأثیر عواملی مانند استرس و تماس با پاتوژن ها و آفت ها می باشد (Mastrodi Salgado et al., 2012).

جدول ۱- مقادیر ترکیبات شیمیایی موجود در اسانس اسطوخودوس با استفاده از GC-MS
Table 1- The chemical composition of *Lavandula officinalis* essential oil by GC-MS

ردیف Row	زمان بازداری Retention Time (min)	نام ترکیب Chemical Compound	مقدار ترکیب Composition (%)
1	6.53	1,8-Cineole	59.45
2	12.1	Linalool acetate	32.48
3	8.08	Linalool	6.31
4	6.28	Limonene	1.06
5	4.27	α -Pinene	0.13
6	10.16	4-Terpineol	0.13
7	5.3	β -Myrcene	0.07
8	12.76	Lavandulyl acetate	0.07
9	16.34	trans-Caryophyllene	0.07
10	9.31	Camphor	0.04
11	5.02	Sabinene	0.03
12	10.59	α -Terpineol	0.03
13	17.08	α -Humulene	0.03
14	6.62	E- β -Ocimene	0.02
15	4.11	α -Thujene	0.02
16	4.61	Camphene	0.02
17	5.77	δ -3-Carene	0.02
18	5.15	β -Pinene	0.01

جدول ۲- نتایج حاصل از آزمون‌های تعیین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی به روش FRAP و DPPH و محتوای فنول تام و محتوای فلاونوئید تام در اسانس اسطوخودوس

Table 2- The antioxidant capacity (DPPH and FRAP), total phenolic and flavonoid content of *Lavandula officinalis* essential oil

آزمون‌ها Analysis	انحراف معیار $\pm$ میانگین Mean $\pm$ SD
میزان فنول تام Total phenolic content (mg/gGAE)	71.55 $\pm$ 1.02
میزان فلاونوئید تام Total flavonoid content (mg rutin/ 100g)	82.66 $\pm$ 1.13
FRAP FRAP (m Molar FeSO ₄)	12.63 $\pm$ 0.23
DPPH DPPH (mg/ml)	55.88 $\pm$ 2.72

اندازه‌گیری شد (جدول ۲). در مطالعه طاهانزاد و همکاران (Taha Nejad et al., 2012) و دیف و همکاران (Dif et al., 2017) میزان IC₅₀ بترتیب در اسانس اسطوخودوس ۳۵/۵۴ میلی گرم بر میلی لیتر و ۳۲/۱۲ میکرولیتر بر میلی لیتر گزارش شد که نشان‌دهنده بالاتر بودن خاصیت آنتی‌اکسیدانی نسبت به مطالعه حاضر است. همچنین در بررسی اسانس اسطوخودوس اسپانیایی میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی با روش DPPH، IC₅₀ ۳۱/۳۰ گرم بر لیتر و در روش FRAP در

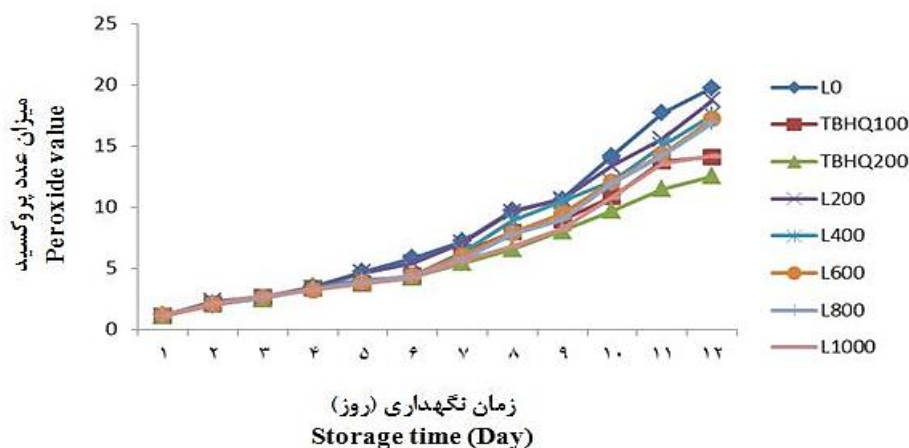
ظرفیت آنتی‌اکسیدانی اسانس اسطوخودوس اسانس اسطوخودوس

در مطالعه حاضر، مطابق با روش FRAP که مبتنی بر توانایی کاهش ترکیب Fe³⁺ به Fe²⁺ است، نتیجه به‌دست آمده از اسانس اسطوخودوس ۱۲/۶۳ بر حسب میلی مولار سولفات آهن بود. همچنین، میزان IC₅₀ در اسانس اسطوخودوس ۵۵/۸۸ میلی گرم بر میلی لیتر

ارزیابی تغییرات کیفی روغن‌ها

همانطور که در شکل ۱ مشخص است، در طی دوازده روز نگهداری، عدد پراکسید در تمام تیمارها به‌طور معنی‌داری ($p \leq 0.05$) افزایش یافته است. مقادیر عدد پراکسید به‌دست آمده در این تحقیق در روزهای اول تا پایان روز هشتم نگهداری، در تمام روغن‌ها پایین‌تر از حد مجاز (۱۰ میلی اکی‌والان در کیلوگرم اکسیژن) اندازه‌گیری شد و از روز نهم تا پایان روز دوازدهم، عدد پراکسیدی بالاتر از حد مجاز در تمامی نمونه‌ها، گزارش شد که در این میان، بالاترین مقادیر عدد پراکسید مربوط به نمونه کنترل بوده که فاقد هر نوع آنتی‌اکسیدان می‌باشد و روغن‌های حاوی آنتی‌اکسیدان سنتزی (TBHQ 200 و TBHQ 100) دارای کمترین افزایش در عدد پراکسید بودند. همانطور که مشاهده شد، تا روز ششم نگهداری از نظر عدد پراکسید نمونه‌های حاوی غلظت بالاتر از ۴۰۰ میلی گرم در هر کیلوگرم عملکرد مشابهی با آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی داشته‌اند و تفاوت معنی‌داری میان آن‌ها مشاهده نشد ($p > 0.05$). همانطور که مشاهده شد، تا روز نهم نگهداری نمونه‌های TBHQ200 و L1000 با عدم اختلاف معنی‌دار در عدد پراکسید عملکرد مشابهی در کنترل اکسایش نشان دادند. اگرچه با گذشت زمان تا روز دوازدهم نمونه L1000 از نظر عدد پراکسید عملکردی مشابه با TBHQ100 نشان داد. این افزایش در نمونه شاهد (فاقد آنتی‌اکسیدان) به‌طور معناداری شدیدتر بود که نشان‌دهنده مقاومت کمتر آن در برابر فساد اکسایشی در مقایسه با سایر نمونه‌ها می‌باشد. نتایج حاصل با مطالعات بنسمیرا و همکاران (Bensmira et al., 2007)، رودریگز و همکاران (Rodrigues et al., 2012) و سید و فرهمندفر و همکاران (Sayyad & Farahmandfar, 2017) مطابقت دارد.

محدوده ۰/۱۴ تا ۰/۲۴ میلی‌مول بر لیتر بر حسب ترولکس تخمین زده شد (Marín et al., 2016). در مطالعه داخل‌آلویی و همکاران (Dakhlaoui et al., 2022) میزان IC50 در نمونه‌های اسانس اسطوخودوس ۴۸/۵۳ میکروگرم بر میلی‌لیتر اندازه‌گیری شد. در مطالعه بدر و همکاران (Badr et al., 2021) و ویودا-مارتوس و همکاران (Viuda-Martos et al., 2011) میزان IC50 اسانس اسطوخودوس بترتیب ۱۸۲۸/۲۵ میلی گرم بر لیتر و ۴۸/۷ گرم بر لیتر تخمین زده شد. همانطور که از نتایج GC-MS مشاهده شد، حضور ترکیباتی همانند 1,8-Cineol، Linalool و Linalool acetate در اسانس اسطوخودوس منجر به افزایش خاصیت آنتی‌اکسیدانی شده است. از سوئی دیگر در مطالعه حاضر، همبستگی مثبت و معنی‌دار میان خاصیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای فنول و فلاونوئید تام مشاهده شد. اگرچه، با وجود این که فلاونوئیدها و فنولی‌ها دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی هستند، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاهان فقط به حضور این دو ماده شیمیایی محدود نمی‌شود. به عبارت دیگر، فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی گیاهان می‌توانند به دلیل وجود سایر متابولیت‌های ثانویه مانند روغن‌های فرار، کاروتنوئیدها، ویتامین‌ها و غیره باشند یا حتی به دلیل فعالیت سینرژیستی گونه‌های مختلف مواد شیمیایی گیاهی که در گیاهان وجود دارند (Adaramola et al., 2016). همچنین بیان شده که زمان برداشت (چیدن در صبح یا عصر) و سال برداشت می‌تواند بر میزان ترکیبات فنولی و متعاقباً بر روی خاصیت آنتی‌اکسیدانی اسطوخودوس مؤثر باشد. علاوه بر این، ذکر شده که نحوه استخراج اسانس یا عصاره اسطوخودوس، گونه اسطوخودوس و نوع قسمت‌های مورد استفاده برای استخراج (گل، ریشه و برگ) می‌تواند بر خاصیت آنتی‌اکسیدانی آن مؤثر باشد (Yalcin et al., 2017).



شکل ۱- عدد پراکسید (بر حسب میلی اکی‌والان گرم اکسیژن در هر کیلوگرم روغن) در نمونه‌های روغن کانولا حاوی غلظت‌های مختلف اسانس اسطوخودوس در طی ۱۲ روز نگهداری

Fig. 1. Peroxide value (meq O₂ /Kg oil) in canola oils containing lavender essential oil during 12 days of storages

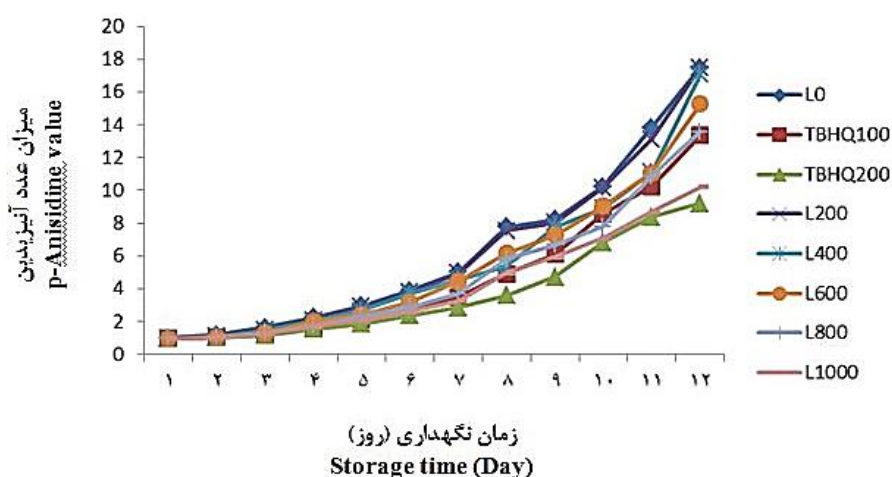
(Abdulkarim et al., 2007) و آکاری و همکاران (Aachary et al., 2014) همخوانی دارد. افزایش در عدد توتوکس تقریباً روندی مشابه با عدد پروکسید و آنیزیدین نشان داد. با توجه به نتایج بدست آمده، عدد توتوکس در نمونه کنترل بطور معنی داری نسبت به بقیه تیمارها بالاتر بود و پس از آن L_{200} در جایگاه بعدی قرار دارد. همانطور که ملاحظه می شود، میزان عدد توتوکس در طی ۱۲ روز نگهداری در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد در نمونه های $TBHQ_{200}$ (۳۴/۲۹) و اسانس اسطوخودوس L_{1000} (۳۵/۵۸) بطور معنی داری پایین تر از تیمارهای دیگر ثبت شد. بنابراین، می توان بیان نمود که با توجه به عملکرد مشابه L_{1000} با $TBHQ_{200}$ این اسانس به طور مؤثری منجر به مهار اکسایش روغن کانولا در طی ۱۲ روز نگهداری در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد شده است. همچنان که مشاهده می شود، در پایان دوازده روز نگهداری الگوی افزایش میزان عدد توتوکس به صورت $L_{1000} > TBHQ_{200} > L_{800} > TBHQ_{100} > L_{600} > L_{400} > L_{200} > L_0$ مشاهده شد که میان نمونه $TBHQ_{200}$ و L_{1000} اختلاف معنی داری مشاهده نشد.

در تحقیق حاضر با گذشت زمان از روز اول تا روز دوازدهم، عدد تیوباریتوریک اسید (شکل ۴) کلیه نمونه ها به طور معنی داری ($p \leq 0.05$) افزایش یافته است. همانطور که از نتایج مشاهده می شود، در ابتدای زمان نگهداری (چهار روز اول) در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد، اختلاف معنی داری بین عدد تیوباریتوریک اسید اسانس اسطوخودوس در غلظت های مختلف با آنتی اکسیدان سنتزی $TBHQ$ وجود نداشت، ولی با گذشت زمان اسانس اسطوخودوس تنها در غلظت های ۸۰۰ و ۱۰۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم توانایی مشابهی با $TBHQ$ در مهار هیدروپراکسیدها نشان داد.

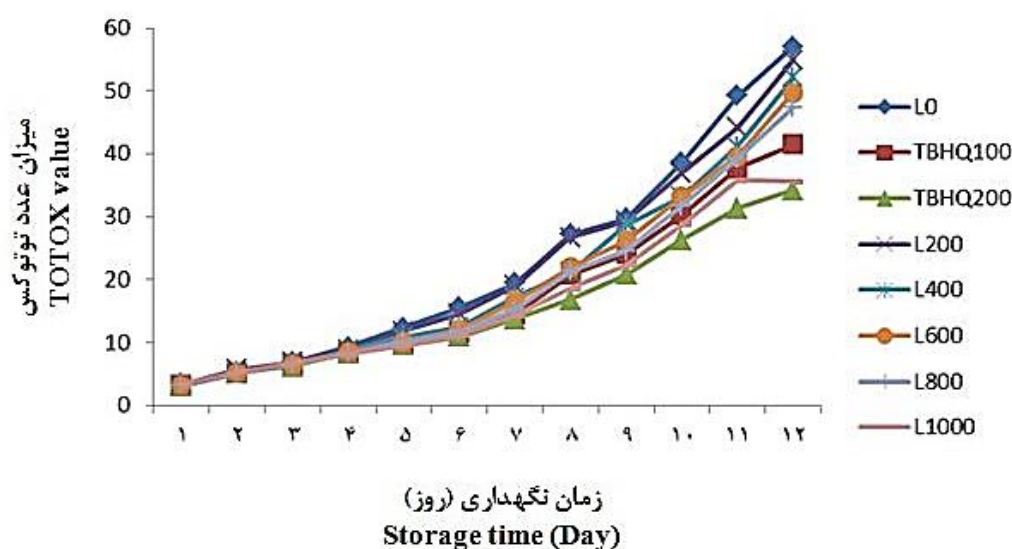
افزایش عدد آنیزیدین در طول دوره نگهداری احتمالاً مربوط به تجزیه پراکسیدها و تبدیل آن ها به محصولات ثانویه اکسیداسیون می باشد. همچنان که از شکل ۲ مشاهده شد، عدد آنیزیدین در نمونه کنترل بالاتر از سایر نمونه ها ارزیابی شد که در واقع عدم وجود آنتی اکسیدان در نمونه در تسریع فرآیند اکسایش و تولید محصولات ثانویه اکسایش مؤثر بوده است.

در مقایسه میان عملکرد نمونه ها، $TBHQ_{200}$ و L_{1000} کمترین مقدار عدد آنیزیدین را در روز دهم تا روز دوازدهم نگهداری دارا بودند. همچنین مشاهده شد که در انتهای روز دوازدهم عملکرد $TBHQ_{100}$ و L_{800} از نظر عدد آنیزیدین مشابه هم بوده است. بنابراین غلظت ۸۰۰ و ۱۰۰۰ میلی گرم اسطوخودوس نقش مؤثری در جلوگیری از افزایش اکسایش روغن کانولا داشته است. نتایج بدست آمده با مطالعات توران (Turan, 2014) و آکاری و همکاران (Aachary et al., 2014) مطابقت دارد. در مطالعه حاضر، نتایج بدست آمده از عدد آنیزیدین الگویی مشابه با نتایج حاصل از عدد پروکسید دارد. به طور کلی نمونه های آنتی اکسیدان سنتزی با غلظت ۲۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم و نمونه L_{1000} نقش مؤثرتری در مهار اکسایش لیپیدی داشته اند. بنابراین، حضور ترکیبات آنتی اکسیدانی در اسانس اسطوخودوس بالاخص در نمونه L_{1000} منجر به تنزل تخریب اسیدهای چرب غیراشباع در روغن کانولا شده است.

مقدار عدد توتوکس صرفاً جهت تعیین پایداری اکسایشی روغن های تصفیه شده مورد استفاده قرار می گیرد (Mohammadi et al., 2013). در مطالعه حاضر (شکل ۳)، با افزایش عدد توتوکس در طی افزایش مدت زمان نگهداری بیانگر افزایش فساد روغن در طی نگهداری در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد است که با نتایج تقشینه و همکاران (Naghshineh et al., 2009)، عبدالکریم همکاران

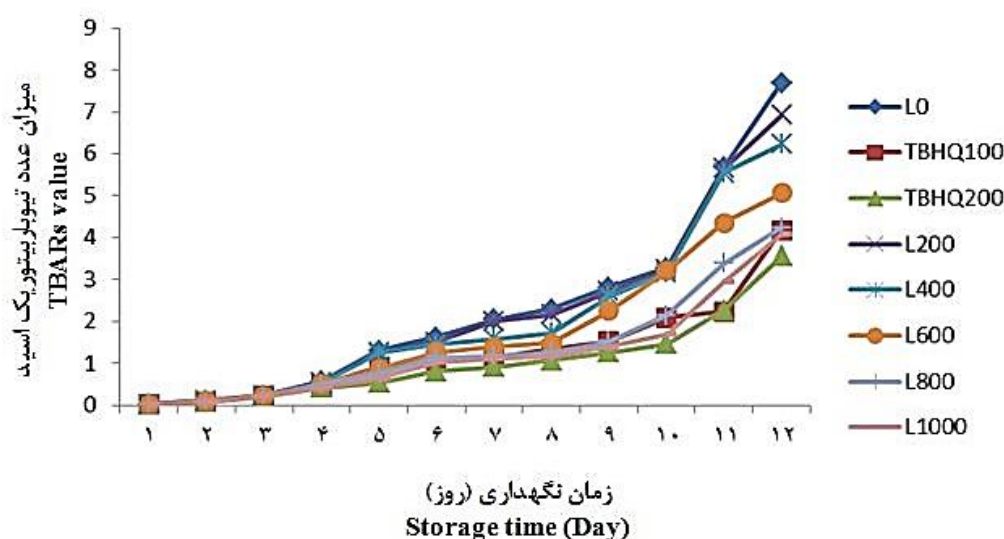


شکل ۲- عدد آنیزیدین در نمونه های روغن کانولا حاوی غلظت های مختلف اسانس اسطوخودوس در طی ۱۲ روز نگهداری
Fig. 2. P-Anisidine value in canola oils containing lavender essential oil during 12 days of storages



شکل ۳- عدد توتوکس در نمونه‌های روغن کانولا حاوی غلظت‌های مختلف اسانس اسطوخودوس در طی ۱۲ روز نگهداری

Fig. 3. TOTOX value in canola oils containing lavender essential oil during 12 days of storages



شکل ۴- عدد تیوباربیتوریک اسید (برحسب میلی گرم مالون دی آلدهید در هر کیلوگرم روغن) در نمونه‌های روغن کانولا حاوی غلظت‌های مختلف

اسانس اسطوخودوس در طی ۱۲ روز نگهداری

Fig. 4. TBARS in canola oils containing lavender essential oil during 12 days of storages

های خوراکی وابسته به محتوای اسید چرب روغن و میزان ترکیبات دیگری همانند توکوفرول و پلی فنول‌ها است. توکوفرول‌ها و ترکیبات فنولی ترکیبات عملکردی مهم در روغن‌های گیاهی هستند. توکوفرول یک آنتی اکسیدان طبیعی بسیار مهم می‌باشد که برای سلامت انسان حائز اهمیت است. از سوئی دیگر، ترکیبات فنولی هم به دلیل داشتن خاصیت آنتی اکسیدانی برای فعالیت‌های بیولوژیکی بدن با کاهش بیماری‌های ایجاد شده توسط رادیکال‌های آزاد و گونه های فعال اکسیژن نقش مهمی دارند (Sharayei et al., 2011).

در نتیجه در سایر نمونه‌های مورد بررسی، مقدار مالون دی آلدهید و عدد تیوباربیتوریک اسید، افزایش بیشتری یافت. به دلیل این که مالون دی آلدهید از محصولات ثانویه اکسایش بوده و از تجزیه محصولات اولیه از جمله پراکسیدها به دست می‌آید، برخلاف عدد پراکسید با سرعت کمتری افزایش یافت، اما روند افزایشی در ساعات پایانی قابل توجه بود که با نتایج تحقیق دلفانیان و همکاران (Delfanian et al., 2015) و گلی و همکاران (Goli et al., 2005) همخوانی داشت. باید توجه داشت که پایداری اکسایشی روغن

نتیجه گیری

باتوجه به نتایج بدست آمده از محتوای فنول و فلاونوئید تام و همچنین خاصیت آنتی اکسیدانی اسانس اسطوخودوس، همراه با نتایج حاصل از به کارگیری آن در روغن کانولا طی شرایط تسریع شده، می توان نتیجه گرفت که این اسانس به عنوان ضد اکساینده طبیعی، توانایی واکنش با رادیکال های حاصل از اکسایش لیپیدها را داشته و موجب قطع واکنش های زنجیره ای اکسایش و افزایش زمان و کاهش سرعت اکسایش خود به خودی می شود. همانطور که مشاهده شد، اکسایش روغن کانولا در تمامی نمونه ها بالاخص نمونه های فاقد آنتی اکسیدان یا آنتی اکسیدان به میزان کمتر با افزایش مدت زمان نگهداری، به طور معنی داری افزایش پیدا کرد. به طور کلی، اسانس اسطوخودوس در غلظت L_{1000} و همچنین در برخی شاخص های اکسایشی اسانس اسطوخودوس در غلظت L_{800} همانند آنتی اکسیدان

سنتزی TBHQ نقش مؤثری در جلوگیری از اکسایش روغن های خوراکی داشته است.

میزان مشارکت

فاطمه السادات خانقایی: انجام آزمایشات، نگارش، مدیریت و تحلیل داده ها. **فاطمه اکرمی، الهه عسکری، الهام خلیلی، حسین فلاح زاده:** مدیریت پروژه و داده ها، کنترل آزمایشات، بررسی و ویرایش، تحلیل داده ها.

تأمین مالی

نویسندگان این مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد به خاطر حمایت های مالی و آزمایشگاه بهداشت و ایمنی مواد غذایی جهت همکاری اعلام می دارند.

References

1. Aachary, A.A., Chen, Y., Eskin, N.M., & Thiyam-Hollander, U. (2014). Crude canolol and canola distillate extracts improve the stability of refined canola oil during deep-fat frying. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 116(11), 1467-1476. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201300498>
2. Abdulkarim, S., Long, K., Lai, O.M., Muhammad, S., & Ghazali, H. (2007). Frying quality and stability of high-oleic Moringa oleifera seed oil in comparison with other vegetable oils. *Food Chemistry*, 105(4), 1382-138. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.05.013>
3. Adaramola, B., Onigbinde, A., & Shokunbi, O. (2016). Physiochemical properties and antioxidant potential of Persea Americana seed oil. *Chemistry International*, 2(3), 168-175.
4. Amiri, M., Arab, M., Sadrabad, E.K., Mollakhalili-Meybodi, N., & Fallahzadeh, H. (2023). Effect of gamma irradiation treatment on the antioxidant activity, phenolic compounds and flavonoid content of common buckwheat. *Radiation Physics and Chemistry*, 111127. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2023.111127>
5. Badr, M.M., Badawy, M.E., & Taktak, N.E. (2021). Characterization, antimicrobial activity, and antioxidant activity of the nanoemulsions of *Lavandula spica* essential oil and its main monoterpenes. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 65, 102732.
6. Bajalan, I., Mohammadi, M., Alaei, M., & Pirbalouti, A.G. (2016). Total phenolic and flavonoid contents and antioxidant activity of extracts from different populations of lavandin. *Industrial Crops and Products*, 87, 255-260. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.04.059>
7. Behbahani, B.A., Shahidi, F., Yazdi, F.T., Mortazavi, S.A., & Mohebbi, M. (2017). Use of *Plantago major* seed mucilage as a novel edible coating incorporated with *Anethum graveolens* essential oil on shelf life extension of beef in refrigerated storage. *International Journal of Biological Macromolecules*, 94, 515-526. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.10.055>
8. Bensmira, M., Jiang, B., Nsabimana, C., & Jian, T. (2007). Effect of lavender and thyme incorporation in sunflower seed oil on its resistance to frying temperatures. *Food Research International*, 40(3), 341-346. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.10.004>
9. Caser, M., Falla, N.M., Demasi, S., & Scariot, V. (2023). From fresh to dried lavender flower: Changes in phytochemical profile according to drying method. *Horticulturae*, 9(6), 700. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9060700>
10. Ciocarlan, A., Lupascu, L., Aricu, A., Dragalin, I., Popescu, V., Geana, E.-I., & Hristozova, G. (2021). Chemical composition and assessment of antimicrobial activity of lavender essential oil and some by-products. *Plants*, 10(9), 1829.
11. Cui, L., Cho, H.T., McClements, D.J., Decker, E.A., & Park, Y. (2016). Effects of salts on oxidative stability of lipids in Tween-20 stabilized oil-in-water emulsions. *Food Chemistry*, 197, 1130-1135. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.11.099>

12. Dakhlaoui, S., Wannes, W.A., Sari, H., Hmida, M.B., Frouja, O., Limam, H., & Jallouli, S. (2022). Combined effect of essential oils from Lavender (*Lavandula officinalis* L.) aerial parts and coriander (*Coriandrum sativum* L.) seeds on antioxidant, anti-diabetic, anti-cancer and anti-inflammatory activities. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 25(1), 188-199. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2022.2049892>
13. de Rapper, S., Kamatou, G., Viljoen, A., & van Vuuren, S. (2013). The in vitro antimicrobial activity of *Lavandula angustifolia* essential oil in combination with other aroma-therapeutic oils. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. <https://doi.org/10.1155/2013/852049>
14. Delfanian, M., Esmaeilzadeh Kenari, R., & Sahari, M.A. (2015). Antioxidative effect of loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) fruit skin extract in soybean oil. *Food Science & Nutrition*, 3(1), 74-80. <https://doi.org/10.1002/fsn3.193>
15. Dif, M., Benyahia, M., Toumi Benali, F., Rahmani, M., & Bouazza, S. (2017). Phenolic content and antioxidant activity of three algerian species of lavenders. *Phytothérapie*, 15(6), 367-372. <https://doi.org/10.1007/s10298-016-1028-5>
16. Dong, G., Bai, X., Aimila, A., Aisa, H.A., & Maiwulanjiang, M. (2020). Study on lavender essential oil chemical compositions by GC-MS and improved pGC. *Molecules*, 25(14), 3166. <https://doi.org/10.3390/molecules25143166>
17. Farhoosh, R., Pazhouhanmehr, S., & Poorazrang, H. (2010). Heat stability of the oils from current canola cultivars in Iran. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 6(4), 11-17.
18. Foglia, T.A., Petruso, K., & Fearheller, S.H. (1993). Enzymatic interesterification of tallow sunflower oil mixtures. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 70(3), 281-285. <https://doi.org/10.1007/BF02545309>
19. Fu, M., Qu, Q., Yang, X., & Zhang, X. (2016). Effect of intermittent oven drying on lipid oxidation, fatty acids composition and antioxidant activities of walnut. *LWT-Food Science and Technology*, 65, 1126-1132. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.10.002>
20. Ghadri, T.A., Mousavi Gargari, S.L., Sharafi, S.M., Darvish Alipour Aastaneh, S., & Rezaei, M.B. (2010). Antimicrobial, antioxidant, hematologic and cytotoxic properties of *Lavandula angustifolia* essential oil. *Pathobiology Research (Modares Journal Of Medical Sciences)*, 12(4), 45-58.
21. Goli, A.H., Barzegar, M., & Sahari, M.A. (2005). Antioxidant activity and total phenolic compounds of pistachio (*Pistachia vera*) hull extracts. *Food Chemistry*, 92(3), 521-525. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.08.020>
22. Karami, O.R., Khodaverdi, M., & ALI, A.F. (2010). Antibacterial effect of effective compounds of *Satureja hortensis* and *Thymus vulgaris* essential oils against *Erwinia amylovora*. <https://jast.modares.ac.ir/article-23-2947-en.html>
23. Marín, I., Sayas-Barberá, E., Viuda-Martos, M., Navarro, C., & Sendra, E. (2016). Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activity of essential oils from organic fennel, parsley, and lavender from Spain. *Foods*, 5(1), 18. <https://doi.org/10.3390/foods5010018>
24. Mastrodi Salgado, J., Baroni Ferreira, T.R., de Oliveira Biazotto, F., & dos Santos Dias, C.T. (2012). Increased antioxidant content in juice enriched with dried extract of pomegranate (*Punica granatum*) peel. *Plant Foods for Human Nutrition*, 67(1), 39-43. <https://doi.org/10.1007/s11130-011-0264-y>
25. Mohammadi, M., Hajeb, P., Seyyedian, R., Hossein Mohebbi, G., & Barmak, A. (2013). Evaluation of oxidative quality parameters in imported edible oils in Iran. *British Food Journal*, 115(6), 789-795. <https://doi.org/10.1108/BFJ-Feb-2011-0035>
26. Naghshineh, M., Ariffin, A.A., Ghazali, H.M., Mirhosseini, H., Kuntom, A., & Mohammad, A.S. (2009). Monitoring the change patterns of physicochemical properties of oil blend as function of storage time. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 7(3&4), 1-20. <https://www.isfae.org/scientificjournal.php>
27. Rodrigues, N., Malheiro, R., Casal, S., Manzanera, M.C.A.-S.-, Bento, A., & Pereira, J.A. (2012). Influence of spike lavender (*Lavandula latifolia* Med.) essential oil in the quality, stability and composition of soybean oil during microwave heating. *Food and Chemical Toxicology*, 50(8), 2894-2901. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2012.05.020>
28. Sarafraz Ardakani, M., Akrami Mohajeri, F., Askari, E., Javdan, G., Pourramezani, F., Fallahzadeh, H., & Khalili Sadrabad, E. (2023). Efficacy of different Sesame oil refining stages in reduction of heavy metals, antioxidant activity, and oxidative parameters. *Journal of Food Processing and Preservation*. <https://doi.org/10.1155/2023/1197398>
29. Sarraimi, S., Akrami Mohajeri, F., Sadeghizadeh-Yazdi, J., Jambarsang, S., & Khalili Sadrabad, E. (2023). Chemical composition and antioxidant activity of clove essential oil and its effect on stability of sesame oil under accelerated condition. *Journal of Nutrition and Food Security*, 8(3), 343-352. <https://doi.org/10.18502/jnfs.v8i3.13280>

30. Sayyad, R., & Farahmandfar, R. (2017). Influence of *Teucrium polium* L. essential oil on the oxidative stability of canola oil during storage. *Journal of Food Science and Technology*, 54, 3073-3081. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2743-0>
31. Sharayei, P., Farhoosh, R., Poorazrang, H., & Khodaparast, M.H.H. (2011). Effect of bene kernel oil on the frying stability of canola oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 88, 647-654. <https://doi.org/10.1007/s11746-010-1708-5>
32. Taha Nejad, M., Barzegar, M., Sahari, M., & H, N.B. (2012). Evaluation of antioxidant activity of *Lavandula angustifolia* essential oil in crude soybean oil system. *Journal Medicinal Plants*, 11(41), 127-140. <https://jmp.ir/article-1-482-fa.html>
33. Turan, S. (2014). Efficiency of various plant essential oils in stabilization of canola oil and of its purified triacylglycerols. *Journal of Essential Oil Research*, 26(3), 166-176. <https://doi.org/10.1080/10412905.2013.840810>
34. Viuda-Martos, M., Mohamady, M., Fernández-López, J., Abd ElRazik, K., Omer, E., Pérez-Alvarez, J., & Sendra, E. (2011). In vitro antioxidant and antibacterial activities of essentials oils obtained from Egyptian aromatic plants. *Food Control*, 22(1), 1715-1722. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.04.003>
35. Xylia, P., Chrysargyris, A., Botsaris, G., & Tzortzakis, N. (2017). Potential application of spearmint and lavender essential oils for assuring endive quality and safety. *Crop Protection*, 102, 94-103. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.08.015>
36. Yalcin, H., Kavuncuoğlu, H., Tulukcu, E., & Eroğlu, Z. (2017). The effect of harvest time on the bioactive properties and volatile components of lavender (*Lavandula officinalis*). *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 9(3), 275-283. <https://doi.org/10.3920/QAS2015.0763>

Optimization of Effective Factors on the Antioxidant and Antimicrobial Activity of Sesame Meal Protein Hydrolysate with Fermentation by *Bacillus subtilis*

P. Raei¹, M. Khomeiri^{ID 2*}, A. Sadeghi Mahoonak^{ID 2}, A. Moayedi^{ID 3}, M. Kashiri³

1, 2 and 3- Ph.D. Student, Professor and Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, respectively.

(* - Corresponding Author Email: khomeiri@gu.ac.ir)

Received: 27.01.2024	How to cite this article:
Revised: 28.02.2024	Raei, P., Khomeiri, M., Sadeghi Mahoonak, A., Moayedi, A., & Kashiri, M. (2024).
Accepted: 03.03.2024	Optimization of effective factors on the antioxidant and antimicrobial activity of
Available Online: 21.11.2024	sesame meal protein hydrolysate with fermentation by <i>Bacillus subtilis</i> . <i>Iranian Food Science and Technology Research Journal</i> , 20(5), 547-558. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.86575.1311

Introduction

Nowadays, antibiotic resistance is increasing in all parts of the world and is emerging and expanding globally. Due to their natural antimicrobial properties and low tendency to develop bacterial resistance, antimicrobial peptides can be a good candidate as an alternative to synthetic antibiotics. Bioactive peptides are produced using enzymatic hydrolysis by enzymes extracted from microorganisms and plants, digestive enzymes, and fermentation by proteolytic starter cultures. Enzymatic hydrolysis of proteins is performed by commercial proteases or a combination of several proteolytic enzymes. Commercial proteases are expensive due to their specificity. Among the strategies for protein hydrolysis with the aim of obtaining bioactive peptides is microbial fermentation, which is more environmentally friendly and has a high potential for use in industry due to its relatively low cost compared to commercial enzymes. It is a suitable method for the hydrolysis of sesame meal protein. *Bacillus* species are bacteria that have high proteolytic activity and are able to produce different endopeptidases in the fermentation medium. The activity of endopeptidases in the environment containing proteins causes the production of peptides with small sizes and free amino acids in higher amounts compared to enzymatic hydrolysis, which is one of the advantages of using *Bacillus* species with high proteolytic activity compared to pure enzymes. In general, the purpose of this research was to produce sesame meal protein hydrolysate by fermentation with *Bacillus subtilis* and to investigate its antimicrobial and antioxidant activity.

Materials and Methods

In this study, at the first step, sesame meal was defatted with hexane at a ratio of 1:5, then it was dried and sesame meal protein isolate was extracted, and the optimization of fermentation conditions was determined by the response surface methodology (RSM). Independent variables, including temperature (30 to 45 °C), time (12 to 36 h), and substrate concentration (2 to 6%), were considered. The antioxidant properties of the treatments, including DPPH radical scavenging activity, ferric ion reducing power, and antimicrobial activity, were investigated, and the optimum treatment was selected. Then the protein hydrolysate was freeze-dried and stored at -20 °C.

Results and Discussion

According to the results, temperature (39.68 °C), time (30.07 h), and substrate concentration (4.85%) were selected as optimum conditions. Under these conditions, DPPH radical scavenging activity and ferric ion reducing power of hydrolysate were 63.57% and 0.9951 (absorbance at 700 nm), respectively. The inhibition percentages of *Staphylococcus aureus* (59.58%), *Escherichia coli* (6.55%), *Listeria monocytogenes* (62.43%), and *Clostridium perfringens* (50.97%) were obtained in the optimized condition. *Bacillus subtilis*, in the



presence of sesame meal protein, showed significant ($p<0.05$) protease activity over time. After 48 hours, the clear zone diameter was determined to be 22 mm. The clear zone created by this strain showed that *Bacillus subtilis* has high proteolytic activity and can be a suitable bacterium for hydrolyzing sesame meal protein with the aim of obtaining hydrolysates with the highest antimicrobial and antioxidant activities. The antimicrobial activity of the protein hydrolysate can be due to the higher degree of hydrolysis. By increasing the hydrolysis time, peptides with low molecular weight are produced, which cause better interaction with the microbial cell membrane, disrupt the membrane, and lead to the inhibition of the microorganism. According to the results, the sesame meal protein hydrolysate showed more inhibitory effect against gram-positive bacteria than gram-negative bacteria (*Escherichia coli*). Researchers reported that the difference in sensitivity to antimicrobial compounds between gram-positive and gram-negative bacteria can be attributed to the structure and composition of the cell envelope (cytoplasmic membrane or outer membrane, and cell wall). In general, the bioactivity properties of protein hydrolysate depend on the amino acid composition, sequence, and molecular weight of the amino acids. The antioxidant activity can be due to the high content of polar and aromatic amino acids. By further hydrolysis of proteins, peptides and polar free amino acids are produced that interact with free radicals and converted into safe and stable intermediate products.

Conclusion

In this study, *Bacillus subtilis* strain was used to ferment sesame meal protein, which is a rich source of protein, to produce protein hydrolysate with maximum antimicrobial and antioxidant activities. Results showed that the protein hydrolysate obtained from sesame meal protein isolate had antimicrobial and antioxidant activities. It can be used as a natural antimicrobial or antioxidant agent in the formulation of food or pharmaceutical industry to improve the health of society.

Keywords: Antioxidant, Antimicrobial, Fermentation, Sesame meal protein hydrolysate

مقاله پژوهشی

جلد ۲۰، شماره ۵، آذر-دی ۱۴۰۳، ص. ۵۴۷-۵۵۸

بهینه‌سازی عوامل مؤثر بر ویژگی آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی پروتئین هیدرولیز شده کنجاله کنجد با تخمیر توسط باسیلوس سابتیلیس

پریسا راعی^۱ - مرتضی خمیری^{۲*} - علیرضا صادقی ماهونک^۲ - علی مؤیدی^۳ - محبوبه کشیری^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۲

چکیده

استفاده از پروتئین‌های هیدرولیز شده یا پپتیدهای حاصل از آنها با خاصیت ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی یکی از روش‌های چایگزین ترکیبات شیمیایی ضد میکروب و آنتی‌اکسیدان می‌باشد. هیدرولیز میکروبی جهت رسیدن به این هدف نسبت به روش‌های هیدرولیز آنزیمی و شیمیایی روشی کارآمد و اقتصادی می‌باشد. در این پژوهش ایزوله پروتئین کنجاله کنجد از طریق فرآیند تخمیر توسط باسیلوس سابتیلیس با هدف دستیابی به بیشینه فعالیت ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی هیدرولیز شده. بهینه‌سازی شرایط تخمیر (پارامترهای تخمیر شامل دما ۳۰ تا ۴۵ درجه سانتی‌گراد، زمان ۱۲ تا ۳۶ ساعت و غلظت سوبسترا ۲ تا ۶ درصد) به روش سطح پاسخ در قالب طرح مرکب مرکزی جهت دستیابی به بیشترین فعالیت ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی انجام شد. دمای تخمیر (۳۹/۶۸ درجه سانتی‌گراد)، زمان (۳۰/۰۷ ساعت) و غلظت سوبسترا (۴/۸۵ درصد) به‌عنوان شرایط بهینه انتخاب شد. تحت این شرایط قدرت مهار کنندگی رادیکال DPPH و احیاء کنندگی یون آهن به‌ترتیب ۶۳/۵۷٪ و ۰/۹۹۵۱ (جذب در ۷۰۰ نانومتر) به‌دست آمد. برای تعیین اثر ضد میکروبی پروتئین هیدرولیز شده از روش کدورت‌سنجی استفاده شد و درصد مهار کنندگی / استافیلوکوکوس اورئوس ۵۹/۵۸٪، / شرشیاکلا ۴۶/۵۵٪، / لیستریا مونوسیتوژنز ۶۲/۴۳٪ و / کلسترییدیوم پرفرنجنس ۵۰/۹۷٪ به‌دست آمد. آزمون پروتئاز با روش نقطه‌گذاری انجام شد. باسیلوس سابتیلیس در حضور پروتئین کنجد فعالیت پروتئازی به‌صورت معنی‌دار ($p < 0.05$) در طی زمان نشان داد. به‌طوری‌که در مدت زمان ۴۸ ساعت هاله شفاف به قطر ۲۲ میلی‌متر ایجاد کرد. نتایج حاصل نشان داد که پروتئین هیدرولیز شده کنجاله کنجد توسط باسیلوس سابتیلیس دارای فعالیت زیست‌فعالی مناسبی است و از آن می‌توان به‌عنوان ترکیب ضد میکروب و آنتی‌اکسیدان طبیعی استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: آنتی‌اکسیدان، پروتئین هیدرولیز شده کنجاله کنجد، تخمیر، ضد میکروبی

مقدمه

بزرگ در جهان تبدیل شده است و نیاز است استفاده از آنتی‌بیوتیک‌ها به حداقل برسد. مقاومت آنتی‌بیوتیکی در تمام نقاط جهان در سطح خطرناکی در حال افزایش است. مقاومت آنتی‌بیوتیکی، به مقاومت میکروارگانیسم در برابر داروی ضد میکروبی اطلاق می‌گردد که معمولاً برای درمان آن عفونت استفاده می‌شود. باکتری‌های مقاوم جدید در حال ظهور و گسترش در سطح جهانی هستند و توانایی افراد را برای درمان بیماری‌های عفونی رایج تهدید می‌کنند (Chokshi et al., 2019). بیماری‌های عفونی توسط میکروارگانیسم‌ها ایجاد می‌شوند و برای درمان آن‌ها به آنتی‌بیوتیک‌های مؤثر نیاز است. بیماری‌های عفونی که در دهه ۱۹۶۰ با آنتی‌بیوتیک‌ها درمان می‌شدند (مانند سل، سوزاک یا ذات‌الریه) ممکن است امروزه به‌دلیل مقاومت

یکی از جدی‌ترین عواملی که سلامت عمومی افراد را به خطر می‌اندازد مقاومت به ترکیبات ضد میکروبی است که علت آن استفاده بیش از حد و سوء استفاده از آنتی‌بیوتیک‌ها می‌باشد. با توجه به پیش بینی‌های انجام شده، مرگ و میر ناشی از عفونت‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک‌ها تا سال ۲۰۵۰ به ۱۰ میلیون نفر می‌رسد که به یک مشکل

۱، ۲ و ۳ - به‌ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

(* - نویسنده مسئول: Email: khomeiri@gau.ac.ir

<https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.86575.1311>

کنجد با نام علمی (*Sesamum indicum* L.) دانه روغنی شناخته شده‌ای است. کنجاله کنجد منبع اصلی پروتئین دانه است و حاوی حدود ۴۰ تا ۶۰ درصد پروتئین و با اهمیت فیزیولوژیکی بالا است (Liu et al., 2015). پروتئین ایزوله کنجاله کنجد پس از استخراج روغن، غنی از لوسین، آرژنین و متیونین است. مطالعات اخیر فعالیت آنتی‌اکسیدانی و اثر ضد چربی خون ایزوله پروتئین کنجد را در موش‌های صحرایی آلبینو نشان داده است (Yamauchi et al., 2006). در مقایسه با تحقیقات انجام شده روی پپتیدهای ضد باکتری مشتق شده از میکروارگانیسم‌ها، مطالعات کمی روی شناسایی پپتیدهای ضد باکتری تولید شده از پروتئین گیاهی وجود دارد.

بطور کلی هدف از انجام این پژوهش بهینه‌سازی تولید پروتئین هیدرولیز شده کنجاله کنجد با تخمیر توسط باسیلوس سابتیلیس برای دستیابی به پروتئین هیدرولیز شده با بیشترین فعالیت ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی (مهار رادیکال DPPH، اجباءکنندگی یون آهن) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مواد: تری کلرواستیک اسید، DPPH^۲ (شرکت سیگما)، پتاسیم فری سیانید، فریک کلرید، محیط کشت نوترینت آگار، مولر هیتون براث (مرک آلمان)، کنجاله کنجد از شرکت (صنایع غذایی کشاورز، قم) تهیه شد.

سویه‌های میکروبی: /شرشیاکلا ۲۵۹۲۲ ATCC:، استافیلوکوکوس اورئوس ۲۵۹۲۳ ATCC:، لیستریا مونوسیتوژنز ۱۳۹۳۲ ATCC:، کلستریدیوم پرفرنجنس ۱۳۱۲۴ ATCC: و باسیلوس سابتیلیس ۱۲۷۱۱ ATCC: از کلکسیون قارچ‌ها و باکتری‌های صنعتی ایران خریداری شد.

آماده‌سازی نمونه و چربی‌گیری: ابتدا کنجاله کنجد با آسیاب الکتریکی آسیاب و با هگزان به نسبت ۱ به ۱۰ (وزنی-حجمی) چربی زدایی شد و به مدت ۳ ساعت در دمای اتاق با دور ۱۵۰ rpm همزده، و برای جداسازی هگزان از قیف بوخنر استفاده شد. سپس در آن با دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد خشک شده و بعد از عبور از الک با مش ۴۰ در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد تا زمان انجام آزمایش نگهداری شد (Kaur & Singh, 2007).

تهیه ایزوله پروتئین کنجاله کنجد: پودر کنجاله کنجد چربی زدائی شده به نسبت ۱ به ۱۰ با آب مخلوط و pH آن توسط NaOH یک مولار به ۱۱ رسانده شد و به‌طور مداوم با همزن مغناطیسی به مدت ۱ ساعت در دمای ۵۵-۵۰ درجه سانتی‌گراد همزده شد سپس با دور ۶۰۰۰ rpm به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد

به درمان پاسخ ندهند (Morone et al., 2016). پپتیدهای ضد میکروبی را می‌توان به‌طور طبیعی تقریباً در تمام حوزه‌های زندگی به عنوان بخشی از سیستم ایمنی ذاتی برای مبارزه با ویروس‌ها، باکتری‌ها، قارچ‌ها و حتی سلول‌های سرطانی مورد استفاده قرار داد (Cheng et al., 2014). پپتیدهای ضد میکروبی^۱ (AMPs) به دلیل خواص ضد میکروبی طبیعی و تمایل کم برای ایجاد مقاومت باکتریایی، گزینه مناسبی برای طراحی عوامل ضد میکروبی جدید برای کاربردهای خاص هستند که توجه محققان را به خود جلب کرده‌اند. (AMPs) آنتی‌بیوتیک‌های طبیعی در نظر گرفته می‌شوند و توسط همه گونه‌های زنده شناخته‌شده از جمله باکتری‌ها، قارچ‌ها و گیاهان تولید می‌شوند که می‌توانند به‌عنوان جایگزین جدید آنتی‌بیوتیک‌های معمولی به کار روند (Wang et al., 2016).

پپتیدهای زیست‌فعال از طریق هیدرولیز آنزیمی توسط آنزیم‌های تجاری یا با تخمیر توسط باکتری‌های تخمیر کننده پروتئولیتیک تولید می‌شوند و بر اساس ترکیب و موقعیت قرارگیری اسیدهای آمینه دارای عملکردهای مختلف از جمله اثرات آنتی‌اکسیدانی، ضد التهاب، کاهش دهنده‌ی کلسترول، ضد فشار خون، ضد سرطان و غیره می‌باشند (Ortiz-Martinez et al., 2014). هیدرولیز آنزیمی پروتئین‌ها توسط پروتئازهای تجاری یا ترکیبی از چندین آنزیم پروتئولیتیک انجام می‌شود. پروتئازهای تجاری به دلیل اختصاصی بودن گران هستند. استفاده از این آنزیم‌ها برای هیدرولیز پروتئین به محصولات جدید با ارزش افزوده بالا از نظر اقتصادی کارآمد نخواهد بود. یکی از راهبردها برای هیدرولیز پروتئین با هدف دستیابی به پپتیدهای زیست فعال تخمیر میکروبی است که مقرون به صرفه‌تر و سازگار با محیط زیست است (Moayedi et al., 2016). میکروارگانیسم‌ها در طی فرآیند تخمیر پروتئازهایی را ترشح می‌کنند که سبب هیدرولیز پروتئین می‌شوند از این رو روش مقرون به صرفه‌تر نسبت به هیدرولیز با آنزیم‌های تجاری می‌باشد (Agyei & Danquah, 2011). گونه‌های باسیلوس معمولاً فعالیت پروتئولیتیکی بالایی داشته و می‌توانند اندوپپتیدازهای مختلف را در محیط تخمیر تولید کنند. فعالیت اندوپپتیدازها در محیط حاوی پروتئین سبب تولید پپتیدهایی با اندازه کوچک و آمینواسیدهای آزاد در مقادیر بالاتر نسبت به هیدرولیز آنزیمی می‌شود که یکی از مزایای استفاده از گونه‌های باسیلوس با فعالیت پروتئولیتیک بالا نسبت به آنزیم خالص می‌باشد (Zhang et al., 2014).

در مطالعات اخیر از پروتئین‌های ضایعات کشاورزی و صنعتی جهت تولید پپتیدهای زیست‌فعال با بیشینه فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی استفاده شده است (Wouters et al., 2016).

منفی حاوی محیط‌کشت و پروتئین هیدرولیز شده و نمونه کنترل مثبت حاوی محیط‌کشت و سوسپانسیون باکتری با غلظت cfu/ml 10^5 بود. درصد مهارکنندگی مطابق فرمول زیر بدست آمد: A جذب نوری باکتری، B جذب نوری نمونه با باکتری و C جذب نوری نمونه

$$\text{درصد مهار کنندگی} = \frac{A - (B - C)}{A} \times 100$$

آزمون آنتی‌اکسیدانی

اندازه‌گیری فعالیت مهار رادیکال آزاد (DPPH): برای فعالیت مهار رادیکال DPPH، ابتدا ۲۰ میلی‌گرم از پروتئین هیدرولیز شده در یک میلی‌لیتر آب مقطر حل و ۵۰۰ میکرولیتر از آن با ۳۷۵ میکرولیتر اتانول ۹۹/۱٪ ترکیب و ۱۲۵ میکرولیتر محلول DPPH ۰/۱۵ میلی‌مولار به آن اضافه شد و ۳۰ دقیقه در تاریکی قرار گرفت و در ادامه جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر خوانده شد. در نمونه شاهد به جای پروتئین هیدرولیز شده از آب مقطر استفاده شد. درصد مهار کنندگی با استفاده از فرمول زیر بدست آمد (Jemil et al., 2014).

$$\text{درصد مهار کنندگی رادیکال DPPH} = \frac{\text{جذب نمونه} - \text{جذب شاهد}}{\text{جذب شاهد}} \times 100$$

اندازه‌گیری قدرت مهارکنندگی یون Fe^{3+} : برای انجام این آزمون ۵۰۰ میکرولیتر از پروتئین هیدرولیز شده در غلظت mg/mL ۲۰ با ۵۰۰ میکرولیتر بافر فسفات ۰/۲ مولار و ۵۰۰ میکرولیتر پتاسیم فری سیانید مخلوط و به مدت یک دقیقه همزده شد سپس، مخلوط در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه قرار داده شد. در ادامه تری کلرو استیک اسید ۱۰ درصد به مقدار ۵۰۰ میکرولیتر به ترکیب اضافه و با دور rpm ۱۲۰۰۰ به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفوژ شد. سوپرناتانت حاصل با فریک کلراید ۰/۱ درصد وزنی-حجمی مخلوط و ۱۰ دقیقه در دمای محیط نگهداری شد و جذب نمونه در ۷۰۰ نانومتر قرائت شد (Bougatef et al., 2009).

آنالیز آماری: در این پژوهش بهینه‌سازی شرایط هیدرولیز با استفاده از نرم‌افزار Design Expert نسخه ۷ و روش سطح پاسخ در قالب طرح مرکب مرکزی انجام شد. متغیرهای مستقل شامل دما، زمان و غلظت سوبسترا در ۵ سطح و ۲ تکرار مورد آزمایش قرار گرفتند. معنی‌دار بودن آزمون پروتئازی در سطح ۵ درصد و با مقایسه میانگین تیمارها به وسیله آزمون دانکن با نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام شد.

سانتریفوژ (Hanil Co, Combi 514R, South Korea) شد تا ناخالصی‌ها رسوب کند. در ادامه pH مایع روئی با اسید کلریدریک ۱ نرمال به ۴ (pH ایزوالکتریک) رسانده و به مدت ۲۰ دقیقه با دور rpm ۸۰۰۰ سانتریفوژ شد و رسوب حاصل جدا و خشک شده و جهت انجام آزمایش‌های بعدی نگهداری شد (Chatterjee et al., 2015).

اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی: آزمون‌های شیمیایی شامل درصد رطوبت بر اساس AACCC 44-15، پروتئین با روش کجلدال AACCC 46-12، خاکستر AACCC 08-01 و چربی با روش سوکسله AACCC 30-20 اندازه‌گیری شد (AACCC., 1999).

فعالیت پروتئازی در محیط آگار: برای انجام آزمایش ابتدا محیط‌کشت نوترینت آگار و آب مقطر حاوی ۱/۵٪ پروتئین کنجاله کنجد (در دمای ۱۱۰°C به مدت ۱۰ دقیقه) جداگانه استریل و به مقدار ۱:۱ مخلوط شدند. سپس در پلیت ریخته و از باکتری باسیلوس سابیلیس ۱۰ میکرولیتر به صورت نقطه‌ای با غلظت cfu/ml 10^8 به محیط نوترینت آگار اضافه و در طی ۲۴ و ۴۸ ساعت قطر هاله شفاف اندازه‌گیری شد (Pant et al., 2015).

تهیه پروتئین هیدرولیز شده با تخمیر: در بهینه‌سازی فرآیند تخمیر، نمونه پروتئین با غلظت‌های (۲-۶ درصد) با سوسپانسیون باکتریایی حاوی cfu/ml $10^8 \times 1/5$ (۲ درصد حجمی/حجمی) تلقیح و گرمخانه‌گذاری در محدوده دمایی (۳۰ تا ۴۵ درجه سانتی‌گراد) و ۱۵۰ دور در دقیقه انجام شد. تخمیر در محدوده زمانی (۱۲ تا ۳۶ ساعت) صورت گرفت و سپس با دور rpm ۸۰۰۰ به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفوژ شدند. مایع روئی با فیلتر ۰/۴۵ میکرون فیلتر شده و pH آن به ۶/۵ رسانده شد و در ادامه نمونه‌ها توسط خشک‌کن انجمادی (Ningbo Dscientz Technology Co, Ltd, China) خشک شده و آزمون ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی (مهار رادیکال DPPH، احیاء کنندگی آهن) روی تیمارها انجام و نمونه بهینه انتخاب شد.

آزمون ضد میکروبی: فعالیت ضد میکروبی پروتئین‌های هیدرولیز شده کنجاله کنجد با روش (Aguilar et al., 2017) انجام شد. باکتری‌های *استافیلوکوکوس اورئوس*، *اشرشیا کلائی*، *لیستریا مونوسیتوژنز*، *کلستریدیوم پرفرنجنس*، از قبل روی محیط‌کشت مولر هیتتون آگار فعال‌سازی شدند. ۲۰ میلی‌گرم پروتئین هیدرولیز شده در ۹۰۰ میکرولیتر محیط‌کشت مولر هیتتون براث حل شد و ۱۰۰ میکرولیتر سوسپانسیون باکتریایی با غلظت cfu/ml 10^5 اضافه و گرمخانه‌گذاری در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت انجام شد و میزان کدورت ایجاد شده توسط دستگاه اسپکتروفتومتر UV-vis (BMG Labtech Co, SPECTROstar Nano, USA) با استفاده از میکروپلیت در طول موج ۶۰۰ نانومتر خوانده شد. نمونه کنترل

نتایج و بحث

ترکیبات شیمیایی: میزان رطوبت، چربی، پروتئین و خاکستر کنجاله کنجد خام در **جدول ۱** آورده شده است. دانه کنجد جدا از اینکه منبع مهم دانه‌های روغنی است، منبع بالقوه پروتئین نیز می باشد. کنجاله کنجد محصول جانبی پس از استخراج روغن از دانه کنجد است که می‌تواند به‌عنوان منبع پروتئینی در صنعت غذا استفاده شود. با توجه به نتایج، مقدار پروتئین کنجاله ۲۷/۳٪ و درصد چربی ۱۶/۲ بدست آمد. اونسارد و همکاران (Onsaard et al., 2010) مقدار پروتئین کنجاله کنجد را ۳۰/۵۶٪، چربی ۲۷/۸۳٪، خاکستر ۵/۲۷٪ و مقدار رطوبت را ۷/۹۲٪ گزارش کردند. مقدار درصد چربی کنجاله بسته به انواع روش‌های روغن‌گیری در صنعت متفاوت می باشد. ترکیبات دانه کنجد به عوامل ژنتیکی، رقم، شرایط آب و هوایی، مرحله رسیدگی و زمان برداشت بذر بستگی دارد (et al., 2011). (Nweke

فعالیت پروتئازی: فعالیت پروتئازی باسیلوس سابتیلیس به روش نقطه‌گذاری در محیط نوترینت آگار حاوی پروتئین کنجاله کنجد در طی زمان ۲۴ و ۴۸ ساعت مورد ارزیابی قرار گرفت. قطر هاله شفاف در ۲۴ ساعت اول ۱۳/۸۲ میلی‌متر و تا ۴۸ ساعت ۲۳/۶۶ میلی‌متر بدست آمد. نتایج نشان داد که با گذشت زمان تا ۴۸ ساعت قطر هاله شفاف ایجاد شده به‌طور معنی‌داری ($p < 0.05$) افزایش یافت که نشان‌دهنده این است که باسیلوس سابتیلیس می‌تواند نیازهای غذایی خود را به‌عنوان منبع نیتروژن از پروتئین کنجد تأمین کند. در پژوهش انجام شده توسط محققان از ژلاتین به‌عنوان منبع پروتئین در محیط نوترینت آگار استفاده شد که پس از ۲۴ ساعت کشت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد قطر هاله شفاف ۲۲ میلی‌متر گزارش شد که به دلیل تولید آنزیم پروتئاز توسط سویه باسیلوس سابتیلیس بود (Pant et al., 2015). هاله ایجاد شده توسط این سویه نشان داد که باسیلوس سابتیلیس دارای فعالیت پروتئولیتیکی بالایی بوده و می‌تواند باکتری مناسبی جهت هیدرولیز پروتئین کنجد با هدف دستیابی به هیدرولیزات با بالاترین فعالیت ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی باشد.

تأثیر زمان، دما و غلظت سوپسترا بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی: نتایج حاصل از فعالیت مهارکنندگی رادیکال DPPH و قدرت احیاءکنندگی یون آهن در **جدول ۲** آورده شده است. در

ارتباط با قدرت مهارکنندگی رادیکال DPPH و احیاءکنندگی یون آهن با توجه به مقادیر عدد P در **جدول ۳**، اثر زمان (B) غلظت سوپسترا (C)، متغیرهای A^2 (توان دوم دما)، B^2 (توان دوم زمان) و C^2 (توان دوم غلظت سوپسترا) معنی‌دار بود ($p < 0.05$). همچنین رابطه قدرت مهارکنندگی رادیکال DPPH و احیاءکنندگی یون آهن با هر یک از متغیرهای مستقل بصورت درجه دوم و دارای ضریب همبستگی به‌ترتیب ۰/۸۴۶۸ و ۰/۸۲۸۱ می‌باشد یعنی مدل توانسته است ۸۴ و ۸۲ درصد از کل تغییرات در دامنه متغیرهای مورد بررسی را توصیف کند و از معادله ۱ و ۲ تبعیت می‌کند.

بطور کلی خصوصیات زیست‌فعالیت پروتئین هیدرولیز شده به ترکیبات آمینواسید، توالی و وزن مولکولی آمینواسیدها بستگی دارد (AbdRashid et al., 2022). علاوه بر این محتوای بالای آمینواسیدهای قطبی و آروماتیک می‌تواند قدرت مهارکنندگی رادیکال DPPH و احیاءکنندگی یون آهن را افزایش دهد. فعالیت پروتئازی در محیط تخمیر به پارامترهای دما، مدت زمان گرمخانه‌گذاری و pH اولیه محیط بستگی دارد. با توجه به شکل ۱-ا و ۱-ب با افزایش دما و مدت زمان تخمیر تا مقدار بهینه قدرت آنتی‌اکسیدانی (مهار رادیکال DPPH و احیاءکنندگی یون آهن) افزایش یافت. بیشترین مقدار مهار کنندگی رادیکال DPPH در ۳۷/۵ درجه سانتی‌گراد و مدت زمان ۲۴ ساعت و کمترین مقدار آن مربوط به مدت زمان ۳/۸ ساعت بود. در ارتباط با قدرت احیاءکنندگی نیز در مدت ۲۴ ساعت بعد از تخمیر بیشترین قدرت احیاءکنندگی بدست آمد. هوانگ و همکاران (Huang et al., 2011) گزارش کردند که دما فاکتور مهم بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی در طول دوره تخمیر می‌باشد و دمای بالاتر تأثیر بهتری بر شدت فعالیت آنتی‌اکسیدانی داشته است. افزایش درصد مهارکنندگی رادیکال DPPH می‌تواند ناشی از هیدرولیز بیشتر پروتئین‌ها و تولید پپتیدها و آمینواسیدهای آزاد قطبی و آروماتیک باشد (Lim et al., 2019). پروتئین‌های هیدرولیز شده با قدرت احیاءکنندگی بالاتر به عنوان دهنده الکترون و هیدروژن عمل می‌کنند. رادیکال‌های آزاد، الکترون را از پپتیدها دریافت کرده و به محصولات واسطه‌ای پایدار و بی‌ضرر تبدیل می‌شوند (Zhu et al., 2008).

جدول ۱- نتایج ترکیبات شیمیایی کنجاله کنجد خام

Table 1- The results of the chemical composition of raw sesame meal

رطوبت Moisture (%)	خاکستر Ash (%)	چربی Fat (%)	پروتئین Protein (%)
9.54±0.05	6.25±0.1	16.2±0.17	27.7±1.7

جدول ۲- اثر متغیرهای دما، زمان و غلظت سوبسترا بر ویژگی آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی پروتئین هیدرولیز شده کنجاله کنجد
Table 2- Effect of temperature, time and substrate concentration variables on antioxidant and antimicrobial properties of sesame protein hydrolysate.

تیمار Treatment	A	B	C	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆
1	37.5	24	4	60.4	0.989	55.3	42.8	58.8	48.8
2	37.5	3.818	4	10.5	0.241	5.6	6.3	10	12.3
3	45	36	6	55.6	0.786	50	40.8	52.2	45.5
4	45	12	2	25.3	0.533	12.6	13.6	11.8	10.6
5	37.5	24	7.363	58.6	0.943	54	42.02	56	49
6	37.5	24	4	60.8	0.82	56.8	40.8	57	47.3
7	37.5	24	4	61	0.978	52.6	44.5	55.6	47
8	37.5	44.181	4	50.3	0.844	50.3	36.2	53.4	45.6
9	37.5	24	4	62.5	0.972	55	39.9	59.7	36
10	37.5	24	0.636	26	0.506	18.9	25.4	22.33	15.6
11	30	36	6	54.8	0.707	47.5	32	43.28	42.8
12	37.5	24	4	58.8	0.962	58.2	38.8	46.63	46.6
13	45	12	6	28.6	0.582	20.8	18.6	12.54	8.4
14	24.886	24	4	42.3	0.479	30.2	24.4	28.68	33.2
15	37.5	24	4	45.8	0.963	42.6	45	56.14	43
16	30	12	2	15.8	0.376	8.6	12.8	10.85	8.4
17	30	36	2	50.2	0.674	46	23	45.4	38.8
18	50.113	24	4	40.9	0.445	39.9	36.6	40.9	30.6
19	30	12	6	18.8	0.395	19.7	11.8	8.92	10.7
20	45	36	2	48.8	0.768	40.7	33.4	49.9	39.6

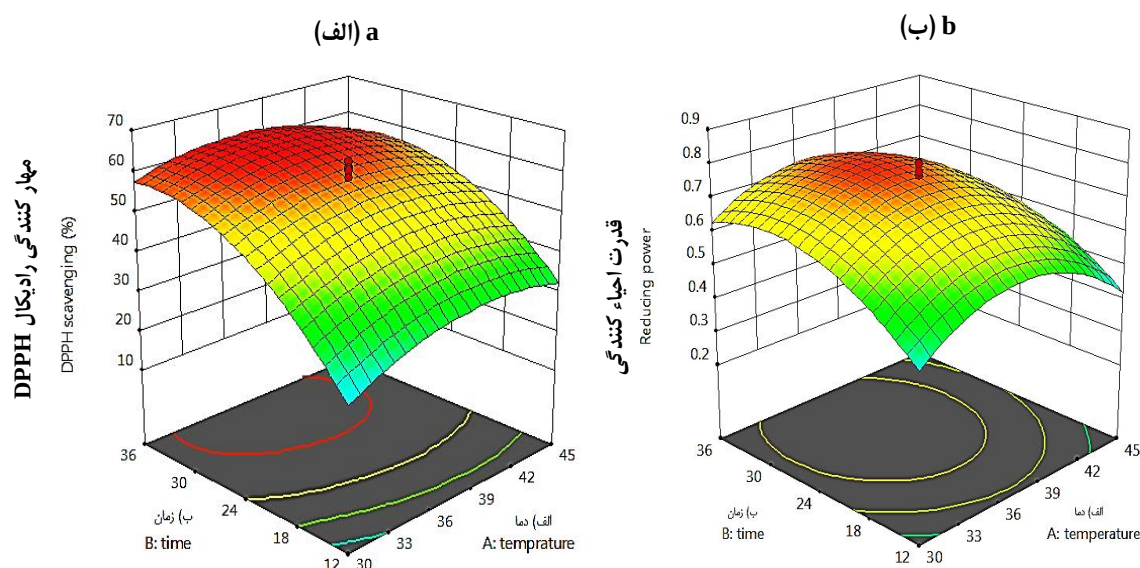
A (دما، درجه سانتی‌گراد) B (زمان، ساعت) C (غلظت سوبسترا، درصد) Y₁ (مهارکنندگی رادیکال DPPH، درصد) Y₂ (قدرت احیاءکنندگی یون آهن)، Y₃ (مهارکنندگی /استافیلوکوکوس اورئوس، درصد) Y₄ (مهارکنندگی اشرشیاکلا، درصد) Y₅ (مهارکنندگی لیستریا مونوسیتوژنز، درصد) Y₆ (مهارکنندگی کلستریدیوم پرفرنجنس، درصد)
A (temperature, °C) B (time, hour) C (substrate concentration, %) Y₁ (DPPH radical scavenging, %) Y₂ (reducing power, %) Y₃ (*S. aureus* inhibition, %) Y₄ (*E. coli* inhibition, %) Y₅ (*L. monocytogenes* inhibition, %) Y₆ (*C. perfringens* inhibition, %)

جدول ۳- نتایج آنالیز واریانس پاسخ‌های مختلف در هیدرولیز پروتئین کنجاله کنجد
Table 3- The results of the analysis of variance for different responses in sesame meal hydrolysis

Responses Variables	DPPH scavenging مهارکنندگی رادیکال DPPH	Reducing power قدرت احیاءکنندگی یون آهن	<i>S. aureus</i> inhibition مهارکنندگی /استافیلوکوکوس اورئوس	<i>E. coli</i> inhibition مهارکنندگی اشرشیاکلا	<i>L. monocytogenes</i> inhibition مهارکنندگی لیستریا مونوسیتوژنز	<i>C. perfringens</i> inhibition مهارکنندگی کلستریدیوم پرفرنجنس
P-value (P عدد)						
Model	0.0002	17.13	< 0.0001	< 0.0001	0.0004	0.0016
A:temperature	0.5194	0.7041	0.4210	0.0042	0.2158	0.9728
B:time	< 0.0001	79.42	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
C:concentration	0.0142	16.15	0.0024	0.0037	0.0856	0.0385
AB	0.3131	0.2165	0.6517	0.2654	0.7001	0.8689
AC	0.8965	0.0833	0.7788	0.6641	0.7573	0.9051
BC	0.7910	0.2507	0.6274	0.2359	0.9523	0.6547
A ²	0.0077	18.19	0.0017	0.0003	0.0025	0.0190
B ²	0.0002	34.25	0.0002	< 0.0001	0.0011	0.0078
C ²	0.0098	15.62	0.0027	0.0018	0.0084	0.0215
Lack of fit	0.3937	1.28	0.3967	0.1431	0.0579	0.0742
R ²	0.9196	0.9095	0.9391	0.9588	0.9109	0.8781
AdjustedR ²	0.8472	0.8281	0.8843	0.9218	0.8306	0.7684

A (دما)، B (زمان)، C (غلظت سوبسترا)، AB (اثر متقابل دما و زمان)، AC (اثر متقابل دما و غلظت)، BC (اثر متقابل زمان و غلظت)، A² (توان دوم دما)، B² (توان دوم زمان)، C² (توان دوم غلظت)، Lack of fit (شاخص عدم برازش)

A (temperature), B (time), C (substrate concentration), AB (interaction of temperature and time), AC (interaction of temperature and concentration), BC (interaction of time and concentration), A² (square of temperature), B² (squared of time), C² (squared of concentration), Lack of fit



شکل ۱- الف: اثر دما و زمان تخمیر بر فعالیت مهار کنندگی DPPH ب: اثر دما و زمان تخمیر بر قدرت احیاء کنندگی یون آهن
Fig. 1: a: The effect of temperature and fermentation time on DPPH radical scavenging activity, b: The effect of temperature and fermentation time on the reducing power

۰/۹۲۱۸ بود که مدل توانست ۹۲٪ از کل تغییرات در دامنه متغیرهای مورد بررسی را توضیح دهد.

در ارتباط با سویه لیستریا مونوسیتوژنر با توجه به جدول ۳، اثر زمان و متغیرهای A^2 ، B^2 و C^2 بر مهار کنندگی لیستریا مونوسیتوژنر معنی‌دار بوده ($p < 0.05$) و متغیر زمان تأثیر بیشتری بر قدرت مهار کنندگی داشت. معادله ۵ بر اثر مهار کنندگی لیستریا مونوسیتوژنر پیشنهاد شد.

همچنین اثر زمان، غلظت سوبسترا و متغیرهای A^2 ، B^2 و C^2 بر مهار کنندگی کلوستریدیوم پرفرنجنس و با ضریب همبستگی ۰/۷۶۸۴ معنی‌دار بود ($p < 0.05$)، یعنی مدل توانسته ۷۶٪ از کل تغییرات در دامنه متغیرهای مورد بررسی را توصیف کند. بنابراین معادله ۶ برای مهار کنندگی کلوستریدیوم پرفرنجنس پیشنهاد شد.

$$\text{مهار کنندگی} = 53.45 + 1.36A + 14.47B + 6.52C - 0.98AB + 0.61AC - 1.06BC - 6.74A^2 - 9.25B^2 - 6.24C^2 \quad (3)$$

$$\text{مهار کنندگی} = 42.10 + 3.46A + 8.98B + 3.54C + 1.45AB + 0.55AC + 1.55BC - 4.98A^2 - 8.25B^2 - 3.85C^2 \quad (4)$$

$$\text{مهار کنندگی لیستریا مونوسیتوژنر} = 55.79 + 2.82A + 16.08B + 4.07C + 1.10AB + 0.88AC + 0.17B - 8.34A^2 - 9.44B^2 - 6.8C^2 \quad (5)$$

$$\text{مهار کنندگی} = 58.20 + 1.19A + 13.75B + 5.31C - 2.48AB + 0.31AC + 0.63BC - 5.79A^2 - 9.7B^2 - 5.5C^2 \quad (1)$$

$$\text{قدرت احیاء کنندگی} = 0.945 + 0.033A + 0.15B + 0.062C - 0.021AB + 0.001AC - 0.002BC - 0.161A^2 - 0.132B^2 - 0.068C^2 \quad (2)$$

$$\text{قدرت احیاء کنندگی یون آهن} = 0.945 + 0.033A + 0.15B + 0.062C - 0.021AB + 0.001AC - 0.002BC - 0.161A^2 - 0.132B^2 - 0.068C^2$$

تأثیر زمان، دما و غلظت سوبسترا بر فعالیت ضد میکروبی:

نتایج حاصل از اثر ضد میکروبی پروتئین هیدرولیز شده در جدول ۲ آمده است. با توجه به آنالیز واریانس ذکر شده در جدول ۳ و مقادیر عدد P اثر زمان و غلظت سوبسترا و متغیرهای A^2 ، B^2 و C^2 بر مهار کنندگی استافیلوکوکوس اورئوس معنی‌دار بود ($p < 0.05$). رابطه مهار کنندگی استافیلوکوکوس اورئوس با هر یک از متغیرهای مستقل به صورت درجه دوم و با ضریب همبستگی ۰/۸۸۴۳ بود که توانایی خوب مدل را در تأثیر متغیرهای مستقل بر متغیرهای وابسته نشان داد. همچنین با توجه به جدول ۳ معنی‌دار نبودن شاخص عدم برازش ($p > 0.05$) نشان داد که مدل به اندازه کافی می‌تواند تغییرات در مقادیر داده‌ها را توصیف کند. معادله ۳ با توجه به ضریب همبستگی و معنی‌داری ضرایب برای پاسخ مورد نظر پیشنهاد شد.

در مورد مهار کنندگی اشرشیاکلاسی نیز رابطه آن با هر یک از متغیرهای مستقل به صورت معادله درجه دوم و با ضریب همبستگی

(۶)

$$= 44.93 - 0.07A + 13.5B + 4.84C + 0.45AB - 0.32AC + 1.22BC - 5.52A^2 - 6.5B^2 - 5.38C$$

گزارش شده است که فاکتورهای متعددی مثل گونه میکروبی، pH، دما، زمان تخمیر و نوع سوبسترا فعالیت زیست‌فعالی پپتیدها را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Hur et al., 2014). افزایش غلظت و زمان تأثیر معنی‌داری در فعالیت ضد میکروبی پروتئین هیدرولیز شده داشت که بیشترین درصد مهارکنندگی برای استافیلوکوکوس اورئوس ۵۸/۲٪، اشرشیاکلاهی ۴۴/۵٪، لیستریا مونوسیژنوز ۵۹/۷٪ و کلوستریدیوم پرفرنجنس ۴۸/۸ درصد بود (جدول ۲). بطور کلی نحوه عمل و اثرگذاری ماده ضد میکروب به ویژگی ساختاری و اختصاصیت آنها روی پاتوژن هدف بستگی دارد (Bhat et al., 2015). با توجه به شکل ۲-a و ۲-b افزایش زمان تخمیر تا ۲۴ ساعت باعث افزایش درصد مهارکنندگی میکروارگانیزم‌ها شد اما با گذشت زمان تخمیر تا ۴۴ ساعت درصد مهارکنندگی کاهش یافت که به دلیل سیستم پپتیدازی میکروارگانیزم‌ها می‌باشد که می‌تواند منجر به هیدرولیز ثانویه پپتیدها شده و یا پپتیدها توسط سلول باکتری به‌عنوان منبع نیتروژن مصرف شود (Li & Wang, 2021). دما نیز فاکتور مهمی در فرآیند تخمیر می‌باشد که برای سویه باسیلوس سابتیلیس با توجه به شکل ۲-b تخمیر در دمای بالا نتیجه بهتری داشت. در شکل ۲-b و ۲-c که روند تأثیر غلظت و دما را بر مهارکنندگی اشرشیا کلاهی و کلوستریدیوم پرفرنجنس نشان می‌دهد با افزایش دما و افزایش غلظت اثر مهارکنندگی افزایش یافت. اما افزایش غلظت، بیشتر از مقدار بهینه سبب کاهش اثر مهارکنندگی میکروارگانیزم شد. محققان گزارش کردند که غلظت سوبسترا تا مقدار بهینه فاکتور مهمی در مهارکنندگی میکروارگانیزم می‌باشد اما افزایش غلظت بیشتر از مقدار بهینه منجر به کاهش فعالیت پروتئازی آنزیم شده و شدت هیدرولیز کمتر می‌شود (Jemil et al., 2014).

محققان گزارش کردند که یک همبستگی قوی بین درجه هیدرولیز و اندازه پپتیدها وجود دارد. همچنین بیان کردند که پپتیدهایی با اندازه کوچکتر ممکن است اتصال بهتری با غشای باکتری برقرار نمایند، لذا اثر ضد میکروبی بیشتری به جای می‌گذارند (Trang et al., 2018). با توجه به گزارش‌های موجود، در این مطالعه نیز اثر ضد میکروبی هیدرولیز شده‌ها ممکن است به دلیل درجه هیدرولیز بالاتر و تولید پپتیدهایی با اندازه کوچکتر توسط سویه باسیلوس سابتیلیس باشد.

پپتیدهای ضد میکروبی از طریق بار مثبت اسیدهای آمینه در انتهای زنجیره (آمی‌پاتیک) با میکروارگانیزم‌های بیماری‌زا واکنش می‌دهند. اثبات شده است که قدرت ضد میکروبی پپتیدهای کاتیونی

به‌طور مستقیم با بار، آب‌گریز بودن و طول پپتید در ارتباط است (Pane et al., 2017). پروتئین‌های هیدرولیز شده با فعالیت ضد میکروبی ممکن است مستقیماً باکتری را با ایجاد منافذ در غشای سلول و یا از طریق برهمکنش با ماکرومولکول‌های داخل سلول‌های میکروبی از بین ببرند (Taniguchi et al., 2016). به دنبال اتصال پپتیدهای ضد میکروبی به غشای سلولی، در نتیجه برهم زدن یکپارچگی غشاء و در نتیجه نشت مواد داخل سلول، دیپلاریزاسیون و عدم تعادل اسمزی، تورم سلول‌ها و در نهایت تخریب سلولی، مرگ سلولی رخ می‌دهد.

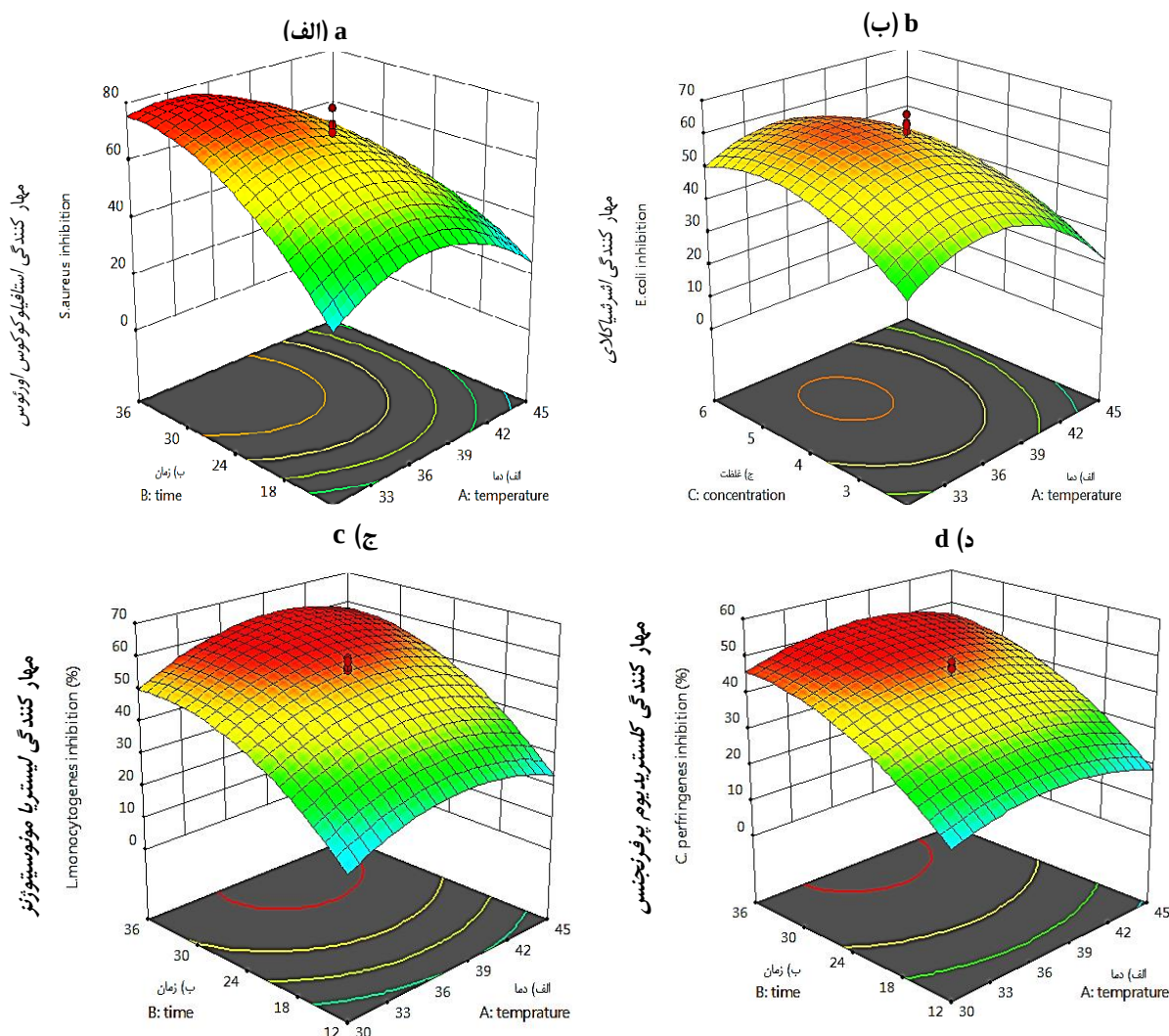
طبق گفته ورما و همکاران (Verma et al., 2017) متغیرهای مستقل (از جمله زمان هیدرولیز) ممکن است درجه هیدرولیز پپتید را بسته به نوع آنزیم افزایش دهد. فعالیت خاص پپتیدهای ضد میکروبی توسط نوع و موقعیت قرارگیری اسیدهای آمینه در ساختار اولیه آنها تعیین می‌شود. اسیدهای آمینه مانند تریپتوفان، تیروزین، سیستئین، متیونین، لیزین، هیستیدین و آرژنین نقش مهمی در تعیین خواص ضد میکروبی پپتیدها ایفا می‌کنند. نوع آنزیم یکی از عوامل مهمی است که بر زیست‌فعالی هیدرولیز شده‌های بدست آمده تأثیر می‌گذارد. از دیدگاه اقتصادی، پروتئاز با منشأ میکروبی پتانسیل بالایی برای استفاده در صنعت به دلیل هزینه نسبتاً پایین آن در مقایسه با آنزیم‌های تجاری دارد (Pokora et al., 2013). بر اساس نتایج حاصل (جدول ۲)، پروتئین هیدرولیز شده کنجاله کنگد اثر مهارکنندگی بیشتری علیه باکتری‌های گرم مثبت نسبت به باکتری گرم منفی (اشرشیا کلاهی) نشان داد. محققان گزارش کردند که تفاوت در حساسیت به ترکیبات ضد میکروب بین باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی را می‌توان به ساختار و ترکیب پوشش سلولی شامل (غشاء سیتوپلاسمی و یا غشای خارجی و دیواره سلولی) نسبت داد (Lopez - Romero et al., 2015) وجود غشای خارجی فسفولیپیدی و لیپوپلی‌ساکاریدی در دیواره سلولی باکتری‌های گرم منفی مقاومت این باکتری‌ها را در برابر ترکیبات ضد میکروبی افزایش داده است (Lee & Nguyen, 2015).

اعتبارسنجی مدل: نتایج مربوط به مهارکنندگی رادیکال DPPH، قدرت احیاءکنندگی یون آهن، مهارکنندگی استافیلوکوکوس اورئوس، اشرشیاکلاهی، لیستریا مونوسیژنوز، کلوستریدیوم پرفرنجنس در جدول ۲ آورده شده است. شرایط بهینه هیدرولیز توسط نرم‌افزار دمای ۳۹/۶۸ درجه سانتی‌گراد، زمان ۳۰/۰۸ ساعت و غلظت ۴/۸۵ درصد تعیین شد. تحت این شرایط هیدرولیز شده‌هایی با بیشترین فعالیت ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی تولید شد. در شرایط بهینه ارائه شده توسط مدل، قدرت مهارکنندگی رادیکال DPPH ۶۳/۵۷ درصد قدرت احیاءکنندگی یون آهن ۰/۹۹۵۱، مهارکنندگی استافیلوکوکوس

نتیجه‌گیری

با توجه به عوارض ناشی از آنتی‌بیوتیک‌ها، در این تحقیق به بررسی امکان استفاده از پروتئین هیدرولیز شده کنجاله کنجد تولیدی توسط باسیلوس ساب‌تیلیس به‌عنوان ترکیب طبیعی دارای خاصیت ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی پرداخته شد. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که پروتئین هیدرولیز شده کنجاله کنجد می‌تواند به‌عنوان عامل ضد میکروب طبیعی جهت مهار باکتری‌های بیماری‌زا و همچنین آنتی اکسیدان طبیعی مورد استفاده قرار بگیرد.

اورئوس ۵۹/۵۸٪، اشرشیاکلاهی ۴۶/۵۵٪، لیستریا مونوسیتوزنر ۶۲/۴۳٪ و کلستریدیوم پرفرنجنس ۵۰/۹۷٪ تعیین شد. پروتئین هیدرولیز شده تولیدی در شرایط بهینه انجام و با داده‌های پیش‌بینی شده مقایسه و قدرت مهارکنندگی رادیکال DPPH ۶۱/۷۶٪، قدرت احیاءکنندگی یون آهن ۰/۹۸۶۶، مهارکنندگی استافیلوکوکوس اورئوس ۶۱/۳۸٪، اشرشیاکلاهی ۴۲/۰۸٪، لیستریا مونوسیتوزنر ۵۸/۸۳٪ و کلستریدیوم پرفرنجنس ۵۴/۴۲٪ گزارش شد. نتایج نشان دهنده توانایی خوب مدل در پیش‌بینی اثر متغیرهای مستقل بر آزمون‌های مورد بررسی می‌باشد.



شکل ۲- الف: اثر دما و زمان تخمیر بر مهار کنندگی استافیلوکوکوس اورئوس، ب: اثر دما و غلظت سوپسترا بر مهار کنندگی اشرشیاکلاهی، ج: اثر دما و زمان تخمیر بر مهار کنندگی لیستریا مونوسیتوزنر، د: اثر دما و غلظت سوپسترا بر مهار کنندگی کلستریدیوم پرفرنجنس.

Fig. 2. a: The effect of temperature and fermentation time on the inhibition of *S. aureus*, b: The effect of temperature and substrate concentration on the inhibition of *E. coli*, c: The effect of temperature and fermentation time on the inhibition of *L. monocytogenes*, d: The effect of temperature and substrate concentration on the inhibition of *C. perfringens*.

میزان مشارکت

منابع تأمین مالی

بخشی از هزینه‌های اجرای این پژوهش توسط معاونت پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان جهت اجرای رساله دکتری تأمین شده است.

پریسا راعی: مفهوم‌سازی، مدیریت داده‌ها، تحلیل رسمی، تحقیق و بررسی، روش‌شناسی، منابع، نرم‌افزار؛ **مرتضی خمیری:** نوشتن-پیش‌نویس اصلی، نوشتن-بررسی و ویرایش، نظارت، مدیریت پروژه؛ **علیرضا صادقی ماهونک:** نوشتن-بررسی و ویرایش، نظارت؛ **علی مؤیدی:** نوشتن-بررسی و ویرایش، نظارت؛ **محبوبه کشیری:** نوشتن-بررسی و ویرایش، نظارت.

References

1. American Association of Cereal Chemists (AACC). (1999). Approved methods of the American Association of Cereal Chemists (Vol. 2). St. Paul, MN: AACC.
2. AbdRashid, N.Y., Manan, M.A., Pa'ee, K.F., Saari, N., & Wong, F.W.F. (2022). Evaluation of antioxidant and antibacterial activities of fish protein hydrolysate produced from Malaysian fish sausage (Keropok Lekor) by-products by indigenous *Lactobacillus casei* fermentation. *Journal of Cleaner Production*, 347, 131303. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131303>
3. Aguilar-Toalá, J., Santiago-López, L., Peres, C., Peres, C., Garcia, H., Vallejo-Cordoba, B., & Hernández-Mendoza, A. (2017). Assessment of multifunctional activity of bioactive peptides derived from fermented milk by specific *Lactobacillus plantarum* strains. *Journal of Dairy Science*, 100(1), 65-75. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11846>
4. Agyei, D., & Danquah, M.K. (2011). Industrial-scale manufacturing of pharmaceutical-grade bioactive peptides. *Biotechnology Advances*, 29(3), 272-277. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2011.01.001>
5. Bhat, Z., Kumar, S., & Bhat, H.F. (2015). Bioactive peptides of animal origin: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 52, 5377-5392. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1731-5>
6. Bougatef, A., Hajji, M., Balti, R., Lassoued, I., Triki-Ellouz, Y., & Nasri, M. (2009). Antioxidant and free radical-scavenging activities of smooth hound (*Mustelus mustelus*) muscle protein hydrolysates obtained by gastrointestinal proteases. *Food Chemistry*, 114(4), 1198-1205. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.10.075>
7. Chatterjee, R., Dey, T.K., Ghosh, M., & Dhar, P. (2015). Enzymatic modification of sesame seed protein, sourced from waste resource for nutraceutical application. *Food and Bioprocess Processing*, 94, 70-81. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2015.01.007>
8. Cheng, G., Hao, H., Xie, S., Wang, X., Dai, M., Huang, L., & Yuan, Z. (2014). Antibiotic alternatives: the substitution of antibiotics in animal husbandry? *Frontiers in Microbiology*, 5, 217. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00217>
9. Chokshi, A., Sifri, Z., Cennimo, D., & Horng, H. (2019). Global contributors to antibiotic resistance. *Journal of Global Infectious Diseases*, 11(1), 36. https://doi.org/10.4103/jgid.jgid_110_18
10. Huang, Y.H., Lai, Y.J., & Chou, C.C. (2011). Fermentation temperature affects the antioxidant activity of the enzyme-ripened sufu, an oriental traditional fermented product of soybean. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 112(1), 49-53. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2011.03.008>
11. Hur, S.J., Lee, S.Y., Kim, Y.C., Choi, I., & Kim, G.B. (2014). Effect of fermentation on the antioxidant activity in plant-based foods. *Food Chemistry*, 160, 346-356. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.112>
12. Jemil, I., Jridi, M., Nasri, R., Ktari, N., Salem, R.B.S.-B., Mehiri, M., & Nasri, M. (2014). Functional, antioxidant and antibacterial properties of protein hydrolysates prepared from fish meat fermented by *Bacillus subtilis* A26. *Process Biochemistry*, 49(6), 963-972. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2014.03.004>
13. Kaur, M., & Singh, N. (2007). Characterization of protein isolates from different Indian chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Food Chemistry*, 102(1), 366-374. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.05.029>
14. Lee, S., & Nguyen, M.T. (2015). Recent advances of vaccine adjuvants for infectious diseases. *Immune Network*, 15(2), 51-57. <https://doi.org/10.4110/in.2015.15.2.51>
15. Lim, Y.H., Foo, H.L., Loh, T.C., Mohamad, R., & Abdullah, N. (2019). Comparative studies of versatile extracellular proteolytic activities of lactic acid bacteria and their potential for extracellular amino acid productions as feed supplements. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 10, 1-13.
16. Li, W., & Wang, T. (2021). Effect of solid-state fermentation with *Bacillus subtilis* lwo on the proteolysis and the antioxidative properties of chickpeas. *International Journal of Food Microbiology*, 338, 108988. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108988>
17. Liu, W., Cheng, G., Liu, H., & Kong, Y. (2015). Purification and identification of a novel angiotensin I-converting enzyme inhibitory peptide from sesame meal. *International Journal of Peptide Research and Therapeutics*, 21, 433-442.

18. Lopez-Romero, J.C., González-Ríos, H., Borges, A., & Simões, M. (2015). Antibacterial effects and mode of action of selected essential oils components against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/795435>
19. Moayed, A., Hashemi, M., & Safari, M. (2016). Valorization of tomato waste proteins through production of antioxidant and antibacterial hydrolysates by proteolytic *Bacillus subtilis*: optimization of fermentation conditions. *Journal of Food Science and Technology*, 53, 390-400. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1965-2>
20. Morone, P., Falcone, P.M., Imbert, E., Morone, M., & Morone, A. (2016). Tackling food waste through a sharing economy approach: an experimental analysis.
21. Nweke, F.N., Ubi, B.E., & Kunert, K.J. (2011). Determination of proximate composition and amino acid profile of Nigerian sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars. *Nigerian Journal of Biotechnology*, 23.
22. Onsaard, E., Pomsamud, P., & Audtum, P. (2010). Functional properties of sesame protein concentrates from sesame meal. *Asian Journal of Food and Agro-Industry*, 3(4), 420-431.
23. Ortiz-Martinez, M., Winkler, R., & García-Lara, S. (2014). Preventive and therapeutic potential of peptides from cereals against cancer. *Journal of Proteomics*, 111, 165-183. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2014.03.044>
24. Pane, K., Durante, L., Crescenzi, O., Cafaro, V., Pizzo, E., Varcamonti, M., & Notomista, E. (2017). Antimicrobial potency of cationic antimicrobial peptides can be predicted from their amino acid composition: Application to the detection of "cryptic" antimicrobial peptides. *Journal of Theoretical Biology*, 419, 254-265. <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2017.02.012>
25. Pant, G., Prakash, A., Pavani, J., Bera, S., Deviram, G., Kumar, A., & Prasuna, R.G. (2015). Production, optimization and partial purification of protease from *Bacillus subtilis*. *Journal of Taibah University for Science*, 9(1), 50-55. <https://doi.org/10.1016/j.jtusci.2014.04.010>
26. Pokora, M., Eckert, E., Zambrowicz, A., Bobak, Ł., Szotysik, M., Dąbrowska, A., & Trziszka, T. (2013). Biological and functional properties of proteolytic enzyme-modified egg protein by-products. *Food Science & Nutrition*, 1(2), 184-195. <https://doi.org/10.1002/fsn3.27>
27. Taniguchi, M., Ochiai, A., Kondo, H., Fukuda, S., Ishiyama, Y., Saitoh, E., & Tanaka, T. (2016). Pyrrhocoricin, a proline-rich antimicrobial peptide derived from insect, inhibits the translation process in the cell-free *Escherichia coli* protein synthesis system. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 121(5), 591-598. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2015.09.002>
28. Trang, H., & Pasuwan, P. (2018). Screening antimicrobial activity against pathogens from protein hydrolysate of rice bran and Nile Tilapia by-products. *International Food Research Journal*, 25(5), 2157-2163.
29. Verma, A.K., Chatli, M.K., Kumar, P., & Mehta, N. (2017). Antioxidant and antimicrobial activity of protein hydrolysate extracted from porcine liver. *Indian Journal Animal Science*, 87, 711-717.
30. Wang, B., Li, L., Chi, C.-F., Ma, J.-H., Luo, H.-Y., & Xu, Y.-f. (2013). Purification and characterisation of a novel antioxidant peptide derived from blue mussel (*Mytilus edulis*) protein hydrolysate. *Food Chemistry*, 138(2-3), 1713-1719. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.12.002>
31. Wouters, A.G., Rombouts, I., Fierens, E., Brijs, K., & Delcour, J.A. (2016). Relevance of the functional properties of enzymatic plant protein hydrolysates in food systems. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(4), 786-800.
32. Yamauchi, K., Samanya, M., Seki, K., Ijiri, N., & Thongwittaya, N. (2006). Influence of dietary sesame meal level on histological alterations of the intestinal mucosa and growth performance of chickens. *Journal of Applied Poultry Research*, 15(2), 266-273. <https://doi.org/10.1093/japr/15.2.266>
33. Zhang, Y., Liu, J., Lu, X., Zhang, H., Wang, L., Guo, X., & Qian, H. (2014). Isolation and identification of an antioxidant peptide prepared from fermented peanut meal using *Bacillus subtilis* fermentation. *International Journal of Food Properties*, 17(6), 1237-1253. <https://doi.org/10.1080/10942912.2012.675605>
34. Zhu, Y., Fan, J., Cheng, Y., & Li, L. (2008). Improvement of the antioxidant activity of Chinese traditional fermented okara (*Meitauza*) using *Bacillus subtilis* B2. *Food Control*, 19(7), 654-661. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2007.07.009>

Investigation of Ultrasound and Coating with Wild Sage and Xanthan Gums Pretreatments on the Quality, Phenolic Compounds, Antioxidant Activity, and Sensory Properties of Dried Cornelian Cherry by Infrared Method

M. Inanloodoghrouz¹, F. Salehi^{2*}, M. Karami², A. Gohari Ardabili³

1, 2 and 3- M.Sc Student, Associate Professor and Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Food Industry, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran, respectively.

(*- Corresponding Author Email: F.Salehi@Basu.ac.ir)

Received: 08.02.2024
Revised: 17.04.2024
Accepted: 02.05.2024
Available Online: 21.11.2024

How to cite this article:

Inanloodoghrouz, M., Salehi, F., Karami, M., & Gohari Ardabili, A. (2024). Investigation of ultrasound and coating with wild sage and xanthan gums pretreatments on the quality, phenolic compounds, antioxidant activity, and sensory properties of dried cornelian cherry by infrared method. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 20(5), 559-572. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.86757.1315>

Introduction

Fruits have a limited harvest season, and the amount of their waste is significant. Drying extends the shelf life of food, and the infrared dryer reduces the time and cost of the drying process. In this study, the effect of sonication at different powers and temperatures along with edible coating with xanthan and wild sage seed gums on the drying process of cornelian cherry by an infrared dryer was investigated.

Material and Methods

Solutions of xanthan and wild sage seed gums were used for coating of fresh cornelian cherry. Xanthan gum powder (food grade) was purchased from FuFeng Co. (China). Wild sage seed gum was extracted and used in powder form after drying and grinding to prepare the gum solution. In this study, various concentration of gums solutions (xanthan and wild sage seed) were first prepared in a graduated glass beaker and placed in an ultrasonic bath (Backer vCLEAN1-L6, Iran). The fruits were immersed in the gum solutions (inside the beakers) and sonicated for 5 min (40 kHz). Infrared dryer with an infrared radiation source (250 W, near-infrared (NIR), Noor Lamp Company, Iran) was used for drying samples. The distance of samples from the radiation lamp was 10 cm. After each pretreatment (sonication and coating), the samples were dried, until reaching a constant weight. The mass changes of samples were recorded using a Lutron GM-300p digital balance (Taiwan). The rehydration tests were conducted with a water bath (R.J42, Pars Azma Co., Iran). Dried samples were weighed and immersed for 30 minutes in distilled water in a 200 ml glass beaker at 50°C. Then, the extra moisture was drained for 30 s and the samples were re-weighed. The rehydration ratio values (%) of dried samples were determined as the ratio of the final weight of rehydrated samples over the dried samples weight $\times 100$. The color of the cornelian cherry was calculated by determining the lightness (L^*) and chromaticity (redness (a^*) and yellowness (b^*)), and was measured using a scanner (Hp Scanjet 300, China) and Image J software (V.1.42e, USA). The Folin-Ciocalteu (Folin-Ciocalteu's phenolics reagent, Sigma-Aldrich, USA) method was followed for measuring the total phenolics content of dried cornelian cherry. The absorbance of samples (765 nm, UV-VIS spectrophotometer, XD-7500, Lovibond, Germany) was compared with the Gallic acid standard curve. The results were expressed as mg GAE/g dry matter. Effect of applied power by the ultrasonic device at three levels of 0, 75, and 150 W and the effect of temperature at three levels of 20°C, 40°C, and 60°C on the rehydration and total color difference index of dried cornelian cherry were investigated. Also, the effect of coating with xanthan and wild sage seed gums on preserving phenolic compounds, antioxidant activity, and sensory properties of the product was evaluated.



©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.2024.86757.1315>

Results and Discussion

The average drying time of uncoated cornelian cherry, coated with xanthan gum, and wild sage gum was 62 min, 48.7 min, and 48.4 min, respectively. The examined treatments in this research did not have a significant effect on rehydration change of the dried product. Ultrasonic pretreatment at both 75 and 150 W powers had a decreasing effect on the color changes, which indicates improvement of color and prevention of color change and decrease in desirability. The effect of coating on color changes was also investigated, and the amount of color changes in the uncoated, coated with xanthan gum and wild sage seed gum samples was equal to 26.71, 26.02, and 31.36, and there was no significant difference between them ($p>0.05$). Using wild sage seed gum preserved more of phenolic and antioxidant compounds. The total phenolics content of fresh cornelian cherry, and dried samples including market, without coating, coated with xanthan gum, and coated with wild sage seed gum was 23.0, 4.7, 0.8, 9.8, and 12.1 mg gallic acid/g, respectively. The market sample had a significant difference with other dried samples dried by infrared ($p<0.05$). The sample from the market had the least DPPH radical scavenging activity ($p<0.05$). The market sample scored as the lowest sensory evaluation and had a significant difference with all samples in all sensory attributes ($p<0.05$).

Conclusion

From the panelist's point of view, the sample coated with wild sage seed gum was the best sample, and the highest score for sensory parameters and overall acceptance was associated with this sample.

Keywords: Antioxidant, Color change, Phenolic compounds, Sensory evaluation, Wild sage seed gum

مقاله پژوهشی

جلد ۲۰، شماره ۵، آذر-دی ۱۴۰۳، ص. ۵۵۹-۵۷۲

بررسی پیش تیمارهای فراصوت و پوشش دهی با صمغ های مرو و گزانتان بر کیفیت، ترکیبات فنلی، فعالیت آنتی اکسیدانی و خصوصیات حسی زغال اخته خشک شده به روش فروسرخ

معین اینانلودوقوز^۱ - فخرالدین صالحی^{۲*} - مصطفی کرمی^۲ - اشرف گوهری اردبیلی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۲

چکیده

خشک کردن باعث افزایش مدت ماندگاری مواد غذایی می شود و خشک کن فروسرخ زمان و هزینه فرآیند خشک کردن را کاهش می دهد. در این مطالعه اثر تیماردهی با فراصوت همراه با پوشش دهی بر فرآیند خشک شدن زغال اخته توسط خشک کن فروسرخ بررسی شد. ابتدا تأثیر توان اعمال شده توسط دستگاه فراصوت در سه سطح ۰، ۷۵ و ۱۵۰ وات و اثر دمای فراصوت در سه سطح ۲۰°C، ۴۰°C و ۶۰°C بر آبیگری مجدد و شاخص تغییرات کلی رنگ زغال اخته خشک شده بررسی شد. سپس اثر پوشش دهی با صمغ های گزانتان و دانه مرو بر حفظ ترکیبات فنلی، فعالیت آنتی اکسیدانی و خصوصیات حسی محصول ارزیابی گردید. متوسط زمان خشک شدن زغال اخته بدون پوشش، پوشش داده شده با صمغ گزانتان و صمغ دانه مرو به ترتیب برابر ۶۲ دقیقه، ۴۸/۷ دقیقه و ۴۸/۴ دقیقه بود. تیمارهای بررسی شده (توان فراصوت، دمای فرآیند و نوع پوشش) در این پژوهش تأثیر معنی داری بر تغییر آبیگری مجدد محصول خشک شده نداشتند. پیش تیمار فراصوت در هر دو توان ۷۵ و ۱۵۰ وات سبب کاهش تغییرات کلی رنگ شد که حاکی از بهبود رنگ و جلوگیری از تغییر رنگ و کاهش بازاری پسندی می باشد. میزان تغییرات رنگ در نمونه های بدون پوشش، با پوشش صمغ گزانتان و صمغ دانه مرو برابر با ۲۶/۷۱، ۲۶/۰۲ و ۳۱/۳۶ بود که تفاوت معنی داری بین آن ها وجود نداشت ($p > 0.05$). استفاده از صمغ دانه مرو باعث حفظ بیشتر ترکیبات فنلی و آنتی اکسیدانی شد. مقدار فنل کل زغال اخته تازه (خشک نشده)، و نمونه های خشک شده بازاری، بدون پوشش، با پوشش صمغ گزانتان و با پوشش صمغ دانه مرو به ترتیب برابر ۲۳/۰، ۴/۷، ۸/۰ و ۹/۸ و ۱۲/۱ میلی گرم گالیک اسید در گرم بودند و نمونه بازاری اختلاف معناداری با سایر نمونه های خشک شده توسط فروسرخ داشت ($p < 0.05$). از نظر ارزیابی های حسی، نمونه پوشش داده شده با صمغ دانه مرو بهترین نمونه بود و بیشترین امتیاز ویژگی های حسی و پذیرش کلی، مربوط به این نمونه بود.

واژه های کلیدی: ارزیابی حسی، آنتی اکسیدان، ترکیبات فنلی، تغییر رنگ، صمغ دانه مرو

مقدمه

(Subramanyam et al., 2017). پرتودهی فروسرخ در مقایسه با

سایر روش های متداول حرارت دهی دارای مزایای متعددی بوده و کیفیت محصول خشک شده با آن بالاتر است. در روش فروسرخ انرژی به طور مستقیم توسط مواد جذب شده و بدون اینکه محیط اطراف را گرم کند، از طریق منبع تابشی به سطح محصول منتقل می شود، در نتیجه اتلاف انرژی کاهش می یابد و از نظر مصرف انرژی راندمان بالاتری نسبت به روش های سنتی خشک کردن محصولات کشاورزی دارد (Pan et al., 2009). گروهی از پژوهشگران از یک خشک کن ترکیبی فروسرخ با هوای داغ در سه حالت ترکیبی، فروسرخ به تنهایی و هوای داغ به تنهایی برای خشک کردن سیب زمینی و هویج استفاده کردند. نتایج به دست آمده حاکی از کاهش زمان خشک شدن

امروزه با توجه به اثبات ویژگی های تغذیه ای و مفید بودن میوه ها بر سلامتی انسان و همچنین پیشگیری از بیماری های مختلف، توجه و تمرکز به مصرف میوه و محصولات سالم تهیه شده از آنها افزایش یافته است. یکی از مهمترین روش های فرآوری سبزی ها و میوه ها، خشک کردن آنها است که باعث تسهیل حمل و نقل، افزایش قابلیت نگهداری و کاهش فعالیت های میکروبی می گردد

۱ و ۲ - به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
(Email: F.Salehi@Basu.ac.ir)

*) نویسنده مسئول: <https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.86757.1315>

و کاهش انرژی مصرفی در خشک‌کن ترکیبی نسبت به فروسرخ و هوای داغ بود (Hebbar et al., 2004).

پوشش‌های خوراکی به منظور افزایش کیفیت مواد غذایی، مورد استفاده قرار می‌گیرند و می‌توانند از اکسایش و تغییرات رنگی در شرایط نامناسب جلوگیری کنند. همچنین از کاهش حجم و به دنبال آن افزایش چگالی ظاهری جلوگیری کرده و باعث بهبود ویژگی‌های فیزیکی مواد غذایی طی مدت زمان نگهداری می‌شوند (Satorabi et al., 2021). کربوهیدرات‌های غذایی و هیدروکلوئیدهای مشتق شده از گیاهان را می‌توان در فرمولاسیون پوشش‌های خوراکی برای افزایش تجزیه‌پذیری زیستی و در نتیجه کاهش آلودگی محیط‌زیست استفاده کرد. استفاده از پوشش‌های خوراکی در حال حاضر به عنوان یک روش مؤثر و سازگار با محیط‌زیست برای نگهداری مواد غذایی شناخته شده و به طور گسترده استفاده می‌شود (Hassan et al., 2018; Lan et al., 2022; Huang et al., 2023). مطالعه نواب و همکاران (Nawab et al., 2017) نشان داد که نشاسته هسته انبه به عنوان یک ماده پوشش خوراکی برای گوجه‌فرنگی مناسب است و فرآیند رسیدن را در طول نگهداری بدون به خطر انداختن کیفیت پس از برداشت، کند می‌کند. همچنین، هیچ‌یک از پوشش‌های استفاده شده بر خواص حسی گوجه‌فرنگی تأثیر منفی نداشتند. رنگ سطح و اندازه میوه‌های خشک نیز جزء پارامترهای کیفی مهمی هستند که میزان پذیرش این محصولات را تعیین می‌کنند. متغیرهای فرآیند شامل پیش‌تیمارهای مختلف، پوشش‌های خوراکی، نوع خشک‌کن و شرایط خشک‌کردن بر رنگ محصول خشک‌شده تأثیر می‌گذارند (Kowalska et al., 2021).

صمغ‌ها هیدروکلوئیدهایی هستند که با جذب آب سبب افزایش ویسکوزیته و در نتیجه پایداری برخی از سیستم‌های غذایی می‌شوند. از صمغ‌های مختلف می‌توان برای پوشش‌دهی محصولات کشاورزی در مراحل فرآوری استفاده نمود. علاوه بر این، استفاده از پوشش‌های خوراکی قبل از فرآیند خشک‌کردن یکی از موارد بالقوه پیش‌تیمار برای بهبود کیفیت محصولات کشاورزی خشک‌شده است (Silva et al., 2015). گیاه مرو (*Salvia microphylla*) از خانواده نعنائیان می‌باشد. گیاهان متعلق به این خانواده از لحاظ دارویی ارزشمند بوده و در طب سنتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. دانه مرو به اندازه شاهدانه و هم‌رنگ با آن و سه وجهی با ظاهر براق است که یک وجه آن بزرگ‌تر می‌باشد. دارای رگه‌هایی به رنگ قهوه‌ای که از قسمت پایین منشعب شده و سرتاسر دانه را فرا گرفته‌اند که به راحتی در آب متورم شده و صمغ موجود در آنها خارج می‌شود (Mirzaei & Mohammadi Sani, 2015). صمغ گزانتان یک پلی‌ساکارید خارج سلولی است که به وسیله‌ی گزانتاموناس کمپستریس تولید می‌شود. واحدهای اصلی سازنده آن گلوکز، مانوز و اسیدگالاکتورونیک می‌باشند. کل ساختار مولکول، به وسیله‌ی پیوندهای غیرکوالانسی (پیوند

هیدروژنی) پایدار شده است. به طور کلی، صمغ گزانتان به علت داشتن ویسکوزیته بالا در غلظت و سرعت برش کم، مدول الاستیک بالا، رفتار رئولوژیکی شونده با برش، حساس نبودن به حرارت و سازگاری با نمک، پایداری در اسید، قلیا و آنزیم‌ها در تولید محصولات غذایی کاربرد زیادی دارد (Nsengiyumva & Kang et al., 2023; Alexandridis, 2022).

استفاده از امواج فراصوت برای بهبود کیفیت محصولات غذایی تولید شده به طور گسترده توسط پژوهشگران مختلفی بررسی شده است (Dadan et al., 2022; Aadil et al., 2013). عبور موج صوتی از سیالات موجب ارتعاش مولکول‌های آن‌ها، ایجاد انقباض و انبساط در آن‌ها و شکل‌گیری نقاط پرفشار (در فاز انقباض) و کم‌فشار (در فاز انبساط) شده و می‌تواند باعث بروز کاویتاسیون در سیالات شود. در صنایع غذایی امواج فراصوت کاربردهای مختلفی دارند. به عنوان مثال می‌توان از این روش به عنوان یک پیش‌تیمار قبل از فرآیند خشک‌کردن استفاده نمود (Kroehnke et al., 2021). بررسی و استفاده از روش‌های جدید مانند فراصوت باعث بهبود خصوصیات ظاهری و افزایش کیفیت محصولات خشک‌شده می‌شود. همچنین می‌توان با استفاده از ماهیت مکانیکی امواج فراصوت (ایجاد کاویتاسیون)، زمان خشک‌کردن محصولات کشاورزی را کاهش داد (Salehi, 2023). اثر پیش‌تیمار فراصوت در توان‌ها و دماهای مختلف بر فرآیند خشک‌شدن زغال‌اخته توسط اینانلودوگوز و همکاران (Inanloodoghous et al., 2023) بررسی شده است. این پژوهشگران گزارش کردند که پیش‌تیمار فراصوت قبل از خشک‌کردن زغال‌اخته‌ها با خشک‌کن فروسرخ، با ایجاد کانال‌های میکروسکوپی در سطح محصول به دلیل پدیده کاویتاسیون، سبب سهولت خروج رطوبت از محصول و در نتیجه کاهش زمان خشک‌کردن می‌گردد.

میوه زغال‌اخته ترش مزه است و به صورت تازه خوری استفاده شده و یا از میوه رسیده‌ی آن کمپوت، مربا، لواشک و میوه خشک تهیه و مصرف می‌شود. این میوه دارای مقادیر کمی گلوکز و ساکارز و سرشار از آهن، کلسیم، اسید فولیک، ویتامین‌های C، B₁، B₂ و E، فلاونوئیدها، اسید اکسالیکی و آنتوسیانین است (Ercisli et al., 2011; Ghorbani & Esmaili, 2022). زغال‌اخته میوه‌ای بسیار فسادپذیر است که برای کاهش ضایعات به مدیریت مناسب پس از برداشت نیاز دارد. قاسمی و همکاران (Ghasemi et al., 2021) اثر تیمار پس از برداشتی کلرید کلسیم بر عمر انبارمانی و کیفیت میوه برخی از ژنوتیپ‌های زغال‌اخته را مطالعه کردند. در بین تیمارهای غوطه‌وری، بیشترین و کمترین مقدار سفتی، اسید قابل تیتر و اسیدآسکوربیک به ترتیب متعلق به تیمار کلرید کلسیم ۶۰ میلی‌مولار و تیمار شاهد (آب مقطر) بودند. در پژوهشی، تأثیر روش‌های کربن دی‌اکسید فوق بحرانی و آب زیر بحرانی بر محتوای ترکیبات فنلی و خواص آنتی‌اکسیدانی میوه زغال‌اخته توسط گیلانی و همکاران

استفاده و از این صمغ استخراج شده برای پوشش‌دهی نمونه‌ها استفاده شد (Salehi & Inanloodoghrouz, 2023).

پوشش‌دهی

نمونه‌ها به سه گروه بدون پوشش (آب مقطر) و پوشش داده شده توسط صمغ‌های گزانتان و مرو شده تقسیم شدند. از پودر صمغ گزانتان تجاری تولید شده توسط شرکت چینی فوفنگ^۱ برای تهیه محلول پوشش‌دهی استفاده شد. محلول صمغ گزانتان با غلظت ۰/۲۵ درصد با استفاده از آب مقطر تهیه شد. صمغ استخراج شده از دانه‌ی مرو ابتدا با استفاده از آون خشک و درصد مواد جامد آن محاسبه شد. سپس با استفاده از آب مقطر، غلظت آن در محدوده ۰/۲۵ درصد تنظیم شد. برای اطمینان از غلظت تهیه شده صمغ دانه مرو، مجدد بخشی از محلول تهیه شده داخل آون خشک و درصد مواد جامد آن محاسبه شد. برای هر مرحله پوشش‌دهی، صمغ‌ها به‌صورت مجزا داخل دستگاه حمام فراصوت ریخته شدند و پوشش‌دهی به روش غوطه‌وری انجام شد.

اعمال تیمار فراصوت

برای اعمال تیمار فراصوت بر زغال‌آخته‌ها، از دستگاه حمام فراصوت ساخت شرکت بکر^۲ (ایران) مدل vCLEAN1-L6 با فرکانس کاری ۴۰ کیلوهرتز و توان التراسونیک ۷۵ و ۱۵۰ وات استفاده شد. بعد از بررسی مقاله‌های منتشر شده در این زمینه و آزمون و خطا، محدوده دمای حمام فراصوت انتخاب شد. لذا برای اعمال تیمارهای دمایی دمای حمام فراصوت بر روی ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درجه سلسیوس تنظیم شد. بعد از رسیدن دمای حمام به دماهای مورد نظر، برای هر تکرار، ۳ عدد زغال‌آخته یک شکل انتخاب و درون داخل دستگاه قرار می‌گرفت (۹ عدد برای هر آزمایش) و هم‌زمان تیمارهای فراصوت و دما به مدت ۵ دقیقه بر آنها اعمال می‌شد.

خشک‌کردن با فرورسرخ

در ابتدای این فرآیند، میوه زغال‌آخته، پس از اعمال تیمار فراصوت در درون دستگاه خشک‌کن فرورسرخ (طول، عرض و ارتفاع به‌ترتیب برابر ۴۴، ۲۰ و ۴۰ سانتی‌متر) قرار داده شدند. برای پرتودهی از لامپ فرورسرخ ۲۵۰ وات تولید شده در شرکت نور (ایران) استفاده شد که میزان فاصله‌ی لامپ فرورسرخ از میوه‌های زغال‌آخته ۱۰ سانتی‌متر بود. در این شرایط خشک شدن میوه‌ها انجام و تغییرات وزن نمونه‌ها در طی خشک شدن (تا زمان رسیدن به وزن ثابت) با

(Gillani et al., 2018) بررسی شد. بر اساس نتایج این پژوهش، فعالیت وابسته به غلظت ترکیبات فنی در مورد اثر آنتی‌رادیکالی و قدرت احیاکنندگی در همه عصاره‌های زغال‌آخته گزارش شده است. لذا می‌توان میوه زغال‌آخته را به‌علت حضور ترکیبات فعال زیستی مانند ترکیبات فنولیک در آن، به‌عنوان منبع مفیدی برای تأمین آنتی اکسیدان‌های طبیعی معرفی نمود.

پوشش‌دهی محصولات کشاورزی و میوه‌ها با استفاده از صمغ‌های خوراکی باعث افزایش کیفیت ظاهری و بهبود رنگ و کاهش چروکیدگی در فرآیند خشک‌کردن می‌شود (Satorabi et al., 2021). در پژوهشی، تأثیر پوشش خوراکی بر آب‌گیری اسمزی میوه زغال‌آخته توسط کلانتری و همکاران (Kalantari et al., 2016) بررسی شده است. این پژوهشگران گزارش کردند که کمترین میزان جذب مواد جامد محلول، میزان جذب نمک، شربت گلوکز و پکتین و مدت زمان خشک شدن نهایی در نمونه‌های پوشش‌دار اسمز شده و بیشترین میزان از دست دادن آب به‌ترتیب در نمونه‌های اسمز شده بدون پوشش و نمونه‌های اسمز نشده مشاهده شده است.

همچنین می‌توان با استفاده از ماهیت مکانیکی امواج فراصوت پوشش‌دهی محصول با صمغ خوراکی را بهبود بخشید (Eftekhari et al., 2023). علاوه بر این، انتظار می‌رود زمان خشک‌کردن میوه زغال‌آخته با استفاده از اشعه فرورسرخ کوتاه‌تر شده و باعث به حداقل رسیدن آسیب‌ها حین فرآیند خشک‌کردن شود (Inanloodoghrouz et al., 2023). لذا در این پژوهش اثر پیش تیمارهای فراصوت و پوشش‌دهی با صمغ‌های مرو و گزانتان بر کیفیت زغال‌آخته خشک‌شده به روش فرورسرخ بررسی شد.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی زغال‌آخته‌ها

برای انجام این پژوهش، زغال‌آخته‌های تازه و رسیده با متوسط قطر ۱ سانتی‌متر از شهرستان الموت استان قزوین تهیه و تا زمان شروع آزمایش‌ها در فریزر با دمای ۱۸- درجه سلسیوس نگهداری شدند. برای اعمال هر تیمار، ابتدا نمونه‌ها در دمای محیط انجمادزایی شدند.

استخراج صمغ دانه مرو

ابتدا دانه‌ی مرو از یک عطاری در شهر قزوین تهیه و ناخالصی‌های آن جداسازی شد. سپس برای تهیه صمغ، ابتدا دانه‌ی مرو در دمای محیط با نسبت ۱ به ۲۰ با آب مقطر مخلوط گردید و به مدت ۲۰ دقیقه مخلوط حاصل استراحت داده شد. سپس برای استخراج صمغ از دستگاه آبمیوه‌گیری (تولیس، FJ-479، ایران)

1- FuFeng Co. (China)

2- Ultrasonic laboratory bath ,vCLEAN1-L6, Backer, Iran

تعیین فنل کل

برای میوه‌های خشک‌شده، یک گرم از میوه خشک‌شده با استفاده از هاون دستی خرد شد و با متانول ۸۰٪ به نسبت ۱ به ۱۰ مخلوط گردید و به مدت ۲۴ ساعت در دستگاه شیکر در شرایط تاریک قرار گرفت. سپس با استفاده از سانتریفوژ (Universal 320R, Hettich, آلمان) با دور ۴۰۰۰ دور در دقیقه مدت ۵ دقیقه فاز جامد و مایع جدا گردید، و از مخلوط دو فازشده به آرامی بخش مایع یا همان عصاره مورد نظر استخراج گردید. برای میوه تازه نیز نسبت وزن خشک برابر محاسبه گردید و برابر با یک گرم ماده خشک از میوه تازه استفاده شد (ماده خشک میوه زغال‌اخته حدود ۲۲ درصد بود).

برای اندازه‌گیری فنل کل نمونه‌ها، ابتدا ۰/۵ میلی‌لیتر عصاره همراه با ۰/۵ میلی‌لیتر معرف فولین سیوکالتو (سیگما-آلد ریچ، آمریکا) داخل یک لوله آزمایش ریخته شد. بعد از ۵ دقیقه استراحت مخلوط، ۲ میلی‌لیتر کربنات سدیم (مرک، آلمان) ۲۰ درصد (وزنی/حجمی) اضافه و ۳۰ ثانیه همزده شد. مخلوط به مدت ۱۵ دقیقه در دمای محیط گذاشته شد و سپس ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه شد. مخلوط تهیه شده به مدت ۵ دقیقه داخل سانتریفوژ با سرعت ۴ هزار دور در دقیقه قرار داده شد. بعد از دو فاز شدن، جذب محلول رویی توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (لاویباند، XD7500، آلمان) در طول موج ۷۶۵ نانومتر خوانده شد. منحنی کالیبراسیون بر اساس اسید گالیک رسم شد. نتایج فنل کل با واحد معادل میلی‌گرم اسید گالیک بر گرم ماده خشک گزارش شد (Vega-Gálvez et al., 2009).

اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل

ابتدا محلول ۰/۱ میلی‌مولار رادیکال آزاد DPPH (سیگما-آلد ریچ، آمریکا) در متانول تهیه گردید (۰/۰۰۴ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر متانول)، سپس ۲ میلی‌لیتر نمونه و ۲ میلی‌لیتر محلول آماده شده رادیکال آزاد DPPH در یک لوله آزمایش مخلوط شدند. ۳۰ ثانیه به شدت مخلوط و سپس به مدت ۳۰ دقیقه در محیط تاریک نگهداری شدند. جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی از اختلاف بین مقدار جذب نمونه شاهد و نمونه اصلی نسبت به جذب نمونه شاهد ضرب در ۱۰۰ به دست آمد.

ارزیابی حسی

بعد از بررسی نتایج و انتخاب بهترین نمونه از تیمارها، ۴ نمونه زغال‌اخته خشک‌شده که هر کدام با روش‌های متفاوتی تهیه شده بودند، به تعداد زیاد (حدود ۲۰۰ زغال‌اخته خشک‌شده) تولید و توسط

استفاده از ترازوی دیجیتالی Lutron GM 300 با دقت ۰/۰۱ گرم که در زیر دستگاه خشک‌کن قرار گرفته بود، ثبت شد. نمونه‌های خشک شده به صورت مجزا، درون کیسه‌های پلی‌اتیلنی دربسته و عایق نسبت به رطوبت، در داخل یخچال نگهداری شدند.

درصد رطوبت

برای اندازه‌گیری رطوبت نمونه‌های تازه و خشک‌شده، ۵ گرم از هر نمونه داخل یک پلیت شیشه‌ای تمیز و خشک ریخته شد. رطوبت نمونه‌ها مطابق روش AOAC (۲۰۱۰) از طریق قرار دادن پلیت حاوی نمونه در آون (شیماز، ایران) با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس تا دستیابی به وزن ثابت (حدود ۴ ساعت) اندازه‌گیری شد. توزین نمونه‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت یک صدم گرم انجام شد.

آبگیری مجدد زغال‌اخته خشک‌شده

برای محاسبه درصد آبگیری مجدد^۱ (RR)، زغال‌اخته‌های خشک‌شده توزین، سپس درون حمام آب (مدل R.J42، شرکت پارس آزما، ایران) با دمای ۵۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند. نمونه‌ها بعد از گذشت ۳۰ دقیقه از آب خارج شده و توزین شدند. نسبت باز جذب آب توسط رابطه ۱ محاسبه و گزارش شد (Salehi et al., 2022).

$$RR = \frac{M}{M_0} \times 100 \quad (1)$$

در این معادله M وزن زغال‌اخته‌ها بعد از باز جذب آب و M₀ وزن زغال‌اخته‌های خشک می‌باشد.

شاخص تغییرات رنگ

جهت بررسی تغییرات رنگ زغال‌اخته‌های خشک‌شده، از روش پردازش تصویر استفاده گردید. قبل و بعد از فرایند خشک‌کردن، از نمونه‌ها توسط یک اسکنر اچ‌پی^۲ عکس در فرمت JPG تهیه شد. بعد از تبدیل عکس‌ها به فرمت L*a*b* توسط نرم‌افزار ایمیج‌جی^۳ (version 1.42e, USA)، مؤلفه‌های رنگی آنها شامل مؤلفه‌های روشنایی - تیرگی (L*)، سبزی - قرمزی (a*)، آبی - زردی (b*) به دست آمد و از آنها برای محاسبه شاخص تغییرات رنگ (ΔE) استفاده شد. مقادیر شاخص تغییرات رنگ (ΔE) زغال‌اخته خشک‌شده در مقایسه با نمونه تازه با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد (Salehi & Satorabi, 2021).

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

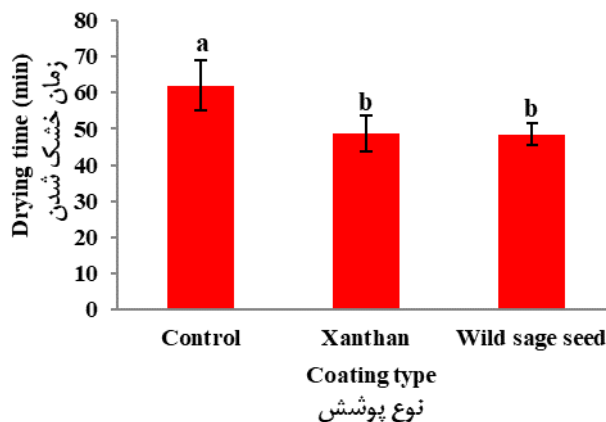
- 1- Rehydration ratio (RR)
- 2- Hp Scanjet 300, China
- 3- ImageJ

صمغ‌های گزانتان و دانه مرو بر حفظ ترکیبات فنلی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و خصوصیات حسی محصول ارزیابی گردید. این پژوهش در قالب فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی و با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. آزمون‌های خشک کردن در سه تکرار انجام و برای مقایسه میانگین پاسخ‌های مشاهده شده، از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۹۵٪ استفاده شد. برای رسم نمودارها نیز از برنامه (۲۰۰۷) Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

اثر پوشش‌دهی بر سینتیک انتقال جرم زغال‌اخته

متوسط زمان خشک شدن زغال‌اخته در تیمار آب مقطر (بدون پوشش‌دهی) ۶۲ دقیقه بود و متوسط زمان خشک شدن زغال‌اخته در تیمارهای پوشش‌دهی با صمغ‌های گزانتان و دانه مرو به ترتیب برابر با ۴۸/۷ دقیقه و ۴۸/۴ دقیقه بود. شکل ۱ تأثیر پوشش‌دهی بر زمان خشک شدن است و مشاهده می‌شود که از نظر زمان خشک شدن بین تیمار بدون پوشش‌دهی (آب مقطر) و پوشش‌دهی با صمغ‌های گزانتان و دانه مرو اختلاف معنی‌داری دارد و بین پوشش‌دهی با دو نوع صمغ تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.



شکل ۱- اثر پوشش‌دهی بر زمان خشک شدن زغال‌اخته

Fig. 1. Effect of coating on the drying time of cornelian cherry

Data are shown as mean $\pm$ standard deviation (N = 3). Different letters above the columns indicate significant difference ($p < 0.05$) داده‌ها به صورت میانگین $\pm$ انحراف معیار نشان داده شده است (N=۳). حروف متفاوت بالای ستون‌ها نشان‌دهنده تفاوت معنادار است ($p < 0.05$)

داخلی بافت می‌باشد (Al-Khuseibi et al., 2005). با توجه به داده‌های به دست آمده و بررسی‌های آماری، میزان آبیگری مجدد در بین تیمارهای مختلف این پژوهش از جمله اثر توان و دمای فراصوت بر زغال‌اخته خشک شده بدون پوشش‌دهی (شکل ۲)، اثر توان و دمای فراصوت بر زغال‌اخته‌های خشک شده با پوشش‌دهی صمغ گزانتان

۲۵ ارزیاب از نظر خصوصیات حسی بررسی و امتیازدهی شدند. چهار نمونه عبارت بودند از:

- ۱- زغال‌اخته بدون پوشش همراه با تیمار فراصوت با توان ۱۵۰ وات و دمای ۶۰ درجه سلسیوس.
 - ۲- زغال‌اخته پوشش داده شده با صمغ گزانتان و تیمار شده با فراصوت با توان ۱۵۰ وات در دمای ۶۰ درجه سلسیوس.
 - ۳- زغال‌اخته پوشش داده شده با صمغ مرو و تیمار شده با فراصوت با توان ۱۵۰ وات در دمای ۶۰ درجه سلسیوس.
 - ۴- زغال‌اخته خشک تهیه شده از بازار شهر قزوین.
- برگه ارزیابی حسی بر اساس روش هدونیک ۹ نقطه‌ای تهیه شد. ارزیاب‌ها بعد از تست هر نمونه به ۶ ویژگی تعیین شده از ۱ تا ۹ برحسب شدت ویژگی امتیاز دادند که این ۶ ویژگی عبارت بودند از:
- ۱- چروکیدگی
 - ۲- رنگ ظاهری
 - ۳- پذیرش ظاهری کل
 - ۴- پذیرش طعم
 - ۵- پذیرش بافت
 - ۶- پذیرش کلی.

آنالیز آماری

در این پژوهش، تأثیر توان اعمال شده توسط دستگاه فراصوت در سه سطح ۰، ۷۵ و ۱۵۰ وات و اثر دمای تیماردهی در سه سطح ۲۰°C، ۴۰°C و ۶۰°C بر آبیگری مجدد و شاخص تغییرات رنگ کلی زغال‌اخته خشک شده بررسی شد. همچنین اثر پوشش‌دهی با

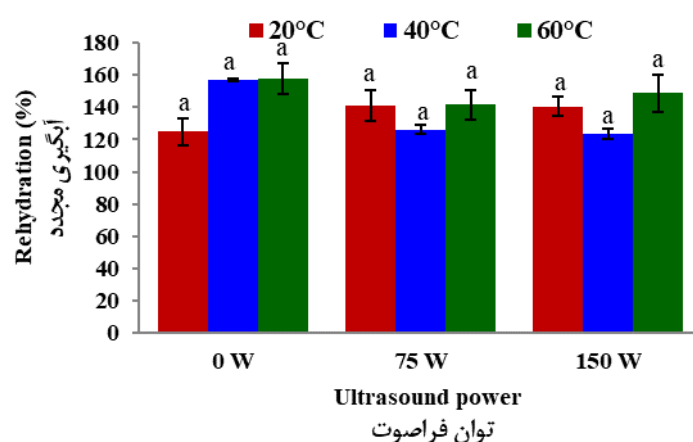
آبیگری مجدد

آبیگری مجدد یکی از خواص مهمی است که برای اندازه‌گیری کیفیت مواد غذایی خشک استفاده می‌شود. همچنین می‌تواند به عنوان معیاری برای آسیب ناشی از خشک کردن یا تیمار قبل از خشک شدن در نظر گرفته شود. آبیگری مجدد آهسته یا ضعیف، به دلیل فروپاشی

شاخص تغییرات رنگ

در این پژوهش، میانگین مقادیر اولیه شاخص‌های روشنایی، قرمزی و زردی برای نمونه تازه زغال‌اخته به‌ترتیب برابر ۲۵/۲۹، ۴۰/۸۴ و ۲۶/۵۳ بود. **شکل ۵** تأثیر تیمار فراصوت بر شاخص تغییرات رنگ (ΔE) زغال‌اخته خشک‌شده بدون تیمار را نشان می‌دهد. تفاوت معنی‌داری بین توان‌های فراصوت صفر با توان ۷۵ و ۱۵۰ وات دیده می‌شود ($p < 0.05$). پیش تیمار فراصوت در هر دو توان ۷۵ و ۱۵۰ تأثیری کاهشی بر روند تغییرات رنگ داشت که حاکی از بهبود رنگ و جلوگیری از تغییر رنگ (کاهش بازارپسندی محصول) دارد. با افزایش توان فراصوت به ۱۵۰ وات تغییرات رنگ کاهش یافت اما تفاوت معنی‌داری با توان ۷۵ وات نداشت ($p > 0.05$).

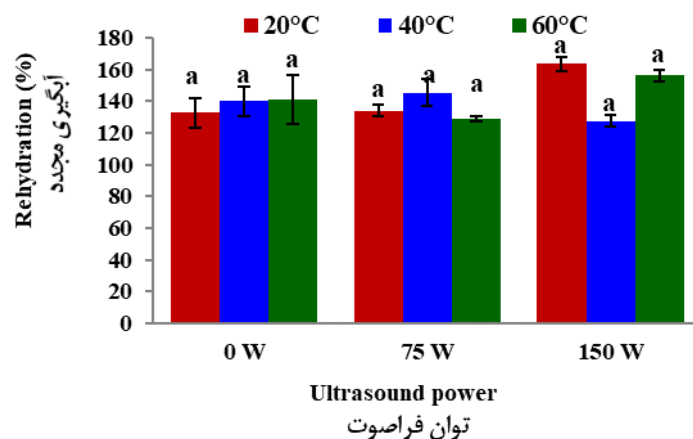
(**شکل ۳**)، نشان داد که اختلاف معناداری از نظر آبرگیری مجدد بین هیچ کدام از تیمارها وجود ندارد. متوسط آبرگیری مجدد تمامی نمونه‌ها برابر با ۱۳۹/۶۵ درصد بود. در **شکل ۴** نیز تأثیر توان و دمای فراصوت بر آبرگیری مجدد زغال‌اخته پوشش‌دهی شده با صمغ دانه مرو گزارش شده است. صالحی و همکاران (Salehi et al., 2024)، در پژوهش بر روی اثر تیماردهی با امواج مایکروویو بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و کارایی فرآیند خشک شدن آلبالو گزارش کردند که اثر زمان اعمال تیمار مایکروویو بر آبرگیری مجدد آلبالوهای خشک تأثیر معنی‌داری نداشته است ($p > 0.05$). همچنین در این پژوهش متوسط درصد آبرگیری مجدد آلبالوهای خشک‌شده ۱۱۶/۶۵ درصد گزارش شده است.



شکل ۲- تأثیر توان و دمای فراصوت بر آبرگیری مجدد زغال‌اخته بدون پوشش

Fig. 2. Effect of ultrasonic power and temperature on rehydration of uncoated cornelian cherry
Data are shown as mean $\pm$ standard deviation (N = 3). Same letters above the columns indicate no significant difference between means ($p > 0.05$)

داده‌ها به‌صورت میانگین $\pm$ انحراف معیار نشان داده شده است (N=۳). حروف یکسان بالای ستون‌ها نشان‌دهنده عدم تفاوت معنادار بین میانگین‌ها است ($p > 0.05$)



شکل ۳- تأثیر توان و دمای فراصوت بر آبرگیری مجدد زغال‌اخته پوشش‌دهی شده با صمغ گزانتان

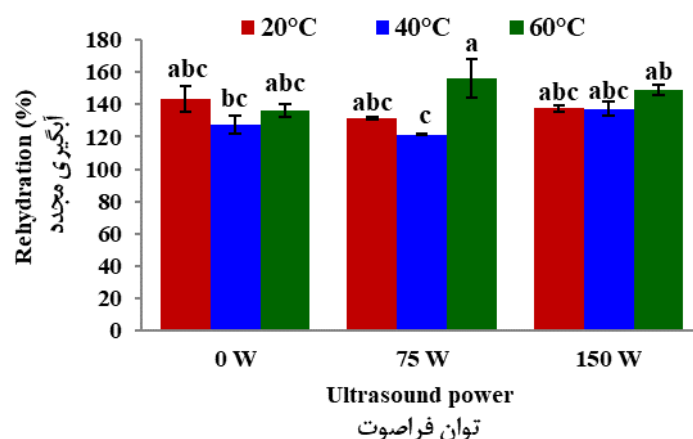
Fig. 3. Effect of ultrasonic power and temperature on rehydration of cornelian cherry coated with xanthan gum
Data are shown as mean $\pm$ standard deviation (N = 3). Same letters above the columns indicate no significant difference between means ($p > 0.05$)

داده‌ها به‌صورت میانگین $\pm$ انحراف معیار نشان داده شده است (N=۳). حروف یکسان بالای ستون‌ها نشان‌دهنده عدم تفاوت معنادار بین میانگین‌ها است ($p > 0.05$)

مختلف وجود نداشت ($p > 0.05$). در تیمار دمای فراصوت هم مقادیر به‌دست‌آمده برای تغییرات رنگ در دماهای ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درجه سلسیوس به‌ترتیب برابر ۲۱/۸، ۲۸/۲ و ۲۳/۸ بود که دمای فرآیند در پارامتر تغییرات رنگ زغال‌اخته پوشش‌دهی شده با صمغ‌های گزانتان و صمغ دانه مرو تأثیر معنی‌داری نداشت ($p > 0.05$). تأثیر پوشش‌دهی بر تغییرات رنگ نیز مورد بررسی قرار گرفت که میزان تغییرات رنگ در تیمارهای بدون پوشش، با پوشش صمغ گزانتان و صمغ دانه مرو برابر با ۲۶/۷۱، ۲۶/۰۲ و ۳۱/۳۶ بود که تفاوت معنی‌داری بین آن‌ها وجود نداشت ($p > 0.05$).

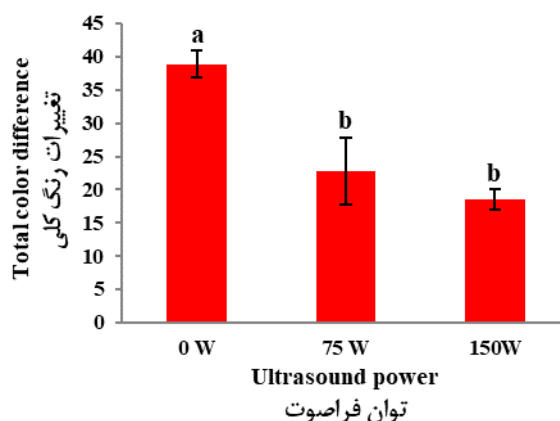
شکل ۶ تأثیر دمای فراصوت بر تغییرات رنگ را نشان می‌دهد. مقدار عددی شاخص تغییرات رنگ در تیمارهای دمای ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درجه سلسیوس به‌ترتیب برابر با ۱۸/۱۶، ۲۳/۸۳ و ۱۸/۱۲ بود. البته با توجه به حروف معنی‌داری، تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای مختلف وجود نداشت ($p > 0.05$).

با افزایش توان فراصوت، میزان تغییرات رنگ طی فرآیند خشک‌کردن زغال‌اخته پوشش‌دهی شده با صمغ‌های گزانتان و صمغ دانه مرو کاهش یافت. به‌طوری‌که برای نمونه‌های پوشش داده شده با صمغ دانه مرو در توان‌های ۷۵ و ۱۵۰ وات به‌ترتیب برابر با ۳۳/۱۶، ۲۷/۱۱ و ۲۵/۸ بود، اما تفاوت معنی‌داری بین توان‌های



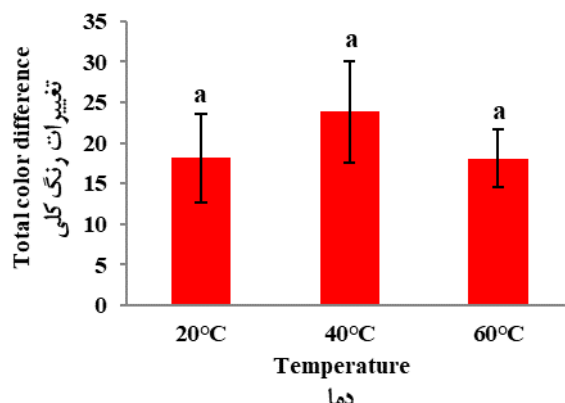
شکل ۴- تأثیر توان و دمای فراصوت بر آگیری مجدد زغال‌اخته پوشش‌دهی شده با صمغ دانه مرو

Fig. 4. Effect of ultrasonic power and temperature on rehydration of cornelian cherry coated with wild sage seed gum
Data are shown as mean $\pm$ standard deviation ($N=3$). Different letters above the columns indicate significant difference ($p < 0.05$)
داده‌ها به‌صورت میانگین $\pm$ انحراف معیار نشان داده شده است ($N=3$). حروف متفاوت بالای ستون‌ها نشان‌دهنده تفاوت معنادار است ($p < 0.05$)



شکل ۵- اثر توان فراصوت بر تغییرات رنگ کلی زغال‌اخته بدون پوشش

Fig. 5. Effect of ultrasound power on total color difference of uncoated cornelian cherry
Data are shown as mean $\pm$ standard deviation ($N=3$). Different letters above the columns indicate significant difference ($p < 0.05$)
داده‌ها به‌صورت میانگین $\pm$ انحراف معیار نشان داده شده است ($N=3$). حروف متفاوت بالای ستون‌ها نشان‌دهنده تفاوت معنادار است ($p < 0.05$)



شکل ۶- اثر دمای فراصوت بر تغییرات رنگ کلی زغال اخته بدون پوشش

Fig. 6. Effect of ultrasound temperature on total color difference of uncoated cornelian cherry

Data are shown as mean $\pm$ standard deviation (N = 3). Same letters above the columns indicate no significant difference between means ($p > 0.05$)

داده‌ها به صورت میانگین $\pm$ انحراف معیار نشان داده شده است (N=۳). حروف یکسان بالای ستون‌ها نشان‌دهنده عدم تفاوت معنادار بین میانگین‌ها است ($p > 0.05$)

نمونه‌های تیمار شده می‌تواند مربوط به کاهش سرعت تنفس در این تیمارها باشد که منجر به کاهش در تجزیه این ترکیبات می‌گردد (Ghasemi et al., 2021). همچنین، فنل‌ها در طول دوره نگهداری به دلیل اینکه سوپسترا آنزیم پلی‌فنل اکسیداز می‌باشند به وسیله این آنزیم تحت تأثیر قرار می‌گیرند. کاهش بیشتر مقدار فنل در نمونه‌های تیمار شده با آب مقطر (نمونه بدون پوشش)، می‌تواند به خاطر اکسیداسیون سریع فلاونوئیدها و ترکیبات فنلی باشد که به‌طور مستقیم با اکسیژن در تماس می‌باشند (Day, 2000).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

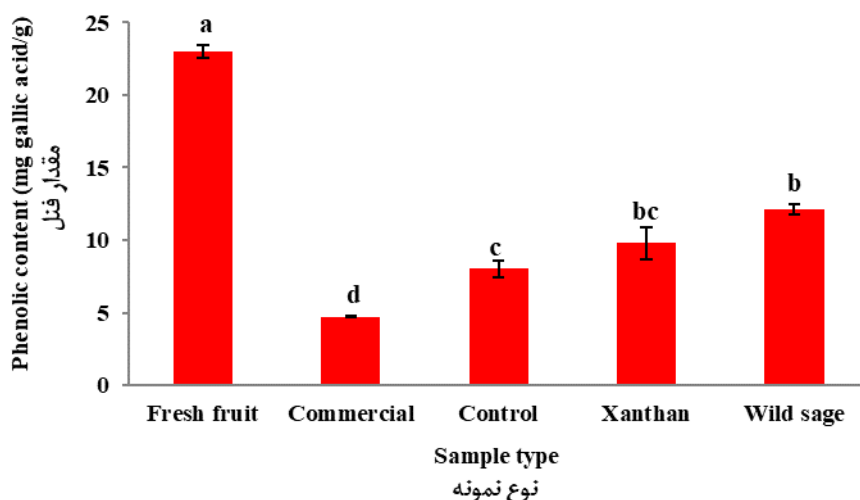
نتایج حاصل از بررسی فعالیت آنتی‌اکسیدانی به روش DPPH در این پژوهش نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای مختلف وجود دارد (شکل ۸). نمونه میوه تازه با ۷۱ درصد بالاترین میزان مهارکنندگی را در بین نمونه‌ها دارا بود. در تمامی تیمارها، فرآیند خشک کردن باعث کاهش معنی‌داری در میزان فعالیت آنتی‌اکسیدان میوه زغال اخته گردید. همچنین نمونه بازاری با اختلاف معنی‌داری کمترین میزان مهارکنندگی رادیکال آزاد DPPH را داشت و در بین نمونه‌های تیمار شده با پوشش‌دهی نیز نمونه بدون پوشش (آب مقطر) و نمونه پوشش‌دهی شده با صمغ دانه‌ی مرو به ترتیب با ۶۰/۵ و ۶۲/۶ درصد مهارکنندگی با اختلاف معنی‌داری از پوشش‌دهی با صمغ گزانتان (۵۱/۹ درصد)، محصول بهتری بودند و در این نمونه‌ها میزان کمتری از فعالیت آنتی‌اکسیدانی افت نمود. گیلانی و همکاران (Gillani et al., 2018) گزارش کردند که عصاره میوه زغال اخته حاصل از روش کربن دی‌اکسید فوق بحرانی، بیشترین میزان ترکیبات

ترکیبات فنلی کل

میوه‌ها سرشار از ترکیبات فنلی و آنتی‌اکسیدانی هستند که با توجه به نقش مفید در سلامتی انسان حائز اهمیت‌اند. بر اساس نتایج به‌دست آمده در بخش‌های قبلی، توان ۱۵۰ وات و دمای ۶۰ درجه سلسیوس به‌عنوان بهترین شرایط برای تیماردهی زغال اخته با فراصوت انتخاب شد. سپس در این شرایط، نمونه‌های مختلف با پوشش‌های متفاوت تهیه و در ادامه اثر پوشش بر خصوصیات نمونه‌های خشک‌شده بررسی شد. در شکل ۷ نتایج حاصل از اندازه‌گیری ترکیبات فنلی کل تیمارهای مختلف نشان داده شده است. در این مطالعه میزان فنل کل میوه زغال اخته خشک نشده (با نسبت ماده خشک برابر با نمونه خشک‌شده)، نمونه خشک‌شده بازاری که از شهر قزوین تهیه گردید، زغال اخته‌های خشک‌شده بدون پوشش‌دهی و خشک‌شده در خشک‌کن فروسرخ، زغال اخته با پوشش‌های صمغ گزانتان و صمغ دانه‌ی مرو اندازه‌گیری شد و مقدار فنل کل آنها به ترتیب برابر ۲۳/۰، ۴/۷، ۸/۰، ۹/۸ و ۱۲/۱ میلی‌گرم گالیک اسید در گرم بودند. با توجه به داده‌های به‌دست‌آمده، میوه زغال اخته منبع غنی از ترکیبات فنلی می‌باشد و در فرآیند خشک کردن معمولی (آفتابی) دچار افت قابل‌توجهی می‌شود؛ به‌طوری‌که کمترین میزان ترکیبات فنلی کل مربوط به نمونه‌ی بازاری بود و تمام تیمارهای مختلف خشک‌کن فروسرخ اختلاف معنی‌داری با نمونه بازاری داشتند. همچنین همان‌گونه که در این شکل ملاحظه می‌شود نمونه پوشش‌دهی شده با صمغ دانه‌ی مرو کیفیت بهتری از نظر میزان ترکیبات فنلی نسبت به نمونه پوشش‌دهی شده با صمغ گزانتان و نمونه بدون پوشش داشت. بالاتر بودن میزان ترکیبات فنلی در

پوشش‌های خوراکی (صمغ‌های ریحان، مرو و کیتوزان) میزان فعالیت مهارکنندگی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی افزایش یافت که علت این امر را به خاصیت آنتی‌اکسیدانی خود پوشش‌ها و همچنین توانایی بالای آنها در حفظ این ترکیبات نسبت دادند.

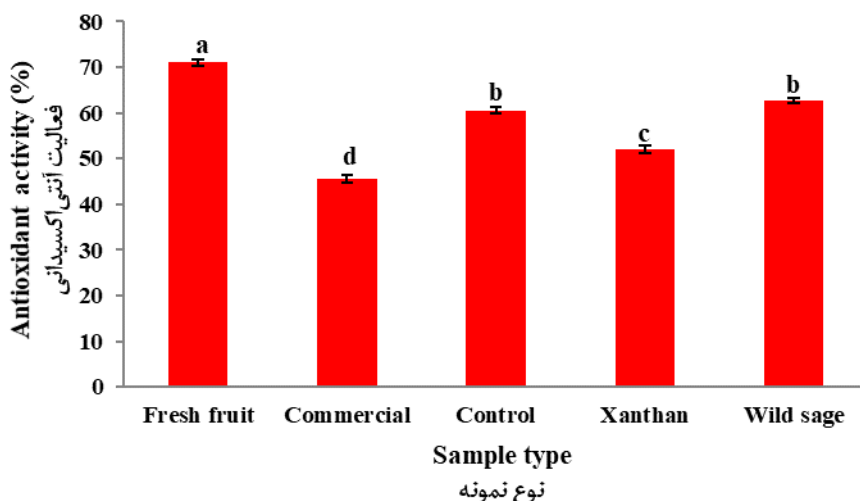
فنلی و بالاترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی را داشته است. کرمی و همکاران (Karami et al., 2023) با بررسی اثر ترکیبی توان ماکروویو-غلظت پوشش خوراکی بر خصوصیات فیزیکیوشیمیایی برش‌های میوه سیب خشک‌شده گزارش کردند که با افزایش غلظت



شکل ۷- اثر پوشش‌دهی بر مقدار فنل زغال‌اخته خشک‌شده (۱۵۰ وات و ۶۰°C)

Fig. 7. Effect of coating on the phenolic content of dried cornelian cherry (150W and 60°C)

Data are shown as mean $\pm$ standard deviation (N = 3). Different letters above the columns indicate significant difference ($p < 0.05$) داده‌ها به‌صورت میانگین $\pm$ انحراف معیار نشان داده شده است (N=۳). حروف متفاوت بالای ستون‌ها نشان‌دهنده تفاوت معنادار است ($p < 0.05$)



شکل ۸- اثر پوشش‌دهی بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی زغال‌اخته خشک‌شده (۱۵۰ وات و ۶۰°C)

Fig. 8. Effect of coating on the antioxidant activity of dried cornelian cherry (150 W and 60°C)

Data are shown as mean $\pm$ standard deviation (N = 3). Different letters above the columns indicate significant difference ($p < 0.05$) داده‌ها به‌صورت میانگین $\pm$ انحراف معیار نشان داده شده است (N=۳). حروف متفاوت بالای ستون‌ها نشان‌دهنده تفاوت معنادار است ($p < 0.05$)

ارزیابی حسی

بازارپسندی و مطلوبیت مواد غذایی از نظر مصرف‌کننده به ویژگی‌های خاصی از جمله رنگ، ظاهر، طعم و بافت بستگی دارد. جدول ۱ ویژگی‌های حسی امتیازدهی شده توسط ارزیاب‌ها را شرح می‌دهد. ملاحظه می‌شود که نمونه میوه خشک بازاری کمترین امتیاز را به دست آورد و در همه‌ی ویژگی‌ها اختلاف معنی‌داری با همه‌ی نمونه‌ها داشت. در مقابل نمونه خشک‌شده با پوشش صمغ مرو نیز نسبت به سایر نمونه‌ها امتیاز بیشتری را کسب کرد. نمونه پوشش‌دهی شده با صمغ گزانتان و نمونه بدون پوشش (آب مقطر) نیز هر چند در برخی

از فاکتورها اختلافات معنی‌دار دارند؛ اما از نظر پذیرش کلی اختلاف معنی‌داری نداشتند. استفاده از روش فروسرخ و پوشش‌دهی محصولات کشاورزی قبل از فرآیند خشک‌کردن، باعث افزایش بازارپسندی می‌شود (Satorabi et al., 2021) و در کنار افزایش مطلوبیت مصرف‌کننده، این نمونه‌ها ارزش غذایی بیشتری نیز دارند که می‌توانند برای سلامت جامعه مفید باشند. لذا، با توجه به امتیاز بالای نمونه پوشش داده شده با صمغ دانه مرو، استفاده از این صمغ برای پوشش‌دهی زغال‌اخته قبل از فرآیند خشک‌کردن این محصول توصیه می‌شود.

جدول ۱- ویژگی‌های حسی نمونه‌های مختلف زغال‌اخته خشک‌شده

Table 1- Sensory characteristics of different dried cornelian cherry samples

نمونه Sample	چروکیدگی Shrinkage	رنگ Color	پذیرش ظاهری Appearance acceptance	پذیرش طعم Flavor acceptance	پذیرش بافت Texture acceptance	پذیرش کلی Total acceptance
بازاری Commercial	4.24±1.15 ^b	3.36±0.93 ^c	3.20±0.81 ^c	1.80±0.51 ^c	1.60±0.45 ^c	2.36±0.65 ^c
بدون پوشش Uncoated	5.84±1.04 ^a	6.08±0.82 ^b	5.68±1.06 ^b	5.72±0.67 ^b	5.69±0.96 ^b	6.04±0.82 ^b
گزانتان Xanthan	6.72±0.92 ^a	6.76±0.87 ^{ab}	7.24±0.85 ^a	6.40±0.76 ^b	6.40±0.75 ^a	6.76±0.82 ^b
دانه مرو Wild sage	6.72±0.95 ^a	7.36±0.76 ^a	7.68±0.74 ^a	7.28±0.81 ^a	7.64±0.66 ^a	7.72±0.66 ^a

داده‌ها به صورت میانگین ± انحراف معیار نشان داده شده است (N=3). حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنادار است ($p < 0.05$)

Data are shown as mean ± standard deviation (N = 3). Different letters within each column represent significance difference ($p < 0.05$).

نتیجه‌گیری

فصل برداشت میوه‌ها محدود و میزان ضایعات آن‌ها قابل توجه است. استفاده از روش‌های سنتی برای خشک‌کردن کردن میوه‌ها سبب آسیب به محصول و کاهش ویژگی‌های مفید و سلامتی بخش آن‌ها می‌شود. در این پژوهش اثر پیش‌ تیمار فراصوت در دماهای مختلف بر کیفیت زغال‌اخته در یک خشک‌کن آزمایشگاهی فروسرخ مورد مطالعه قرار گرفت. اختلاف معناداری از نظر آنگیری مجدد بین نمونه‌های خشک‌شده وجود نداشت. با افزایش تغییر رنگ میزان مطلوبیت و بازارپسندی کاهش یافت. نتایج این پژوهش نشان داد که افزایش توان فراصوت هنگام تیماردهی زغال‌اخته بدون پوشش، باعث کاهش تغییرات رنگ محصول و حفظ رنگ طبیعی محصول شد. تیمارهای پوشش‌دهی و سایر تیمارهای توان و دمای فراصوت هر چند تأثیر مثبتی در کاهش تغییرات رنگ داشتند، اما این تغییرات معنی‌دار نبودند. فرآیند خشک‌کردن باعث کاهش ترکیبات فنلی شد، به‌طوری‌که زغال‌اخته تازه حاوی ۲۳/۰ میلی‌گرم اسید گالیک در یک گرم بود، اما سایر تیمارهای بررسی‌شده با تفاوت معنی‌داری مقدار کمتری ترکیبات فنلی داشتند. کمترین مقدار ترکیبات فنلی با ۴/۷

میلی‌گرم اسید گالیک در گرم مربوط به نمونه بازاری بود که حاکی از افت قابل توجه این ترکیبات طی فرآیندهای متداول خشک‌کردن دارد. پوشش‌دهی باعث حفظ بیشتر ترکیبات فنلی شد. نمونه تازه زغال‌اخته فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالایی دارد که طی فرآیند خشک‌کردن، بخشی از آن از بین می‌رود. در این پژوهش، صمغ گیاهی دانه مرو بدون استفاده از مواد شیمیایی استخراج شد و همراه با فراصوت، تا حدودی باعث حفظ فعالیت آنتی‌اکسیدانی زغال‌اخته خشک‌شده شد. بین نمونه‌های خشک‌شده، نمونه پوشش داده شده با صمغ دانه مرو بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی را از خود نشان داد. همچنین نمونه بازاری با اختلاف معنی‌داری کمترین میزان مهارکنندگی رادیکال آزاد DPPH را داشت ($p < 0.05$). در این پژوهش ارزیابی حسی محصولات تولید شده با تیمارهای مختلف نشان داد محصولات پوشش‌دهی شده بخصوص با صمغ دانه‌ی مرو مطلوب‌تر از نمونه بدون پوشش هستند و نمونه بازاری کمترین مطلوبیت و بازارپسندی را داشت.

میزان مشارکت

معین اینانلودوقوز: مدیریت داده‌ها، تحلیل رسمی، تحقیق و بررسی، نرم‌افزار، نوشتن - پیش‌نویس اصلی. **فخرالدین صالحی:** مدیریت داده‌ها، تحلیل رسمی، تأمین مالی، تحقیق و بررسی، مدیریت پروژه، نرم‌افزار، نظارت، اعتبارسنجی، نوشتن - پیش‌نویس اصلی، نوشتن - بررسی و ویرایش. **مصطفی کرمی:** نظارت، نوشتن - پیش‌نویس اصلی.

اشرف گوهری اردبیلی: نظارت، نوشتن - پیش‌نویس اصلی.

منابع تأمین مالی

این مقاله از پایان‌نامه کارشناسی ارشد آقای معین اینانلودوقوز که در سال ۱۴۰۲ در دانشگاه بوعلی سینا انجام شد، مستخرج شده است. هزینه‌های انجام این پژوهش از محل پژوهانه به شماره ۴۰۲۱۷۴، تأمین شده از سوی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه بوعلی سینا، پرداخت شده است.

سپاسگزاری

بدینوسیله از معاونت محترم پژوهش و فناوری دانشگاه بوعلی سینا جهت حمایت مالی از این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌شود.

References

- Aadil, R.M., Zeng, X.-A., Han, Z., & Sun, D.-W. (2013). Effects of ultrasound treatments on quality of grapefruit juice. *Food Chemistry*, 141(3), 3201-3206. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.06.008>
- Al-Khuseibi, M.K., Sablani, S.S., & Perera, C.O. (2005). Comparison of water blanching and high hydrostatic pressure effects on drying kinetics and quality of potato. *Drying Technology*, 23(12), 2449-2461. <https://doi.org/10.1080/07373930500340734>
- Dadan, M., Grobelna, A., Kalisz, S., & Witrowa-Rajchert, D. (2022). The impact of ultrasound-assisted thawing on the bioactive components in juices obtained from blue honeysuckle (*Lonicera caerulea* L.). *Ultrasonics Sonochemistry*, 89, 106156. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106156>
- Day, B. (2000). Modified atmosphere packaging of fresh fruit and vegetables—an overview, *IV International Conference on Postharvest Science* 553, 585-590.
- Eftekhari, A., Salehi, F., Gohari Ardabili, A., & Aghajani, N. (2023). Effects of basil seed and guar gums coatings on sensory attributes and quality of dehydrated orange slices using osmotic-ultrasound method. *International Journal of Biological Macromolecules*, 253, 127056. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127056>
- Ercisli, S., Yilmaz, S.O., Gadze, J., Dzubur, A., Hadziabulic, S., & Aliman, Y. (2011). Some fruit characteristics of cornelian cherries (*Cornus mas* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 39(1), 255-259.
- Ghasemi, S., Ghasemi, M., Nejatian, M.A., & Golmohammadi, M. (2021). Effect of postharvest calcium chloride treatment on the fruit quality and storage life of some Cornelean cherry genotypes (*Cornus mas* L.). *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, 18(116), 131-141. <https://doi.org/10.52547/fsct.18.116.131>
- Ghorbani, R., & Esmaili, M. (2022). Investigation of the effect of ultrasound pretreatment on shrinkage of cornelian cherry during hot air drying. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, 19(123), 15-26. <https://doi.org/10.52547/fsct.19.123.15>
- Gillani, F., Raftani Amiri, Z., & Esmaeilzade Kenari, R. (2018). Comparison of the effect of supercritical carbon dioxide and subcritical water methods on the phenolic content and antioxidant properties of *Cornus mas* L. fruit. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, 15(74), 128-119.
- Hassan, B., Chatha, S.A.S., Hussain, A.I., Zia, K.M., & Akhtar, N. (2018). Recent advances on polysaccharides, lipids and protein 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>
- Hebbbar, H.U., Vishwanathan, K., & Ramesh, M. (2004). Development of combined infrared and hot air dryer for vegetables. *Journal of Food Engineering*, 65(4), 557-563.
- Huang, X., Hong, M., Wang, L., Meng, Q., Ke, Q., & Kou, X. (2023). Bioadhesive and antibacterial edible coating of EGCG-grafted pectin for improving the quality of grapes during storage. *Food Hydrocolloids*, 136, 108255. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108255>
- Inanloodoghous, M., Salehi, F., Karami, M., & Gohari Ardabili, A. (2023). The effect of ultrasound pretreatment at different powers and temperatures on the drying process of cornelian cherry. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, 20(134), 109-118. <https://doi.org/10.22034/FSCT.19.134.109>
- Kalantari, M., Golmakani, M.T., Riahin, M.M., Sharifi, A., & Seraji, A. (2016). The effect of edible coating on osmotic dehydration of blueberries and studying its physio-chemical properties. *Innovation in Food Science and Technology*, 7(4), 31-39.
- Kang, J., Yue, H., Li, X., He, C., Li, Q., Cheng, L., Zhang, J., Liu, Y., Wang, S., & Guo, Q. (2023). Structural, rheological and functional properties of ultrasonic treated xanthan gums. *International Journal of Biological Macromolecules*, 246, 125650. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.125650>

16. Karami, S., Farahmandfar, R., Farmani, J., Raftani Amiri, Z., & Motevali, A. (2023). Evaluating combined effect of microwave power-edible coating on physicochemical properties of dried apple slices. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, 20(134), 1-16. <https://doi.org/10.22034/fsct.19.134.16>
17. Kowalska, H., Marzec, A., Domian, E., Kowalska, J., Ciurzyńska, A., & Galus, S. (2021). Edible coatings as osmotic dehydration pretreatment in nutrient- enhanced fruit or vegetable snacks development: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(6), 5641-5674.
18. Kroehnke, J., Szadzińska, J., Radziejewska-Kubzdela, E., Biegańska-Marecik, R., Musielak, G., & Mierzwa, D. (2021). Osmotic dehydration and convective drying of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*)—The influence of ultrasound on process kinetics and product quality. *Ultrasonics Sonochemistry*, 71, 105377. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105377>
19. Lan, W., Sun, Y., Liu, S., Guan, Y., Zhu, S., & Xie, J. (2022). Effects of ultrasound-assisted chitosan grafted caffeic acid coating on the quality and microbial composition of pompano during ice storage. *Ultrasonics Sonochemistry*, 86, 106032. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106032>
20. Mirzaei, S.M., & Mohammadi Sani, A. (2015). Replacement of Salep with *Salvia macrosiphon* Boiss and its impact on physicochemical and sensory properties of traditional ice cream. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, 13(54), 95-104.
21. Nawab, A., Alam, F., & Hasnain, A. (2017). Mango kernel starch as a novel edible coating for enhancing shelf-life of tomato (*Solanum lycopersicum*) fruit. *International Journal of Biological Macromolecules*, 103, 581-586. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.05.057>
22. Nsengiyumva, E.M., & Alexandridis, P. (2022). Xanthan gum in aqueous solutions: Fundamentals and applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 216, 583-604. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.06.189>
23. Pan, Z., Li, X., Bingol, G., McHugh, T., & Atungulu, G. (2009). Development of infrared radiation heating method for sustainable tomato peeling. *Applied Engineering in Agriculture*, 25(6), 935-941.
24. Salehi, F. (2023). Recent advances in the ultrasound-assisted osmotic dehydration of agricultural products: A review. *Food Bioscience*, 51, 102307. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102307>
25. Salehi, F., Cheraghi, R., & Rasouli, M. (2022). Mass transfer kinetics (soluble solids gain and water loss) of ultrasound-assisted osmotic dehydration of apple slices. *Scientific Reports*, 12(1), 15392. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-19826-w>
26. Salehi, F., & Inanloodoghrouz, M. (2023). Rheological properties and color indexes of ultrasonic treated aqueous solutions of basil, Lallemantia, and wild sage gums. *International Journal of Biological Macromolecules*, 253, 127828. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127828>
27. Salehi, F., Inanloodoghrouz, M., Ghazvineh, S., & Moradkhani, P. (2024). Effect of microwave treatment on physicochemical characteristics and efficiency of sour cherry drying process. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. <https://doi.org/10.22067/ifstrj.2023.83605.1272>
28. Salehi, F., & Satorabi, M. (2021). Effect of basil seed and xanthan gums coating on colour and surface change kinetics of peach slices during infrared drying. *Acta Technologica Agriculturae*, 24(3), 150-156. <https://doi.org/10.2478/ata-2021-0025>
29. Satorabi, M., Salehi, F., & Rasouli, M. (2021). The influence of xanthan and balangu seed gums coats on the kinetics of infrared drying of apricot slices: GA-ANN and ANFIS modeling. *International Journal of Fruit Science*, 21(1), 468-480. <https://doi.org/10.1080/15538362.2021.1898520>
30. Silva, K.S., Garcia, C.C., Amado, L.R., & Mauro, M.A. (2015). Effects of edible coatings on convective drying and characteristics of the dried pineapple. *Food and Bioprocess Technology*, 8(7), 1465-1475. <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1495-y>
31. Subramanyam, R., Narayanan, M., & Rao, D.G. (2017). Engineering studies on moisture diffusivity of solid food products during processing-A review. *ChemBioEng Reviews*, 4(5), 304-309. <https://doi.org/10.1002/cben.201600018>
32. Vega-Gálvez, A., Di Scala, K., Rodríguez, K., Lemus-Mondaca, R., Miranda, M., López, J., & Perez-Won, M. (2009). Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annuum*, L. var. Hungarian). *Food Chemistry*, 117(4), 647-653. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.04.066>

Effect of Ultrasonication Time on Physical and Chemical Properties of Kilka Fish Oil, Corn Oil and Soybean Oil

R. Farahmandfar^{1*}, S. Forghani²

1- Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

(*- Corresponding Author Email: r.farahmandfar@sanru.ac.ir)

2- M.Sc, Department of Food Science and Technology, Khazar Institute of Higher Education, Mahmudabad, Iran

Received: 23.02.2024
Revised: 12.06.2024
Accepted: 11.08.2024
Available Online: 21.11.2024

How to cite this article:

Farahmandfar, R., & Forghani, S. (2024). Effect of ultrasonication time on physical and chemical properties of kilka fish oil, corn oil and soybean oil. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 20(5), 573-585. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.87010.1316>

Introduction

Edible oils constitutes a chief component of human diets in our daily life to supply essential fatty acids, energy, and nutrients to human. The nutritional value of edible oils varies depending on the type of oil, processing methods, extraction techniques, and storage conditions. Generally, edible oils are high in triacylglycerols with minor compositions. The presence of high amount of unsaturated fatty acids in the structure of triacylglycerol leads to a reduced shelf life of oils. This is associated to the undesired lipid oxidation that occurs when unsaturated fatty acids are exposed to light, oxygen, and heat. This is a major concern in food industry as it might result in undesired food quality deterioration involving reduction of nutritional components and off-flavors. The demand for nutritious and healthy animal and vegetable oils has been increased with a growth in population and economic progress. Therefore, researches for functional and nutritious edible oils has gained world attention on the technology to process edible oils. The use of ultrasound as a new technology in food processes is increasing due to its potential for changing materials and processing speed. This technique displays several advantages over conventional techniques in terms of time, energy consumption, and higher output. Ultrasonic processing is used in the food industry for numerous processes on high lipid containing food products in cutting, cooking, homogenization/emulsification, and microbial inactivation. The aim of this study was to investigate the effect of ultrasound time (0, 20, 40 and 60 min) on physicochemical properties of corn oil, soybean oil and kilka fish oil.

Materials and Methods

Commercial kilka fish oil, corn oil and soybean oil were purchased from local market. All of the chemicals and reagents used were analytical reagent grade. Each oil was poured at 250 ml Beaker and then treated with an ultrasonic probe at a frequency of 20 kHz for a specified period of time. Oil chemical and physical properties such as acid value (mg/g), peroxide value (meq O₂/kg), oxidative stability index (h), thiobarbituric acid value (mg/kg), conjugated diene value (%), fatty acid composition, fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy and color parameters (L*, a*, b* and ΔE) were determined. Data analysis was done using SPSS software and completely random design.

Results and Discussion

The results of this study showed that with increasing the duration of ultrasound, acid value, peroxide value, TBA value and conjugate diene value, increased and the induction period decreased. On the other hand, ultrasound treatment led to increase palmitic acid, stearic acid, oleic acid, saturated fatty acids (SFA) and monounsaturated fatty acid (MUFA), and decrease linoleic acid, linoleic acid (and palmitoleic acid, eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid in kilka fish oil), polyunsaturated fatty acid (PUFA), polyunsaturated fatty acid/saturated fatty acids (PUSFA/SFA), unsaturated fatty acid/saturated fatty acids



©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.2024.87010.1316>

(USFA/SFA), Cox value in corn, soybean, and kilka fish oils. Ultrasound did not change the fourier transform infrared spectroscopy but did change some color parameters. Sonication caused an increase in L^* (more lightness) of corn oil, a decrease in a^* (more greenness) of soybean oil, an increase in b^* (more yellowness) of corn and soybean oils, and a decrease in ΔE compared to control samples. Probably, ultrasound causes destruction and isomerization of the double bands of pigments and as a result changes in color indices. According to the results of this study, ultrasound treatment accelerated the oxidation and degradation of oils and as a result, changed some of the physicochemical properties of the oil, which varied according to the type of oil.

Keywords: Corn, Fish, Oil, Soybean, Ultrasound

مقاله پژوهشی

جلد ۲۰، شماره ۵، آذر-دی ۱۴۰۳، ص. ۵۷۳-۵۸۵

اثر زمان فراصوت بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی روغن‌های ماهی کِلِکا، ذرت و سویا

رضا فرهمندفر^{۱*} - سمانه فرقانی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۱

چکیده

استفاده از فراصوت به عنوان یک تکنولوژی نوین در فرآیندهای غذایی به دلیل پتانسیل بالقوه آن در تغییر مواد و سرعت فرآوری، رو به افزایش است. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر زمان فراصوت (۰، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ دقیقه) پروب با فرکانس ۲۰ کیلوهرتز بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی روغن‌های ذرت، سویا و ماهی کِلِکا بود. خصوصیات روغن‌ها همچون عدد اسیدی، عدد پراکسید، شاخص پایداری اکسایشی، عدد اسید تیوباریتوریک، عدد دی‌ان مزدوج، ساختار اسید چرب، طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز (FTIR) و شاخص‌های رنگی مورد آزمون قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد با افزایش مدت زمان فراصوت، عدد اسیدی، عدد پراکسید، عدد اسید تیوباریتوریک و عدد دی‌ان مزدوج افزایش و دوره القاء کاهش یافت. از طرف دیگر، فراصوت به سبب پدیده کاویتاسیون و تخریب روغن، موجب تغییر پروفایل اسید چرب روغن‌ها نیز شد به طوری که میزان اسیدهای چرب اشباع (همچون اسید پالمیتیک و اسید استئاریک) و تک‌غیراشباع (MUFA) مثل اسید اولئیک در هر سه روغن افزایش و اسیدهای چرب چندغیراشباع (PUFA) شامل اسید لینولئیک و اسید لینولنیک در هر سه روغن و اسید ایکوزاپنتانوئیک و اسید دوکوزاهگزانوئیک در روغن ماهی کاهش پیدا کرد. فراصوت تغییری در گروه‌های عاملی روغن ایجاد نکرد ولی باعث تغییر برخی شاخص‌های رنگی شد. به طور کلی، تیمار فراصوت موجب تسریع در اکسیداسیون و تخریب روغن‌ها و در نتیجه تغییر برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی روغن شد که این تغییرات برحسب نوع روغن، متفاوت بود.

واژه‌های کلیدی: ذرت، روغن، سویا، فراصوت، ماهی

مقدمه

دور بر ثانیه است، ایجاد می‌شوند. این امواج برای انتشار نیاز به محیط مادی دارند و این یکی از وجهه‌های تمایز امواج فراصوت از امواج الکترومغناطیس است (Gallo et al., 2018). امواج فراصوت به عنوان یک فناوری پیشرفته، کاربردهای زیادی در علوم و صنایع مختلف دارد. در واقع امواج فراصوت بر حسب کاربرد به دو نوع تشخیصی و پر قدرت تقسیم می‌شوند (Singla & Sit, 2021). عوامل مختلفی همچون ماهیت ماده مورد آزمایش، خصوصیات مورد اندازه‌گیری، قابلیت دستگاه‌های موجود در بازار و توانایی تغییر و تنظیم متغیرهای آنها، قیمت دستگاه، هزینه‌های نگهداری، سرعت مطلوب، دقت دستگاه، کاربرد دستگاه برای آزمایشگاه یا خط تولید در انتخاب دستگاه فراصوت تأثیر گذارند (Bhargava et al., 2021). زمینه تحقیقاتی و توسعه صنعتی فراصوت در صنایع غذایی به سرعت در حال رشد می‌باشد. زمینه‌های جدید توسعه این فناوری شامل کریستالیزاسیون، فیلتراسیون، استخراج، خشک کردن، هموژنیزاسیون، ترد کردن گوشت، اکسیداسیون، استریلیزاسیون، تعیین میزان چربی

فراصوت^۲ روشی جدید در فرآوری مواد غذایی است که امروزه با اهداف مهار و یا جلوگیری از تضييع مواد مغذی و ارتقاء کیفیت محصول و نیز کاهش خطرات میکروبی آن مورد استفاده و توجه قرار گرفته است (Gallo et al., 2018). فراصوت امواجی با همان طبیعت صدا بوده ولی فرکانس بالاتر از حد شنوایی انسان دارد. امواج فراصوت به وسیله ارتعاش‌های طولی که فرکانس آنها بالاتر از ۲۰۰۰۰

۱- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی

ساری، ساری، ایران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: r.farahmandfar@sanru.ac.ir)

۲- کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، مؤسسه آموزش عالی خزر، محمود آباد، ایران

جامد و غیره می‌باشد (Lee & Martini, Bhargava et al., 2021; Patrick et al., 2019; 2004).

فراصوت منجر به کاهش زمان لازم برای کریستالیزاسیون، کاهش اندازه کریستال، تغییرات مطلوب در بافت و ویسکوالاستیسیته (همانند روغن پالم)، تولید بدطعمی و تشدید واکنش‌های اکسیداسیون (بویژه در فراصوت با شدت بالا) می‌گردد (Patrick et al., 2004; Chemat et al., 2004a). در سال‌های اخیر استفاده از فناوری فراصوت به یک روش مؤثر برای استخراج روغن‌ها و چربی‌های خوراکی تبدیل شده است. وظیفه اصلی این فناوری ایجاد اثر کاویتاسیون^۱ می‌باشد. پیش‌تیمار فراصوت از طریق تخریب دیواره سلولی سبب افزایش راندمان استخراج روغن از دانه‌های روغنی می‌شود. این مسئله انتقال جرم، نفوذ حلال به سلول و ورود محتویات سلول به حلال را تسریع می‌کند (Izadifar et al., 2019). به‌عنوان مثال، استخراج روغن از هسته انار با فراصوت، منجر به کاهش زمان استخراج و همچنین بازده استحصال بیشتر (بدون اثرگذاری بر ترکیب اسیدهای چرب) می‌گردد (Goula, 2013). استخراج روغن از مغز گردو با فراصوت باعث جلوگیری از واکنش‌های اکسیداسیون با کاهش عدد پراکسید و اسیدی شد (Rahbar et al., 2017). در استخراج روغن کنجد با فراصوت، وقتی که زمان و فرکانس افزایش یافت، کاهش مؤثری در میزان عدد اسیدی و پراکسید روی داد، البته زمان‌های بالاتر استفاده از فراصوت منجر به وقوع اکسیداسیون گردید (Ashjaee et al., 2018). استخراج روغن کانولا با فراصوت، منجر به افزایش درصد استخراج بدون تأثیر کمی و کیفی بر اسیدهای چرب شد (Samaram et al., 2013).

محققین نشان دادند در فرآیند فراصوت با پروپ پیرکس (نسبت به پروپ تیتانیوم)، میزان عدد پراکسید، عدد اسیدی و عدد دی‌ان مزدوج، افزایش می‌یابد (Pingret et al., 2013). با افزایش زمان تیمار فراصوت بر روغن آفتابگردان، شاخص‌های اکسایشی همچون عدد پراکسید افزایش یافت که علت آن را می‌توان به میزان بالای اسیدهای چرب چند غیراشباعی همچون اسید لینولئیک (که نسبت به اکسیداسیون حساس است) نسبت داد (Halim & Thoo, 2018). علاوه بر تأثیرات ذکر شده تأثیرات دیگری نیز مورد توجه می‌باشد. امروزه در روش‌های رنگبری نوین سعی بر آن است که با کاهش دما و زمان فرآیند رنگبری ضمن افزایش راندمان رنگبری و کاهش بیشتر رنگدانه‌های موجود در روغن (کلروفیل و کارتنوئید) کیفیت روغن در حد مطلوبی حفظ شود، که یکی از این روش‌ها بکارگیری فرآیند فراصوت می‌باشد. رنگبری روغن سویا با فراصوت منجر به کاهش زمان مقاومت به اکسیداسیون بدلیل خروج بیشتر ترکیبات آنتی اکسیدانی طبیعی روغن می‌گردد (Abedi et al., 2015). اعمال

فراصوت بر روغن آفتابگردان تصفیه شده، منجر به افزایش عدد پراکسید می‌شود (Chemat et al., 2004a).

تغییرات خصوصیات فیزیکی و شیمیایی روغن‌ها و چربی‌ها به منبع اولیه روغن‌ها و چربی‌ها (جانوری و گیاهی)، میزان اشباعیت و همچنین شرایط فرآیند فراصوت (زمان، شدت و قدرت) بستگی دارد. از طرف دیگر، در بسیاری از تحقیقات اثر فراصوت بر روغن‌ها زمانی ارزیابی می‌شود که این روغن‌ها به‌عنوان جزئی از غذا یا امولسیون‌های غذایی، بافت‌های گیاهی یا حیوانی و غیره هستند لذا سایر ترکیباتی که در کنار روغن قرار می‌گیرند، می‌توانند در طی اعمال فراصوت، دارای اثر محافظت‌کننده یا تخریب‌کننده بر روغن‌ها باشند. در نتیجه، با توجه به گستردگی منابع گیاهی و حیوانی همچنین میزان اشباعیت آنها، اطلاعات پایه کمی در مورد اثر فراصوت بر روغن‌ها (خصوصاً روغن‌های ذرت، سویا و ماهی) موجود است که این امر احتمالاً کاربرهای آتی فرآیند فراصوت را در روغن‌ها محدود می‌سازد. با توجه به مطالب فوق، هدف از این تحقیق بررسی تأثیر زمان فراصوت بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی روغن‌هایی با درجه‌های غیراشباعی مختلف (ماهی کِلکا، ذرت و سویا) بود.

مواد و روش‌ها

مواد

در ابتدا، روغن‌های تصفیه شده ذرت، سویا و ماهی قبل از افزودن هر نوع آنتی‌اکسیدان از کارخانه تهیه شد. کلیه مواد شیمیایی و حلال‌های مصرفی از شرکت‌های مرک آلمان و سیگما الدریج آمریکا خریداری شدند.

تیمار فراصوت

هر یک از روغن‌ها، به میزان ۱۰۰ میلی‌لیتر در بشر ۲۵۰ میلی‌لیتر ریخته شد و سپس توسط دستگاه فراصوت پروپ (مدل HD3200، شرکت باندلین، آلمان) با فرکانس ۲۰ کیلوهرتز و توان ۹۰ و پروپ KE 76 (۰/۷ ثانیه پالس روشن و ۰/۳ ثانیه پالس خاموش)، تحت تیمار در مدت زمان‌های مشخص (۰، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ دقیقه) قرار گرفت. دمای ۲۵ °C در طول مدت اعمال فراصوت به کمک سیرکولاتور با چرخش مداوم آب در بین دو جداره محفظه فراصوت دهی، حفظ شد.

عدد اسیدی

عدد اسیدی به روش تیتراسیون روغن محلول در حلال الکل-کلروفرم و در حضور معرف فنول فتالین با محلول هیدروکسید پتاسیم ۰/۱ نرمال و بر اساس استاندارد AOCS، به شماره Ca 5a-40 انجام شد (AOCS, 1998). برای تهیه پتاس الکل، ۵ تا ۱۰ گرم پتاس با

عدد اسید تیوباربیتوریک

عدد اسید تیوباربیتوریک بر اساس استاندارد AOCS به شماره Cd 19-90 انجام گردید (AOCS, 1998). ۲۰۰ میلی گرم نمونه به یک بالن حجمی ۲۵ میلی لیتری انتقال و با ۱-بوتانل به حجم رسانده شد. سپس بالن‌ها به مدت ۱ دقیقه همزده شد و ۵ میلی لیتر از محلول فوق به لوله‌های خشک درب دار منتقل و به آن ۵ میلی لیتر معرف اسید تیوباربیتوریک^۲ (TBA) اضافه شد. معرف TBA با استفاده از حل کردن ۲۰۰ میلی گرم پودر TBA در ۱۰۰ میلی لیتر حلال ۱-بوتانل آماده شد. لوله‌های درب دار در حمام آب با دمای ۹۵ درجه سلسیوس به مدت ۲ ساعت قرار گرفت. سپس مقدار جذب نمونه‌ها در ۵۳۰ نانومتر در مقابل شاهد خوانده شد. مقدار TBA بر حسب میلی گرم مالون دی آلدید در کیلوگرم براساس رابطه زیر محاسبه شد:

$$TBA\ value = \frac{50 \times (A_s - A_b)}{200} \quad (3)$$

As = میزان جذب نمونه در طول موج مذکور

Ab = میزان جذب شاهد در طول موج مذکور

عدد دی‌ان مزدوج

نمونه روغن به نسبت ۶۰:۱ با هگزان (گرم به میلی لیتر) رقیق شد. سپس جذب نمونه رقیق شده در طول موج ۲۳۴ نانومتر خوانده شد. جذب شاهد نیز با خواندن جذب هگزان به دست آمد. مقدار ترکیبات دی‌ان مزدوج از فرمول زیر محاسبه شد:

$$CDV = \frac{A \times 600 \times 1000}{29000} \quad (4)$$

که A جذب نمونه در طول موج ۲۳۴ نانومتر منهای جذب شاهد است. عدد ۶۰۰ رقت نمونه در هگزان و عدد ۲۹۰۰۰ ضریبی ثابت است (Saguy et al., 1996).

تعیین نوع اسیدهای چرب

ساختار اسید چرب نمونه روغن به وسیله کروماتوگرافی گاز-مایع^۳ تعیین شد و بر اساس درصد نسبی سطوح پیک‌ها گزارش شد. استرهای متیل اسیدهای چرب^۴ با اختلاط روغن در هگزان (۳/۰ گرم در ۷ میلی لیتر) با ۷ میلی لیتر هیدروکسید پتاسیم متانولی (۲ نرمال) در دمای ۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۱۰ دقیقه تهیه شدند. استر اسیدهای چرب با کروماتوگراف HP-5890 (هیولت-پاکارد، آمریکا) مجهز به ستون‌های مویینه CP-FIL88 شیشه‌ای سیلیکا (۶۰ متر طول، ۰/۲۲ میلی متر قطر داخلی، ۰/۲ میکرومتر ضخامت لایه داخلی) و آشکارساز یونی شعله‌ای^۵ شناسایی گردید. گاز نیتروژن به عنوان گاز

۱ تا ۱/۵ لیتر اتانول ۹۵ درصد مخلوط شد. مقداری فویل آلومینیوم ریز شده نیز به محلول اضافه گردید. سپس به مدت ۳۰ تا ۶۰ دقیقه در حمام آب جوش، عملیات رفلوکس کردن محلول صورت گرفت. پس از آن، الکل تقطیر و در ظرف شیشه‌ای تمیز جمع‌آوری شد و ۴۰ گرم هیدروکسید پتاسیم در یک لیتر الکل تقطیر شده، حل و محلول پتاس الکی حاصل شد. در مرحله بعد، ۱۰ گرم نمونه داخل ارلن مایر توزین و به آن ۵۰ میلی لیتر حلال اتانل الکل-کلروفرم (نسبت مساوی) اضافه گردید. سپس، نمونه با محلول پتاس الکی ۰/۱ نرمال در حضور معرف فنل فتالین تیتیر شد. عدد اسیدی از رابطه زیر بدست آمد:

$$Acid\ value = \frac{N \times V \times 56.1}{W} \quad (1)$$

که در آن W وزن نمونه (g)، V حجم محلول هیدروکسید پتاسیم (ml)، N نرمالیه محلول هیدروکسید پتاسیم می‌باشد.

عدد پراکسید

عدد پراکسید به روش تیتراسیون با استفاده از اسید استیک-کلروفرم طبق استاندارد AOCS (به شماره 8-53 Cd) انجام شد (AOCS, 1998). ۵ گرم روغن در ارلن مایر درب دار ۲۵۰ میلی لیتر ریخته و سپس به آن ۳۰ میلی لیتر محلول اسید استیک-کلروفرم (۳ قسمت استیک اسید+۲ قسمت کلروفرم) اضافه و سپس تکان داده شد. ۰/۵ میلی لیتر محلول اشباع یدور پتاسیم ۱۵٪ به آن اضافه گردید و ۱ دقیقه در مکان تاریک قرار گرفت. سپس در حالی که به شدت محلول تکان داده می‌شد، با محلول تیوسولفات سدیم ۰/۱ نرمال تیتیر شد تا رنگ زرد ناپدید گردد و در این موقع ۰/۵ میلی لیتر محلول نشاسته ۱٪ به آن اضافه و تیتیر ادامه یافت تا تغییر رنگ حاصل شود. عدد پراکسید بر اساس فرمول زیر بدست آمد:

$$Peroxide\ value = \frac{N \times V \times 1000}{W} \quad (2)$$

که در آن W وزن نمونه (g)، V حجم محلول تیوسولفات سدیم (ml)، N نرمالیه محلول تیوسولفات سدیم می‌باشد.

شاخص پایداری اکسایشی

برای اندازه‌گیری شاخص پایداری اکسایشی^۱ (OSI)، ۳ گرم نمونه در دستگاه رنسمت مدل ۷۴۳ (متروم، سوئیس) با دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس و سرعت جریان هوای ۱۵ لیتر بر ساعت قرار گرفت. در نهایت دوره القاء (ساعت) اکسیداسیون نمونه‌ها بدست آمد.

2- Thiobarbituric acid

3- Gas-liquid chromatography

4- Fatty acid methyl esters (FAME)

5- Flame-ionization detection (FID)

1- Oxidative stability index

حامل با سرعت جریان ۰/۷۵ میلی‌لیتر در دقیقه استفاده شد. دمای آون، بخش تزریق و آشکارساز به‌ترتیب ۱۹۸، ۲۸۰ و ۲۵۰ درجه سلسیوس بود.

آنالیز طیف سنجی مادون قرمز^۱ (FTIR)

آنالیز FTIR مربوط به نمونه‌های روغن با استفاده از دستگاه اسپکترومتر FT-IR (مدل ۵۷۰۰، نیکولت، آمریکا) متصل به دتکتور تری گلیسین سولفات دنا توره^۲ (DTGS) انجام شد.

رنگ‌سنجی

رنگ نمونه‌های روغن با استفاده از دستگاه لایویناند با مشخصات 51/4 Tintometer model F طبق استاندارد AOCS به شماره Cc 13e-92 انجام گرفت. شاخص‌های موردنظر a^* ، b^* و L^* بود (AOCS, 1998). تغییرات کلی رنگ (ΔE) طبق رابطه زیر محاسبه شد:

$$\Delta E = \sqrt{\Delta a^{*2} + \Delta b^{*2} + \Delta L^{*2}} \quad (۴)$$

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ و طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت. مقایسه میانگین‌های حاصل از سه تکرار با استفاده از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵٪ انجام گرفت.

نتایج و بحث

اثر زمان فراصوت بر خصوصیات شیمیایی روغن‌ها

جدول ۱، خصوصیات شیمیایی روغن‌های ذرت، سویا و ماهی همچون عدد اسیدی، عدد پراکسید، دوره القاء، عدد TBA و عدد دی‌ان مزدوج را نشان می‌دهد. در عدد اسیدی روغن‌های مورد بررسی، اختلاف معنی‌دار ($p < 0.05$) مشاهده شد به‌طوری‌که روغن ماهی با ۶۰ دقیقه فراصوت و روغن سویا شاهد به‌ترتیب بیشترین و کمترین عدد اسیدی را داشتند. نتایج نشان داد که افزایش زمان فراصوت منجر به افزایش اسیدهای چرب آزاد و در نتیجه روند صعودی عدد اسیدی در نمونه‌های روغن گردید. اسیدهای چرب آزاد جزء ترکیبات کم مقدار روغن‌ها بوده و با هیدرولیز تری‌گلیسریدها در روغن‌ها افزایش می‌یابند (Farahmandfar & Asnaashari, 2017). احتمالاً فراصوت با ایجاد کاویتاسیون و حرارت‌های نقطه‌ای، باعث شکستن پیوندهای استری و تخریب تری‌گلیسریدهای روغن می‌گردد (Chemat et al., 20102011 Virot et al., 20102011). مکانیسم اصلی امواج فراصوت به پدیده کاویتاسیون مربوط می‌شود که به موجب آن، حباب‌های بسیار ریزی در توده مایع تشکیل شده و به سرعت تا یک اندازه بحرانی

رشد می‌کنند و سپس منفجر می‌گردند. انفجار این حباب‌ها، اغلب با آزاد شدن مقدار زیادی انرژی همراه است که به شکل تنش برشی به محیط اطراف اعمال می‌شود. افزون بر این، انفجار حباب‌ها باعث ایجاد اغتشاشات شدید موضعی و تلاطم‌های گرداب گونه شده که از این طریق انتقال جرم را افزایش می‌دهد (Izadifar et al., 2019). شایان ذکر است که مطالعات انجام شده توسط محققان مختلف مشخص ساخته است که انفجار حباب‌ها در مجاورت ذرات جامد نامتقارن می‌باشد به‌طوری‌که موجب می‌شود جریانی از مایع با سرعت بسیار زیاد به سمت سطح ذرات کشیده شود. اصابت این میکروجت‌ها به سطح باعث سایش، شکستگی و تخریب آن می‌گردد (Izadifar et al., 2019). لازم به ذکر است که اسیدهای چرب آزاد منجر به کاهش کشش سطحی و در نتیجه افزایش نرخ انتقال اکسیژن در سطح روغن شده و در نهایت باعث تشدید اکسیداسیون روغن می‌گردند (Farahmandfar & Asnaashari, 2017). محققین گزارش دادند اعمال فراصوت بر روغن آفتابگردان باعث افزایش اسیدهای چرب آزاد می‌گردد (Chemat et al., 2004b). محققین مختلف دیگر نیز دریافته‌اند با افزایش زمان فراصوت، مقدار اسیدهای چرب آزاد روند صعودی به خود می‌گیرد (Moghipi et al., 2013; Pingret et al., 2013; al., 2018).

فراصوت باعث اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) در عدد پراکسید نمونه‌های روغن ذرت، سویا و ماهی شد به‌طوری‌که در روغن ذرت با ۴۰ دقیقه و در روغن سویا و ماهی با ۶۰ دقیقه فراصوت، بیشترین میزان عدد پراکسید مشاهده شد (جدول ۱). به‌طور کلی، افزایش زمان فراصوت منجر به افزایش عدد پراکسید نمونه‌ها گردید. عدد پراکسید جهت بررسی میزان هیدروپراکسیدها و پراکسیدهای حاصل از مرحله اول اکسیداسیون لیپیدها بکار می‌رود. روغن‌های دارای عدد پراکسید بالاتر ناپایدار بوده و سریع مورد تخریب قرار می‌گیرند. در اکسیداسیون لیپیدها، افزایش اولیه در میزان پراکسید هم راستا با تولید کم ترکیبات فرار انجام می‌شود (Farahmandfar & Asnaashari, 2017). افزایش در محصولات اولیه اکسیداسیون همراه با افزایش میزان عدد پراکسید نمونه‌ها می‌باشد، که احتمالاً "بدلیل تاثیر کاویتاسیون حاصل از فراصوت است (Chemat et al., 2004a). محققین دریافته‌اند کاویتاسیون از طریق افزایش دما، منجر به اکسیداسیون لیپیدها و در نتیجه باعث تولید رادیکال‌های آزاد و دیگر ترکیبات و لذا تخریب روغن می‌گردد (Chemat et al., 2004a; Hosseini et al., 2015). نتایج مشابه در زمینه تاثیر زمان فراصوت بر عدد پراکسید این پژوهش، موجود است (Pingret et al., 2013; Halim & Thoo, 2018).

شاخص پایداری اکسایشی (دوره القاء) عبارت است از مدت زمان لازم جهت گسترش تندی قابل اندازه‌گیری در روغن‌ها و چربی‌ها که می‌تواند به‌عنوان معیاری جهت مقایسه فساد روغن‌ها مورد استفاده قرار

1- Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR)
2- Deuterated triglycine sulfate

تحت فراصوت قرار می‌گیرد، تغییراتی در خصوصیات حسی و ارگانولپتیکی (توسعه طعم ماهی، آرومای فلزی و ...) بدون تغییر در حالت ظاهری روغن ایجاد می‌گردند (Chemat et al., 2004a).

جدول ۱ نشان داد که میزان عدد دی‌ان مزدوج در روغن‌های ذرت، سویا و ماهی به ترتیب در محدوده ۰/۲۴ الی ۱/۳۲، ۰/۱۹ الی ۰/۳۹ و ۶/۵۳ الی ۶/۸۱ درصد قرار داشت. نتایج نشان داد که روغن ماهی با ۶۰ دقیقه فراصوت و روغن سویا کنترل به ترتیب بیشترین و کمترین عدد دی‌ان مزدوج را داشتند. به طور کلی، افزایش زمان فراصوت موجب افزایش تبدیل ایزومریزاسیون دی‌ان غیرمزدوج به دی‌ان مزدوج شد. محققین نشان دادند رابطه مستقیمی میان عدد پراکسید و عدد دی‌ان مزدوج وجود دارد به طوری که تشکیل محصولات اولیه اکسیداسیون (پراکسید و دی‌ان مزدوج) با افزایش تیمار فراصوت، روند صعودی به خود می‌گیرد (Halim & Thoo, Pingret et al., 2013; Hosseini et al., 2015). این تغییرات در شاخص‌های اکسیداسیون تأیید می‌کند که فراصوت باعث افزایش سریع در محصولات اولیه اکسیداسیون می‌شود. فراصوت باعث پدیده کاویتاسیون می‌شود که در آن با فروپاشی حباب‌ها، نقاط داغ موضعی با دما و فشار بالا (به ترتیب °C ۵۰۰ و MPa ۵۰۰) به وجود می‌آیند. این شرایط باعث افزایش نیروهای برشی و رها سازی رادیکال‌های آزاد و در نتیجه تسریع اکسیداسیون می‌شود (Pandit et al., 2021).

اثر زمان فراصوت بر ساختار اسید چرب

ساختار اسید چربی روغن‌های مختلف را می‌توان بر اساس درجه غیراشباعی زنجیره هیدروکربنی به انواع اشباع^۱ (SFA) همچون اسید میریستیک (۱۴:۰)، اسید پالمیتیک (۱۶:۰)، اسید مارگاریک (۱۷:۰)، اسید استئاریک (۱۸:۰)، اسید آراشیدیک (۲۰:۰)، اسید بهنیک (۲۲:۰) و اسید لیگنوسریک (۲۴:۰) و غیراشباع^۲ (USFA) تقسیم کرد. اسیدهای چرب غیراشباع شامل اسیدهای چرب تک غیراشباع^۳ (MUFA) مانند اسید پالمیتولیک (۱۶:۱)، اسید اولئیک (۱۸:۱) و چند غیراشباع^۴ (PUFA) همچون اسید لینولئیک (۱۸:۲) و اسید آلفا-لینولئیک (۱۸:۳)، اسید ایکوزاپنتانویک^۵ (EPA) و اسید دوکوزاهگزانویک^۶ (DHA) بودند (Farahmandfar et al., 2018). روند تغییرات انواع اسیدهای چرب، اسید چرب اشباع، اسید چرب تک-غیراشباع، اسید چرب چندغیراشباع، اسید چرب غیراشباع، نسبت اسید چرب چندغیراشباع به اشباع، نسبت اسید چرب غیراشباع به اشباع،

گیرد. در آزمون رنسیمت، تشکیل اسیدهای آلی فرار ۱ الی ۳ کربنه (خصوصاً اسید فرمیک) در طی اکسایش حرارتی موجب تغییرات در هدایت الکتریکی می‌شود. هنگامی که هدایت الکتریکی به سرعت افزایش می‌یابد، نقطه پایان کار است و آن را به عنوان شاخص پایداری اکسایشی (OSI) و برحسب ساعت گزارش می‌دهند. آزمون رنسیمت در دماهای مختلفی (۱۰۰ تا ۱۴۰ درجه سلسیوس) انجام می‌شود. در بین ویژگی‌های کیفی روغن‌ها و چربی‌های خوراکی، پایداری اکسایشی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. آزمون‌های تسریع شده بررسی پایداری اکسایشی، سرعت فرآیندهای اکسایشی طبیعی را افزایش می‌دهند و ابزار کنترل کیفی مهمی برای تعیین عمر انباری محصول می‌باشند (Farahmandfar & Asnaashari, 2017; Farahmandfar et al., 2018). نتایج **جدول ۱**، نشان داد که اختلاف معنی‌داری در شاخص پایداری اکسایشی نمونه‌ها وجود دارد ($P < 0.05$). میزان دوره القاء در روغن‌های ذرت، سویا و ماهی به ترتیب در محدوده ۲۰/۱۵ الی ۱۸/۴۰ ساعت، ۱۴/۱۴ الی ۱۲/۶۵ ساعت و ۱/۱۳ الی ۰/۴۴ ساعت بود. در هر روغن، نمونه‌های کنترل بیشترین و نمونه‌های ۶۰ دقیقه فراصوت‌دهی شده کمترین دوره القاء را از خود نشان دادند به طوری که می‌توان گفت با افزایش مدت زمان فراصوت، میزان اسیدهای آلی فرار افزایش و در نتیجه میزان دوره القاء به شدت کاهش می‌یابد ($P < 0.05$). محققین گزارش دادند با افزایش دامنه فراصوت بر روغن‌های زیتون، آفتابگردان، کنجد و تالو اولئین، میزان دوره القاء کاهش می‌یابد (Hosseini et al., 2015).

پیشرفت اکسیداسیون لیپیدها با عدد TBA سنجیده می‌شود و همچنین عدد TBA و عدد پراکسید در زمینه بررسی کیفی لیپیدها در سیستم‌های غذایی جهت کنترل اکسیداسیون دارای اهمیت زیادی می‌باشند. عدد TBA به منظور بررسی تخریب روغن‌ها به محصولات ثانویه اکسیداسیون به کار می‌رود. مهمترین ترکیب فعال در زمینه عدد TBA، مالون‌دی‌آلدئید است بطوری که این آلدئید مربوط به تولیدات محصولات ثانویه اکسیداسیون می‌باشد (Farahmandfar & Asnaashari, 2017). **جدول ۱** نشان داد که اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) در عدد TBA نمونه‌ها وجود دارد و روغن ماهی تیمار شده به مدت ۶۰ دقیقه (۱/۶۲ mg/kg) بیش‌ترین و روغن ذرت شاهد (۰/۰۹ mg/kg) کمترین مقدار TBA را به خود اختصاص داد. مدت اعمال فراصوت منجر به افزایش میزان عدد TBA نمونه‌ها شد که علت آن را می‌توان بر تأثیرات فراصوت بر اکسیداسیون روغن‌ها نسبت داد. محققین اثرات مشابه فراصوت بر محصولات ثانویه اکسیداسیون روغن آفتابگردان (Pingret et al., 2013) و روغن دانه کدو تنبل (Hernández-Santos et al., 2016) را گزارش دادند. احتمالاً حضور آلدئیدها باعث بدطعمی و بدبویی در روغن‌ها می‌گردد (Halim & Thoo, 2018). محققین دریافتند وقتی روغن آفتابگردان

1- Saturated fatty acids

2- Unsaturated fatty acid

3- Monounsaturated fatty acid

4- Polyunsaturated fatty acid

5- Eicosapentaenoic acid

6- Docosahexaenoic acid

چرب چند غیراشباع ۱۸ کربنه شامل اسید لینولئیک و اسید لینولئیک در اثر پدیده کاویتاسیون حین فرآیند اولتراسوند، تخریب می‌شوند. از طرف دیگر، به دلیل حساسیت اسیدهای چرب غیراشباع بلند زنجیر به اکسایش، روغن ماهی در فرآیند اولتراسوند بیش از سایر روغن‌ها مستعد تخریب است و ارزش تغذیه‌ای بالایی که به سبب این اسیدهای چرب ارزشمند دارد، کاهش می‌یابد. حسینی و همکاران (Hosseini et al., 2015) به بررسی فرآیند اولتراسوند بر روغن زیتون، کنجد و اولئین پیه گاو پرداختند و به نتایج مشابهی دست یافتند. همچنین، گات و همکاران (Gutte et al., 2015) نیز از فرآیند اولتراسوند برای استخراج روغن بذر کتان استفاده کردند. نتایج حاصل حاکی از آن بود که استخراج با فرآیند اولتراسوند موجب کاهش اسید پالمیتیک و اسید استئاریک شد، درحالی‌که در سایر اسیدهای چرب اشباع تغییری مشاهده نگردید. همچنین، اسیدهای چرب تک غیراشباع و چند غیراشباع در اثر تیمار اولتراسوند افزایش یافتند.

FTIR

طیف‌سنجی FTIR یک روش سریع و غیر مخرب با حداقل زمان آماده‌سازی نمونه است و به‌عنوان یک روش مؤثر تحلیلی، برای کنترل وضعیت اکسایشی روغن‌ها کاربرد دارد. به‌عبارتی دیگر، این آزمون به‌عنوان ابزاری تشخیصی مؤثر جهت شناسایی گروه‌های عاملی مطابق با فرکانس ارتعاش طبیعی اتم‌های یک پیوند است (Valand et al., 2020; Peer et al., 2017). طیف‌های FTIR سه نمونه روغن ذرت، سویا و ماهی پیش‌تیمار شده با فرآیند فراصوت در مدت زمان ۲۰، ۳۰ و ۶۰ دقیقه در دامنه عدد موج $3650-650\text{ cm}^{-1}$ در شکل ۱ نشان داده شده است. هر سه نمونه روغن (ذرت، سویا و ماهی) نوارهای جذبی IR ناشی از ارتعاش‌های کششی مولکولی در نواحی 1096 cm^{-1} و 1163 cm^{-1} (ارتعاشات کششی پیوند C-O یا C-O-C (نشان‌دهنده حضور هیدروکربن‌های آلیفاتیک))، ناحیه 1461 cm^{-1} (ارتعاشات کششی پیوند C-H (به شکل گروه‌های متیل CH_3 - و متیلن CH_2 -))، ناحیه 1745 cm^{-1} (ارتعاشات گروه کربونیل C=O (نشان‌دهنده ارتعاشات کششی استرهای لیپیدی)) و نواحی 2852 ، 2923 و 3009 cm^{-1} نشان‌دهنده حضور ارتعاشات کششی متقارن پیوند C-H به شکل گروه‌های متیل CH_3 - در اسیدهای چرب را از خود نشان دادند. مطابق گزارش محققین (Valand et al., 2020)، پلی‌مورفسم لیپید را می‌توان در دامنه عدد موج کوتاه تجزیه و تحلیل کرد. پلی‌مورفسم لیپید در هر سه روغن ذرت، سویا و ماهی در نواحی 1096 cm^{-1} و 1163 cm^{-1} تحت تأثیر ارتعاشات کششی متقارن به شکل حلقه‌های مختلف شش ضلعی بود. نتایج حاصل از تجزیه مؤلفه‌های اصلی ناحیه طیفی IR و ارتعاشات کششی مولکول هر سه نمونه روغن ذرت، سویا و ماهی وجود همپوشانی نوارهای جذبی IR به دلیل شباهت ساختاری شیمیایی (اسید لینولئیک (C=O)، اسید لینولئیک

نسبت اسید چرب تک‌غیراشباع به چندغیراشباع و عدد کوکس^۱ روغن‌های سویا، ذرت و ماهی طی اعمال فراصوت در جدول‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. در بررسی اسیدهای چرب روغن‌ها مشاهده شد که در روغن ذرت، اسید لینولئیک (۴۹/۷۴ درصد)، اسید اولئیک (۳۳/۵۱ درصد)، اسید پالمیتیک (۱۲/۰۰ درصد) و اسید استئاریک (۲/۱۰ درصد) و در روغن سویا، اسید لینولئیک (۵۱/۸۰ درصد)، اسید اولئیک (۲۵/۲۰ درصد)، اسید پالمیتیک (۹/۴۰ درصد) و اسید لینولئیک (۵/۱۳ درصد) و در روغن ماهی، اسید اولئیک (۲۶/۴۲ درصد)، اسید پالمیتیک (۱۸/۰۰ درصد)، اسید پالمیتولئیک (۹/۲۱ درصد)، DHA (۷/۵۱ درصد) و EPA (۷/۲۰ درصد) بیشترین فراوانی اسیدهای چرب را به خود اختصاص دادند. ساختار نمونه‌های مورد مطالعه مطابق با مقالات محققین بود (Nasari et al., 2013; Kim et al., 2010; Najafi et al., 2012; Nosratpour et al., 2017). تفاوت در اسید پالمیتیک، اسید استئاریک، اسید اولئیک، اسید لینولئیک، اسید لینولئیک و غیره روغن‌های ذرت، سویا و ماهی وجود داشت. روغن سویا دارای بیشترین میزان اسید استئاریک، اسید لینولئیک، اسید لینولئیک، PUFA، PUFA/SFA، USFA/SFA و عدد کوکس و روغن ذرت دارای بیشترین اسید اولئیک و USFA بود. از طرف دیگر، اسید پالمیتیک، اسید پالمیتولئیک، EPA، DHA و شاخص SFA و MUFA در روغن ماهی بیشتر از سایر روغن‌های مورد بررسی بود. نتایج نشان داد که فراصوت بر ترکیب روغن‌های ذرت، سویا و ماهی تأثیرگذار است، به‌طوری‌که پس از ۶۰ دقیقه اعمال فراصوت در روغن‌های ذرت و سویا، میزان اسید لینولئیک، اسید اولئیک، اسید پالمیتیک، اسید استئاریک و اسید لینولئیک به ترتیب کاهش، افزایش، افزایش، افزایش و کاهش یافت. در روغن ماهی، میزان اسید اولئیک، اسید پالمیتیک، اسید پالمیتولئیک، اسید لینولئیک، EPA و DHA به ترتیب افزایش، افزایش، کاهش، کاهش و کاهش یافت. پایداری اکسایشی روغن به عوامل مختلفی همچون حرارت، فشار اکسیژن، فلزات سنگین (یون‌های آهن و مس)، ترکیبات آهن‌دار (هموگلوبین و میوگلوبین)، سطح تماس، ساختار شیمیایی و غیره وابسته است و غیراشباعیت روغن‌ها عامل مهمی در پیشرفت سرعت اکسایش محسوب می‌گردد (Johnson & Decker, 2015). اسید لینولئیک و اسید آلفا-لینولئیک به ترتیب با داشتن دو و سه پیوند دوگانه، درجه‌های غیراشباعی بالایی دارند لذا می‌توانند شاخص‌های PUFA، PUFA/SFA، USFA/SFA، MUFA/SFA و شاخص کوکس را تحت تأثیر قرار دهند.

اسید لینولئیک و اسید آلفا-لینولئیک با افزایش مدت زمان فراصوت، روند نزولی به خود گرفتند. لذا PUFA، USFA و شاخص کوکس نیز کاهش یافتند. این بدان معنا است که در اثر اکسایش، مقدار اسیدهای

1- Cox value

در نتیجه پیک‌ها و طیف‌ها مربوط به تری گلیسریدها می‌باشند که در نتیجه نتایج مربوط به شباهت دو نمونه روغن (هم‌پوشانی طیف‌ها) می‌تواند دلیل شباهت ساختار شیمیایی در روغن‌ها می‌باشد که در این زمینه می‌توان به شباهت ترکیب اسیدهای چرب روغن‌ها اشاره کرد. برخی پژوهش‌ها نتایج مشابهی با این تحقیق داشته‌اند (Sherazi et al., 2009; Xu et al., 2015).

(C=O)، اولئیک (C-H) و پالمیتیک (C-H) به شکل گروه‌های متیل - CH₃ و متیلن (-CH₂) و ترکیب اسید چرب (تری‌آسیل‌گلیسرول) روغن‌ها را نشان داد. تفاوت‌ها و شباهت‌های منسجم در طیف‌های IR به ترکیبات مختلف اجزاء دو روغن نسبت داده شدند که عمدتاً از تری‌آسیل‌گلیسرول تشکیل شده است (Valand et al., 2020; Jamwal et al., 2020). روهمن و من (Rohman & Man, 2010) دریافتند تری‌گلیسریدها اجزای مهم در روغن‌ها و چربی‌ها می‌باشند.

جدول ۱- تأثیر فراصوت بر شاخص‌های اکسیداسیون روغن‌های خوراکی مختلف
Table 1- Effect of ultrasound on the oxidation indices of different edible oils

روغن Oil	زمان Time (min)	عدد اسیدی Acid value (mg/g)	عدد پراکسید Peroxide value (meq O ₂ /kg)	دوره القاء Induction period (h)	عدد TBA TBA number (mg/kg)	دی‌ان مزدوج Conjugated diene (%)
ذرت Corn	Control	0.29 ± 0.04 f	3.21 ± 0.25 e	20.15 ± 0.01 a	0.09 ± 0.00 f	0.24 ± 0.01 i
	20	0.31 ± 0.05 e	3.45 ± 0.50 e	19.14 ± 0.00 b	0.17 ± 0.10 f	0.31 ± 0.01 g
	40	0.33 ± 0.05 d	11.31 ± 0.42 a	18.80 ± 0.00 c	0.42 ± 0.46 c	1.32 ± 0.00 d
	60	0.34 ± 0.06 d	7.39 ± 0.54 c	18.40 ± 0.02 d	0.48 ± 0.00 c	1.15 ± 0.00 e
سویا Soybean	Control	0.27 ± 0.00 g	2.44 ± 0.51 f	14.14 ± 0.00 e	0.19 ± 0.00 f	0.19 ± 0.00 j
	20	0.29 ± 0.01 f	2.99 ± 0.49 f	13.49 ± 0.01 f	0.24 ± 0.01 e	0.24 ± 0.00 i
	40	0.32 ± 0.01 d	3.67 ± 0.25 e	12.87 ± 0.01 g	0.30 ± 0.03 d	0.28 ± 0.00 h
	60	0.34 ± 0.02 d	4.99 ± 0.00 d	12.65 ± 0.00 h	0.38 ± 0.06 c	0.39 ± 0.00 f
ماهی Fish	Control	2.32 ± 0.02 c	2.46 ± 0.49 f	1.13 ± 0.02 i	0.64 ± 0.00 b	6.53 ± 0.04 b
	20	2.38 ± 0.01 b	4.30 ± 0.57 d	0.75 ± 0.02 j	1.12 ± 0.35 b	6.53 ± 0.00 c
	40	2.42 ± 0.00 a	9.95 ± 0.97 b	0.55 ± 0.03 k	1.44 ± 0.52 a	6.62 ± 0.03 b
	60	2.45 ± 0.00 a	11.93 ± 0.01 a	0.44 ± 0.01 k	1.62 ± 0.50 a	6.81 ± 0.05 a

* عدد TBA = عدد اسید تیوباربتوریک

* حروف کوچک مشابه در هر ستون، نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است (p < 0.05).

* TBA number = Thiobarbituric acid number

* Similar lowercase letters in each column indicate the absence of significant differences (p < 0.05).

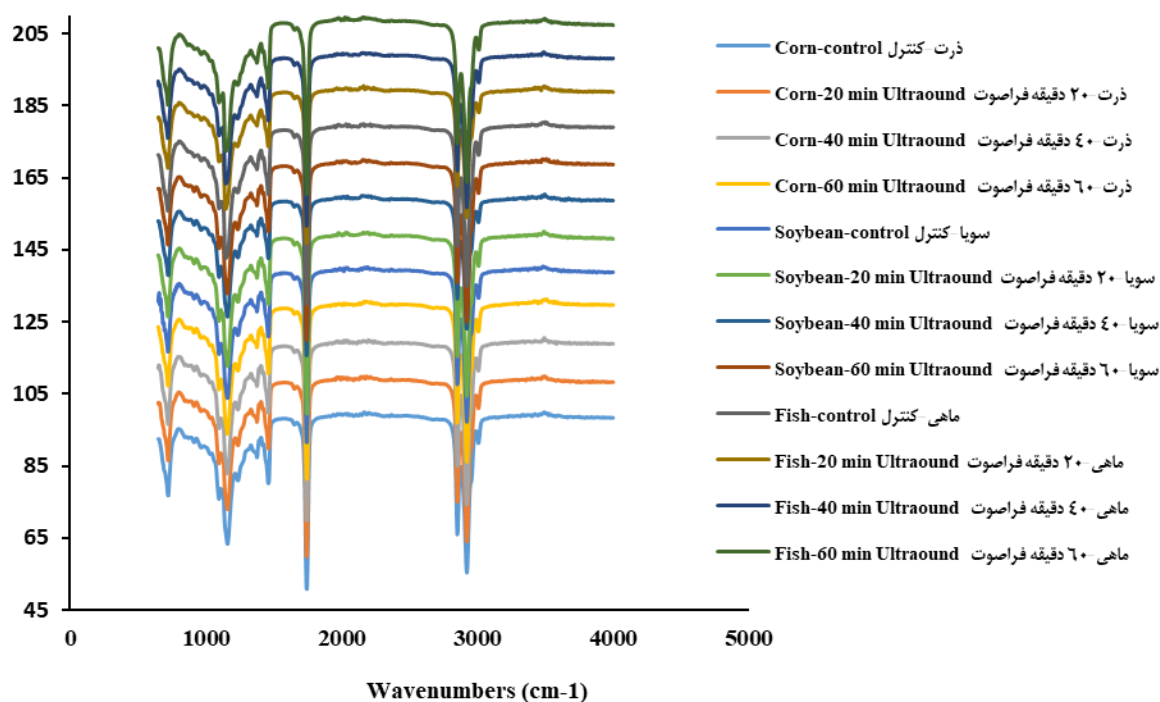
جدول ۲- تأثیر فراصوت بر ترکیب اسیدهای چرب روغن‌های خوراکی مختلف
Table 2- The effect of ultrasound on the composition of fatty acids of different edible oils

روغن Oil	ذرت Corn				سویا Soybean				ماهی Fish			
	0	20	40	60	0	20	40	60	0	20	40	60
Fatty acid												
اسیدچرب												
C 16:0	12.00	12.57	12.81	12.93	9.40	10.47	10.30	11.00	18.00	18.04	18.15	18.32
C 16:1									9.21	9.20	8.70	8.44
C 18:0	2.10	2.08	2.32	2.43	3.85	3.87	3.87	4.32	1.90	2.14	2.12	2.13
C 18:1	33.51	33.86	35.75	35.73	25.20	25.36	26.14	26.62	26.42	27.13	27.84	28.33
C 18:2	49.74	48.91	47.59	47.66	51.80	50.88	50.02	49.68	8.23	8.01	7.59	6.86
C 18:3	1.31	1.12	0.80	0.62	5.13	4.76	4.43	3.95	2.15	2.01	1.90	1.72
C 20:5 (EPA)									7.20	6.61	6.25	5.88
C 22:6 (DHA)									7.51	6.43	5.98	5.36

جدول ۳- تأثیر فراصوت بر شاخص‌های اسیدچربی روغن‌های خوراکی مختلف
Table 3- Effect of ultrasound on the fatty acid indices of different edible oils

روغن Oil	ذرت Corn				سویا Soybean				ماهی Fish			
Time (min) زمان	0	20	40	60	0	20	40	60	0	20	40	60
SFA	14.71	15.35	15.60	15.87	14.32	15.31	15.18	16.34	23.70	25.02	25.16	25.71
MUFA	33.71	33.87	35.85	35.85	25.28	25.44	26.22	26.71	35.63	36.33	36.54	36.77
PUFA	51.05	50.03	48.39	48.28	56.93	55.64	54.45	53.63	29.59	27.61	26.21	24.27
USFA	84.76	83.90	84.24	84.13	82.21	81.08	80.67	80.34	65.22	63.94	62.75	61.04
PUFA/SFA	3.47	3.26	3.10	3.04	3.98	3.63	3.59	3.28	1.25	1.10	1.04	0.94
USFA/SFA	5.76	5.47	5.40	5.30	5.74	5.30	5.31	4.92	2.75	2.56	2.49	2.37
Cox value	5.74	5.62	5.43	5.40	6.70	6.52	6.37	6.24	1.58	1.53	1.47	1.36

* SFA = saturated fatty acid, MUFA = monounsaturated fatty acid, PUFA = polyunsaturated fatty acid, USFA = unsaturated fatty acid
SFA = اسید چرب اشباع، MUFA = اسید چرب تک غیراشباع، PUFA = اسید چرب چند غیراشباع، USFA = اسید چرب غیراشباع



شکل ۱- تأثیر فراصوت بر اسپکتروسکوپی FTIR روغن‌های ذرت، سویا و ماهی
Fig. 1. Effect of ultrasound on FTIR spectroscopy of corn, soybean and fish oils

می‌باشند و در تحقیقات علمی از آنها استفاده می‌شود (Xu et al., 2015). جدول ۴، شدت رنگ نمونه‌های روغن‌های ذرت، سویا و ماهی را تحت تیمار زمانی فراصوت نشان می‌دهد. اختلاف معنی‌داری در نمونه‌های روغن سویا و ماهی مشاهده گردید ($P < 0.05$) و تغییرات شاخص‌های رنگی در زمان‌های مختلف فراصوت روند یکسواختی نداشت. مقدار L^* ، در روغن ذرت فراصوت ۴۰ دقیقه بیشترین (۱۶/۰۹) و کنترل کمترین (۱۲/۹۹)، در روغن سویا فراصوت

فضای رنگی L^* ، a^* و b^* ، مدلی است که توسط کمیسیون بین‌المللی روشنایی نور (CIE^1) در سال ۱۹۷۶ و برای توصیف رنگ‌های قابل مشاهده توسط چشم مورد تأیید قرار گرفت. در این مدل رنگی، L^* بیان‌کننده روشنایی (بین صفر تا ۱۰۰)، a^* (+ قرمزی، - a^* سبزی) و b^* (+ زردی، - b^* آبی) در محدوده ۱۲۰- الی ۱۲۰+

1- International commission of Illumination

ΔE نسبت به نمونه‌های شاهد شد ($P < 0.05$). احتمالاً فراصوت موجب تخریب و ایزومریزاسیون باند‌های دوگانه رنگدانه‌ها و در نتیجه تغییرات در شاخص‌های رنگی می‌گردد (Pingret et al., 2013; Yong et al., 2018).

۲۰ دقیقه بیشترین ($15/05$) و فراصوت ۴۰ دقیقه کمترین ($13/55$) و در روغن ماهی فراصوت ۲۰ دقیقه بیشترین ($15/81$) و فراصوت ۲۰ دقیقه کمترین ($12/43$) بدست آمد. به‌طور مشخص، فراصوت باعث افزایش L^* (روشنایی بیشتر) روغن ذرت، کاهش a^* (سبزی بیشتر) روغن سویا، افزایش b^* (زردی بیشتر) روغن‌های ذرت و سویا کاهش

جدول ۴- تأثیر فراصوت بر شاخص‌های رنگی روغن‌های خوراکی مختلف
Table 4- Effect of ultrasound on the color indices of different edible oils

روغن Oil	زمان Time (min)	شاخص‌های رنگی Color indicators			ΔE
		L^*	a^*	b^*	
ذرت Corn	Control	12.99 ± 0.00 e	-1.04 ± 0.15 e	0.99 ± 0.33 e	0.74 ± 0.07 c
	20	14.38 ± 0.50 c	-0.80 ± 0.05 d	1.09 ± 0.08 d	0.59 ± 0.16 c
	40	16.09 ± 0.24 a	-0.90 ± 0.24 d	1.44 ± 0.01 c	0.36 ± 0.13 e
	60	15.26 ± 0.63 b	-1.04 ± 0.52 e	1.44 ± 0.06 c	0.90 ± 0.16 b
سویا Soybean	Control	14.72 ± 0.02 c	-0.49 ± 0.41 a	1.21 ± 0.17 d	0.67 ± 0.14 c
	20	15.05 ± 0.15 b	-0.71 ± 0.58 d	1.12 ± 0.09 d	0.65 ± 0.16 c
	40	13.55 ± 0.04 d	-0.79 ± 0.07 d	1.61 ± 0.72 b	0.92 ± 0.14 b
	60	13.58 ± 0.60 d	-0.94 ± 0.34 d	1.62 ± 0.21 b	0.66 ± 0.09 c
ماهی Fish	Control	13.82 ± 1.14 d	-1.25 ± 0.02 e	3.01 ± 0.09 a	1.12 ± 0.16 a
	20	15.81 ± 0.01 b	0.35 ± 0.21 a	1.31 ± 0.08 c	0.59 ± 0.07 c
	40	12.99 ± 0.26 e	0.07 ± 0.22 b	1.75 ± 0.19 b	0.37 ± 0.28 e
	60	12.43 ± 0.04 f	-0.48 ± 0.33 c	3.66 ± 0.67 a	0.51 ± 0.09 d

* L^* نشان‌دهنده روشنایی، a^* نشان‌دهنده قرمزی/سبزی، b^* نشان‌دهنده زردی/آبی می‌باشد.

* حروف کوچک مشابه در هر ستون، نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است ($P < 0.05$).

* L^* indicates brightness, a^* indicates redness/greenness, b^* indicates yellowness/blueness.

* Similar lowercase letters in each column indicate the absence of significant differences ($P < 0.05$).

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد فراصوت به‌عنوان فرآیندی نوین موجب تغییرات خصوصیات فیزیکی و شیمیایی روغن‌های غیراشباع می‌گردد. به‌طور کلی، تیمار فراصوت از طریق پدیده کاویتاسیون موجب تشدید سرعت اکسیداسیون و تخریب روغن‌ها گردید. فراصوت باعث شکستن پیوندهای استری و تخریب تری‌گلیسریدهای روغن و در نتیجه افزایش اسیدهای چرب آزاد شد. از طرف دیگر، تشکیل محصولات اولیه اکسیداسیون همچون پراکسیدها و ترکیبات دی‌ان مزدوج، محصولات ثانویه اکسیداسیون (مثل آلدهیدها و بالارفتن شاخص TBA) و محصولات ثالث اکسیداسیون (در نتیجه کاهش OSI) با افزایش تیمار فراصوت، روند صعودی به خود گرفت. از دیدگاه ساختار اسید چرب، فراصوت موجب افزایش اسید پالمیتیک، اسید استئاریک، اسید اولئیک و کاهش اسید لینولئیک، اسید لینولنیک (و اسید پالمیتولئیک، اسید ایکوزاپنتانویک و اسید دوکوزاهگزانویک در روغن ماهی) در روغن‌های ذرت، سویا و ماهی شد. فراصوت باعث تغییر محسوسی در ساختار شیمیایی (با FTIR) نشد ولی توانست برخی از شاخص‌های رنگی را تغییر دهد. در این مطالعه، اثر فراصوت

به‌صورت محدود (فقط در حد زمان فراصوت) بررسی شده است، در حالی‌که با تغییر بقیه متغیرها شاید بتوان به شرایطی رسید که فراصوت اثر تخریبی خیلی کمی داشته باشد. فراصوت می‌تواند باعث تخریب روغن‌ها گردد و درجه تخریب آن به عواملی همچون زمان فراصوت و نوع روغن بستگی دارد. بنابراین، شرایط فراصوت در فرآوری روغن باید بهینه‌سازی شود تا علاوه بر کمک به راندمان و هدفی که آن فرآیند دارد، کمترین آسیب به روغن وارد شود.

میزان مشارکت

رضا فرهمندفر: مدیریت پروژه و داده‌ها، نوشتن-بررسی و ویرایش، نظارت، سمانه فرقانی: انجام آزمایشات

منابع تأمین مالی

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به‌دلیل پشتیبانی از این پژوهش در قالب طرح تحقیقاتی مصوب با شماره طرح ۲۸-۱۳۹۹-۰۲ تشکر و قدردانی به عمل آورند.

References

1. Abedi, E., Sahari, M.A., Barzegar, M., & Azizi, M.H. (2015). Optimisation of soya bean oil bleaching by ultrasonic processing and investigate the physico- chemical properties of bleached soya bean oil. *International Journal of Food Science & Technology*, 50(4), 857-863. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12689>
2. AOCS, O. (1998). Methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society. *American Oil Chemists' Society, Champaign, IL, USA*.
3. Ashjaee, E., Eshaghi, M.R., Asadollahi, S. (2018). Application of ultrasonic pretreatment in extraction of oil from Sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds and its physicochemical characteristics. *Food Science and Technology*, 14(73), 61-70. (In Persian)
4. Bhargava, N., Mor, R.S., Kumar, K., & Sharanagat, V.S. (2021). Advances in application of ultrasound in food processing: A review. *Ultrasonics sonochemistry*, 70, 105293. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105293>
5. Chemat, F., Grondin, I., Costes, P., Moutoussamy, L., Sing, A.S.C., & Smadja, J. (2004a). High power ultrasound effects on lipid oxidation of refined sunflower oil. *Ultrasonics Sonochemistry*, 11(5), 281-285. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2003.07.004>
6. Chemat, F., Grondin, I., Sing, A.S.C., & Smadja, J. (2004b). Deterioration of edible oils during food processing by ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry*, 11(1), 13-15. [https://doi.org/10.1016/S1350-4177\(03\)00127-5](https://doi.org/10.1016/S1350-4177(03)00127-5)
7. Chemat, F., & Khan, M.K. (2011). Applications of ultrasound in food technology: processing, preservation and extraction. *Ultrasonics sonochemistry*, 18(4), 813-835. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2010.11.023>
8. Farahmandfar, R., Amini, A., Faghih Nasiri, S., & Asnaashari, M. (2018). Influence of *Mentha piperita* L. extract in the quality of soybean oil during microwave heating. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 15(75), 201-16. (In Persian)
9. Farahmandfar, R., & Asnaashari, M. (2017). *Comprehensive chemistry and technology of edible oils*. Sahra press. (In Persian)
10. Gallo, M., Ferrara, L., & Naviglio, D. (2018). Application of ultrasound in food science and technology: A perspective. *Foods*, 7(10), 164. <https://doi.org/10.3390/foods7100164>
11. Goula, A.M. (2013). Ultrasound-assisted extraction of pomegranate seed oil–Kinetic modeling. *Journal of Food Engineering*, 117(4), 492-498. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.10.009>
12. Gutte, K.B., Sahoo, A.K., & Ranveer, R.C. (2015). Effect of ultrasonic treatment on extraction and fatty acid profile of flaxseed oil. *OCL*, 22(6), D606. <https://doi.org/10.1051/ocl/2015038>
13. Halim, H.H., & Thoo, Y.Y. (2018). Effect of ultrasound treatment on oxidative stability of sunflower oil and palm oil. *International Food Research Journal*, 25(5), 1959-1967.
14. Hernández-Santos, B., Rodríguez-Miranda, J., Herman-Lara, E., Torruco-Uco, J.G., Carmona-García, R., Juárez-Barrientos, J.M., Chávez-Zamudio, R., & Martínez-Sánchez, C.E. (2016). Effect of oil extraction assisted by ultrasound on the physicochemical properties and fatty acid profile of pumpkin seed oil (*Cucurbita pepo*). *Ultrasonics Sonochemistry*, 31, 429-436. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.01.029>
15. Hosseini, S., Gharachorloo, M., Tarzi, B.G., Ghavami, M., & Bakhoda, H. (2015). Effects of ultrasound amplitude on the physicochemical properties of some edible oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 92(11-12), 1717-1724. <https://doi.org/10.1007/s11746-015-2733-1>
16. Izadifar, Z., Babyn, P., & Chapman, D. (2019). Ultrasound cavitation/microbubble detection and medical applications. *Journal of Medical and Biological Engineering*, 39(3), 259-276. <https://doi.org/10.1007/s40846-018-0391-0>
17. Jamwal, R., Kumari, S., Balan, B., Dhaulaniya, A.S., Kelly, S., Cannavan, A., & Singh, D.K. (2020). Attenuated total Reflectance–Fourier transform infrared (ATR–FTIR) spectroscopy coupled with chemometrics for rapid detection of argemone oil adulteration in mustard oil. *Lwt*, 120, 108945. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108945>
18. Johnson, D.R., & Decker, E.A. (2015). The role of oxygen in lipid oxidation reactions: a review. *Annual Review of Food Science and Technology*, 6, 171-190. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-022814-015532>
19. Kim, J., Kim, D.N., Lee, S.H., Yoo, S.H., & Lee, S. (2010). Correlation of fatty acid composition of vegetable oils with rheological behaviour and oil uptake. *Food Chemistry*, 118(2), 398-402. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.05.011>
20. Lee, J., & Martini, S. (2019). Modifying the physical properties of butter using high-intensity ultrasound. *Journal of Dairy Science*, 102(3), 1918-1926. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15075>
21. Moghimi, M., Farzaneh, V., & Bakhshabadi, H. (2018). The effect of ultrasound pretreatment on some selected physicochemical properties of black cumin (*Nigella sativa*). *Nutrire*, 43(1), 1-8. <https://doi.org/10.1186/s41110-018-0077-y>
22. Najafi, M.H., Zeinoaldini, S., Ganjkanlou, M., Mohammadi, H., Hopkins, D.L., & Ponnampalam, E.N. (2012). Performance, carcass traits, muscle fatty acid composition and meat sensory properties of male Mahabadi goat kids fed palm oil, soybean oil or fish oil. *Meat Science*, 92(4), 848-854. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.07.012>

23. Naseri, M., Abedi, E., Mohammadzadeh, B., & Afsharnaderi, A. (2013). Effect of frying in different culinary fats on the fatty acid composition of silver carp. *Food Science & Nutrition*, 1(4), 292-297. <https://doi.org/10.1002/fsn3.40>
24. Nosratpour, M., Farhoosh, R., & Sharif, A. (2017). Quantitative indices of the oxidizability of fatty acid compositions. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 119(12), 1700203. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201700203>
25. Pandit, A.V., Sarvothaman, V.P., & Ranade, V.V. (2021). Estimation of chemical and physical effects of cavitation by analysis of cavitating single bubble dynamics. *Ultrasonics Sonochemistry*, 77, 105677. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105677>
26. Patrick, M., Blindt, R., & Janssen, J. (2004). The effect of ultrasonic intensity on the crystal structure of palm oil. *Ultrasonics Sonochemistry*, 11(3-4), 251-255. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2004.01.017>
27. Peer, M.S., Kasimani, R., Rajamohan, S., & Ramakrishnan, P. (2017). Experimental evaluation on oxidation stability of biodiesel/diesel blends with alcohol addition by rancimat instrument and FTIR spectroscopy. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 31(1), 455-463. <https://doi.org/10.1007/s12206-016-1248-5>
28. Pingret, D., Fabiano-Tixier, A.S., & Chemat, F. (2013). Degradation during application of ultrasound in food processing: A review. *Food Control*, 31(2), 593-606. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.11.039>
29. Rahbar, F., Aboonajmi, M., Khazaei, J., & Rajaei, P. (2017). The effect of ultrasound wave on the physico-chemical properties of walnut oil. *Innovative Food Technologies*, 5(1), 39-47. <https://doi.org/10.22104/jift.2017.450>
30. Rohman, A., & Man, Y.C. (2010). Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy for analysis of extra virgin olive oil adulterated with palm oil. *Food Research International*, 43(3), 886-892. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.12.006>
31. Saguy, I.S., Shani, A., Weinberg, P., & Garti, N. (1996). Utilization of jojoba oil for deep-fat frying of foods. *LWT-Food Science and Technology*, 29(5-6), 573-577. <https://doi.org/10.1006/fstl.1996.0088>
32. Samaram, S., Mirhosseini, H., Tan, C.P., & Ghazali, H.M. (2013). Ultrasound-assisted extraction (UAE) and solvent extraction of papaya seed oil: Yield, fatty acid composition and triacylglycerol profile. *Molecules*, 18(10), 12474-12487. <https://doi.org/10.3390/molecules181012474>
33. Sherazi, S.T.H., Talpur, M.Y., Mahesar, S.A., Kandhro, A.A., & Arain, S. (2009). Main fatty acid classes in vegetable oils by SB-ATR-Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy. *Talanta*, 80(2), 600-606. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2009.07.030>
34. Singla, M., & Sit, N. (2021). Application of ultrasound in combination with other technologies in food processing: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 73, 105506. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105506>
35. Valand, R., Tanna, S., Lawson, G., & Bengtström, L. (2020). A review of Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy used in food adulteration and authenticity investigations. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 37(1), 19-38. <https://doi.org/10.1080/19440049.2019.1675909>
36. Virost, M., Tomao, V., Le Bourvellec, C., Renard, C.M., & Chemat, F. (2010). Towards the industrial production of antioxidants from food processing by-products with ultrasound-assisted extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 17(6), 1066-1074. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2009.10.015>
37. Xu, L., Fei, T., Li, Q., Yu, X., & Liu, L. (2015). Qualitative analysis of edible oil oxidation by FTIR spectroscopy using a mesh "cell". *Analytical Methods*, 7(10), 4328-4333. <https://doi.org/10.1039/C5AY00438A>
38. Yong, H.I., Han, M., Kim, H.J., Suh, J.Y., & Jo, C. (2018). Mechanism underlying green discoloration of myoglobin induced by atmospheric pressure plasma. *Scientific Reports*, 8(1), 1-9. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-28096-4>

Evaluation of Persian Gum Effect on Microbial, Physicochemical and Sensory Properties of Brined Ultrafiltered Cheese during Storage

A. Gholamhosseinpour^{1*}, S. Zare²

1 and 2- Assistant Professor and M.Sc. Graduate, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Jahrom University, Jahrom, Iran, respectively.

(* - Corresponding Author Email: ghali@jahromu.ac.ir)

Received: 25.04.2024
Revised: 17.07.2024
Accepted: 01.08.2024
Available Online: 21.11.2024

How to cite this article:

Gholamhosseinpour, A., & Zare, S. (2024). Evaluation of Persian gum effect on microbial, physicochemical and sensory properties of brined ultrafiltered cheese during storage. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 20(5), 589-605. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.87780.1328>

Introduction

Cheese is a term that encompasses a diverse group of fermented dairy products produced globally, available in a variety of flavors, textures, and shapes. It is rich in proteins, minerals, and vitamins, all contributing to its high nutritional value. Among these, brined ultrafiltered cheeses are soft cheeses that undergo their ripening process in brine. In recent times, this type of cheese has gained popularity, securing a significant consumer market in our country. Food hydrocolloids, comprising polysaccharides and proteins, are extensively utilized in the food, and biomedical industries. They function as thickening agents, forming gels with controlled functionality and specific physical properties. Additionally, they act as stabilizers in various dispersions and serve as carriers for bioactive compounds. Many hydrocolloids, such as whey proteins or dietary fibers, also possess health-promoting properties and can provide essential nutrients necessary for maintaining human biological activity. Beyond their nutritional benefits, food hydrocolloids find applications in advanced materials like food packaging, biomedical materials, biopolymers, polymer electrolytes, mineral nanoparticle synthesis, and organic pollutant removal. Natural hydrocolloids are typically non-toxic and environmentally friendly. They are made naturally from plants, animals, algae, or microorganisms. They are employed to enhance the physicochemical, structural, rheological, and sensory properties of dairy products. Persian gum, derived from the almond tree (*Amygdalus scoparia* Spach), is one such natural hydrocolloid commonly used as an herbal remedy in Iran. It is commercially available in various colors, shapes, and sizes. Its low cost, availability, biodegradability, and capability to substitute stabilizers and emulsifiers have increased its utilization in the food and pharmaceutical industries.

Materials and Methods

After being received and initially cooled, raw cow milk underwent pasteurization and was stored for the ultrafiltration process. Persian gum (PG) was incrementally incorporated into a specific quantity of warm retentate and thoroughly blended. This mixture was then combined with the remaining retentate to produce retentates with PG concentrations of 0.03%, 0.05%, and 0.1%. These mixtures were then subjected to homogenization and pasteurization. Following these processes, the retentate was cooled to a temperature range of 35-40°C. It was then poured into containers for coagulation, to which microbial rennet and a starter culture comprising *Lactobacillus lactis* subsp. *lactis*, *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*, and *Streptococcus thermophilus* were added. After roughly 6 hours, once the curd pH dropped to 5.1, a 12% brine solution was introduced into the container. Finally, the containers were sealed and placed in a 4°C cold storage for microbial, physicochemical, and sensory evaluations over a 90-day storage period. Statistical analysis was conducted using the Minitab software (version 16.2.0.0 for Windows, Minitab Inc., Coventry, United Kingdom) at a 95%



©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.2024.87780.1328>

confidence level.

Results and Discussion

Based on the obtained results, during the storage period, no microbial spoilage (including coliforms, molds, and yeasts) was observed in the control and gum-containing samples. The ash content (%), gumminess (N), chewiness (Nmm), adhesiveness (Ns), and fracturability (N) of the samples increased initially up to day 45 and then decreased. The acidity (% lactic acid) of the samples continuously increased during the storage period, while the amount of fat (%) of samples showed a decreasing trend. An increase in gum concentration led to a significant decrease ($p \leq 0.05$) in the acidity (167.22 to 123.11 %), gumminess (8.35 to 1.30 N) and chewiness (216.19 to 38.83 Nmm) of the samples, while the ash content (3.69 to 3.92 %) and cheese adhesiveness (0.66 to 0.80 Ns) increased significantly ($p \leq 0.05$). Regarding sensory properties, color and appearance, and aroma scores of the cheeses were not significantly affected by the storage time. The interaction effect of time and gum concentration did not create a significant difference in texture and flavor scores, while their single effects were significant ($p \leq 0.05$). Overall acceptance of the samples was only significantly affected by the gum concentration ($p \leq 0.05$), and the interaction effect of time and concentration did not significantly affect the overall acceptance score. Finally, the cheese containing 0.5% gum received the highest sensory score compared to other samples, while the cheese containing 0.1% gum received the lowest sensory score. Considering the positive effect of Persian gum on various cheese properties, especially texture improvement, its utilization in industrial cheese production, as well as investigating its combined effects with other hydrocolloids, is recommended.

Keywords: Brined cheese, Persian gum, Storage period, Ultrafiltration

مقاله پژوهشی

جلد ۲۰، شماره ۵، آذر-دی ۱۴۰۳، ص. ۵۸۹-۶۰۵

بررسی تأثیر صمغ فارسی بر ویژگی‌های میکروبی، فیزیکوشیمیایی و حسی پنیر فراپالایش آب‌نمکی طی دوره نگهداری

علی اکبر غلامحسین پور^{۱*} - سعید زارع^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۱۰

چکیده

در این پژوهش، اثر صمغ فارسی در غلظت‌های صفر، ۰/۰۳، ۰/۰۵ و ۰/۱ درصد بر ویژگی‌های میکروبی، بافتی، فیزیکوشیمیایی و حسی پنیر فراپالایش آب‌نمکی طی دوره نگهداری در روزهای ۳، ۴۵ و ۹۰ بررسی گردید. بر اساس نتایج به‌دست آمده، در طول دوره نگهداری هیچ‌گونه رشد میکروب‌های مولد فساد (کلیرم و کپک و مخمر) در نمونه‌های شاهد و حاوی صمغ مشاهده نگردید. میزان خاکستر (%، حالت صمغی (N) (جز نمونه شاهد)، حالت آدامسی (Nmm)، چسبندگی (Ns) و قابلیت شکست (N) (جز نمونه شاهد) نمونه‌ها ابتدا تا روز ۴۵ افزایش یافت و پس از آن تا روز ۹۰ کاهش پیدا کرد. میزان اسیدیته (% اسید لاکتیک) نمونه‌ها نیز طی دوره نگهداری به‌صورت پیوسته افزایش یافت، درحالی‌که مقدار چربی (% پنیرها روند کاهشی داشت. افزایش غلظت صمغ باعث کاهش معنی‌دار ($p \leq 0/05$) اسیدیته (۱۶۷/۲۲ تا ۱۲۳/۱۱ %، حالت صمغی (۸/۳۵ تا ۱/۳۰ N) و حالت آدامسی (۲۱۶/۱۹ تا ۳۸/۸۳ Nmm) نمونه‌ها گردید، درحالی‌که مقادیر خاکستر (۳/۶۹ تا ۳/۹۲ %) و چسبندگی (۰/۶۶ تا ۰/۸۰ Ns) پنیرها افزایش معنی‌داری ($p \leq 0/05$) پیدا کردند. در ارتباط با ویژگی‌های حسی، امتیاز رنگ و ظاهر و آرومای پنیرها تحت تأثیر معنی‌دار زمان نگهداری قرار نگرفت. اثر متقابل زمان و غلظت صمغ تفاوت معنی‌داری در امتیاز بافت و طعم ایجاد نکرد، درحالی‌که اثرات ساده آنها معنی‌دار ($p \leq 0/05$) بود. پذیرش کلی نمونه‌ها نیز تنها تحت تأثیر معنی‌دار ($p \leq 0/05$) غلظت صمغ قرار داشت و اثر زمان و تأثیر متقابل آن با غلظت بر امتیاز پذیرش کلی معنی‌دار نبود. در نهایت، پنیر حاوی ۰/۰۵ % صمغ از نظر ویژگی‌های حسی امتیاز بالاتری نسبت به سایر نمونه‌ها کسب نمود و پنیر حاوی ۰/۱ % صمغ از طرف ارزیابان کمترین امتیاز حسی را به‌دست آورد.

واژه‌های کلیدی: پنیر آب‌نمکی، دوره نگهداری، صمغ فارسی، فراپالایش

مقدمه

حاوی ۴۵ تا ۶۰ % چربی (بر پایه ماده خشک) و حداقل ۱۰ % پروتئین می‌باشد (Gholamhosseinpour et al., 2014). اسیدیته پنیر فراپالایش بین ۰/۵ تا ۲ % (بر حسب اسید لاکتیک) بوده و حداکثر pH آن ۵/۲ است (Gholamhosseinpour & Zare, 2024). پنیرهای سفید آب‌نمکی معمولاً از شیر پاستوریزه شده گاو تولید شده و دوران نگهداری ۴۵ تا ۹۰ روزه خود را در آب نمک ۸ تا ۱۶ % طی می‌کند تا تغییرات بیوشیمیایی، بافتی، ساختاری و حسی مطلوب در آن ایجاد شود (Madadlou et al., 2007; Azarnia et al., 1997).

هیدروکلوئیدهای غذایی مجموعه‌ای از پلی‌ساکاریدها و پروتئین‌ها می‌باشند که می‌توانند به‌عنوان عوامل غلیظ‌کننده عمل کرده و ژل‌هایی با عملکردها و ویژگی‌های فیزیکی کنترل شده تولید کنند.

پنیر نام عمومی گروهی از فرآورده‌های لبنی تخمیری است که در سراسر جهان در طعم، بافت و شکل‌های بسیار متنوعی تولید می‌شود (Fox et al., 2017). پنیر فتای فراپالایش پنیری است تازه با بافت نرم و گسترش‌پذیر که طی تغلیظ شیر از طریق فرآیند فراپالایش تا ماده خشک ۳۵ % و سپس انعقاد آنزیمی آن به‌دست می‌آید. این پنیر

۱ و ۲- استادیار و دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جهرم، جهرم، ایران
(Email: ghali@jahromu.ac.ir)
*) نویسنده مسئول:

آنها همچنین می‌توانند به‌عنوان تثبیت‌کننده در سیستم‌های پراکنده پایدار غذایی مختلف و همچنین حامل‌های ترکیبات زیست‌فعال مورد استفاده قرار گیرند. در کنار این ویژگی‌ها، بسیاری از هیدروکلوئیدها، همچون پروتئین آب‌پنیر یا فیبرهای غذایی، از ویژگی سلامتی‌زایی نیز برخوردار بوده و می‌توانند مواد مغذی اصلی و ضروری را برای حفظ فعالیت زیستی انسان فراهم کنند. علاوه بر این، هیدروکلوئیدهای غذایی را می‌توان به‌عنوان جایگزین چربی در محصولات مختلف، در مواد عملگر با کاربردهای پیشرفته در بسته‌بندی مواد غذایی، مواد زیست‌پزشکی، بیونانوماد، الکترولیت‌های پلیمری، سنتز نانوذرات معدنی و حذف آلاینده‌های آلی نیز به‌کار برد (Fang et al., 2021). برای بهبود ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، بافتی، رئولوژیک و حسی محصولات لبنی از هیدروکلوئیدها استفاده می‌شود. عملکرد هیدروکلوئیدها در ماتریکس‌های لبنی مبتنی بر برهم‌کنش‌های بین پروتئین‌ها و پلی‌ساکاریدها و فاکتورهای مؤثر بر آنها می‌باشد (Yousefi & Jafari, 2019).

صمغ فارسی یکی از هیدروکلوئیدهای طبیعی است که در ایران معمولاً به‌عنوان داروی گیاهی استفاده می‌شود. این صمغ از درخت بادام کوهی، *Amygdalus scoparia* Spach، که در اصل بومی ایران می‌باشد، به‌دست می‌آید. ایران با توجه به موقعیت جغرافیایی و محیطی خود، منبع عمده‌ای برای این محصول بوده و در حال حاضر، سالانه بیش از ۴۰۰۰۰۰ کیلوگرم صمغ فارسی صادر می‌کند که پیش‌بینی می‌شود این مقدار طی چند سال آینده افزایش قابل توجهی داشته باشد (Abbasi, 2017). صمغ فارسی در سطح تجاری در رنگ‌ها (سفید، زرد روشن، زرد تیره، قهوه‌ای روشن، قهوه‌ای تیره، کهربایی یا قرمز)، شکل‌ها و اندازه‌های مختلف در دسترس می‌باشد. قیمت پایین، در دسترس بودن، زیست‌تخریب‌پذیر بودن و جایگزینی پایدارکننده‌ها و امولسی‌فایرها باعث افزایش کاربرد این صمغ در صنایع غذایی و دارویی شده است (Abbasi, 2017). از صمغ فارسی می‌توان برای بهبود رفتار جریان، بافت، پایداری و سایر ویژگی‌های کیفی مواد غذایی استفاده کرد. علاوه بر این، می‌توان از آن برای ایجاد کمپلکس با پروتئین‌ها یا سایر پلیمرها استفاده کرد که کاربردهای جدیدی از جمله در ریزپوشانی و رهایش هدفمند ترکیبات زیست‌فعال خواهد داشت. همچنین، به‌منظور تقویت خواص عملکردی صمغ و یا ایجاد ویژگی‌های مهم تکنولوژیکی جدید در آن می‌توان اصلاحات شیمیایی یا فیزیکی روی آن اعمال نمود. این ویژگی‌های مفید، این صمغ طبیعی را به‌عنوان ماده‌ای مناسب نشان می‌دهد که به‌طور بالقوه می‌تواند برای اهداف مختلف در محصولات غذایی و دارویی مورد استفاده قرار گیرد (Dabestani et al., 2018).

آزرنیا و همکاران (Azarnia et al., 2014) در مطالعه‌ای اثر غلظت‌های مختلف (۰/۱، ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴٪) صمغ دانه قدومه شیرازی، به‌عنوان جایگزین چربی، را در پنیر سفید فراپالایش کم‌چرب ایرانی مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، افزایش غلظت صمغ باعث افزایش محتوای رطوبتی پنیر گردید که نرمی بیشتر بافت را در پی داشت. همچنین، با افزایش غلظت صمغ، میزان اسیدیته نمونه‌های پنیر کاهش یافت. پنیر حاوی ۰/۳٪ صمغ از بیشترین قابلیت پذیرش برخوردار بود، در حالی‌که، نمونه‌های تهیه شده از غلظت ۰/۴٪ صمغ، بافت بسیار نرم و احساس دهانی نامطلوبی داشتند. رستم‌آبادی و همکاران (Rostamabadi et al., 2017) از صمغ فارسی (۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ درصد) و صمغ بادام (۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ درصد) در سطوح مختلف چربی (۳، ۶/۵ و ۱۰ درصد) در تولید پنیر سفید ایرانی فراپالایش استفاده کردند. نتایج حاصل از بهینه‌سازی حاکی از آن بود که با استفاده از غلظت ۰/۲ درصد صمغ فارسی، ۰/۱۴ درصد صمغ بادام و ۱۰ درصد چربی در فرمولاسیون پنیر سفید ایرانی فراپالایش می‌توان پنیری کم‌چرب با ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، حسی و رنگ مطلوب تولید نمود. در پژوهش دیگری از صمغ فارسی در غلظت‌های ۰/۱ و ۰/۲۵ درصد در تولید پنیر آب‌نمکی کم‌چرب استفاده گردید. نتایج نشان داد که افزودن صمغ فارسی باعث ایجاد بافت نرم‌تر در پنیر کم‌چرب در مقایسه با پنیر کم‌چرب شاهد گردید. همچنین در پنیرهای حاوی صمغ فارسی، در نتیجه ظرفیت اتصال به آب این هیدروکلوئید، میزان رطوبت افزایش یافت. ادغام صمغ در ماتریس پنیر کم چرب نیز باعث بهبود خواص حسی آن گردید (Baghdadi et al., 2018). خانی و روفه‌گری‌نژاد (Khani & Roufegari-Nejad, 2019)، استفاده از صمغ گزانتان در سه سطح ۰/۱، ۰/۳ و ۰/۵٪ را در تولید پنیر سفید فراپالایش کم‌چرب (دارای ۸٪ چربی) مورد بررسی قرار دادند. نمونه‌های تولیدی به‌همراه نمونه شاهد (کم‌چرب فاقد صمغ گزانتان) طی دوره رسیدگی (روزهای صفر، ۱۵، ۳۰ و ۴۵) از نظر ویژگی‌های شیمیایی (pH، اسیدیته، نمک، چربی، ماده خشک بدون چربی)، ویژگی‌های بافتی (پیوستگی، حالت صمغی، حالت آدامسی، حالت فنری) و پذیرش کلی مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که مقدار صمغ اثر معنی‌داری بر میزان چربی نداشت در صورتی‌که pH و مقدار ماده خشک بدون چربی با افزودن مقدار صمغ به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند. از نظر ویژگی‌های بافتی، پنیرهای تهیه شده با غلظت ۰/۵٪ صمغ، سختی پایین‌تری داشتند، در حالی‌که پیوستگی، حالت صمغی، حالت آدامسی و حالت فنری آنها بالاتر بود. از نظر پذیرش کلی نیز پنیرهای سفید فراپالایش تهیه شده با ۰/۵٪ صمغ بیشترین پذیرش را داشتند. در مطالعه‌ای دیگر، خصوصیات بافتی پنیر سفید ایرانی تولید

برای هر نسبت غلظتی (۰/۰۳، ۰/۰۵ و ۰/۱ درصد) میزان مشخص صمغ جهت انحلال و پراکندگی مناسب ابتدا به تدریج به مقداری ناتراوه گرم با دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد اضافه شد و به‌طور کامل مخلوط گردید. مخلوط حاصله در ادامه به باقیمانده ناتراوه اضافه شد تا ناتراوه‌هایی با غلظت‌های نهایی ۰/۰۳، ۰/۰۵ و ۰/۱ درصد صمغ به دست آیند. مخلوط حاصله سپس تحت فرآیندهای هموژنیزاسیون (فشار ۱۲۰ بار) و پاستوریزاسیون (دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد) قرار گرفت. در ادامه، ناتراوه با دمای ۳۵ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد از دستگاه پاستوریزاتور خارج شد و پس از ذخیره‌سازی، به آن آنزیم رنین میکروبی (Proteria, Handry company, Belgium) و آغازگر DELVO-TEC MT 50 حاوی لاکتوباسیلوس لاکتیس زیرگونه لاکتیس، لاکتوکوکوس لاکتیس زیرگونه کرموریس و استریتوکوکوس ترموفیلوس، جهت کاهش pH و همچنین بهبود ویژگی‌های ارگانولپتیک محصول، اضافه گردید. دلمه شدن ناتراوه پس از گذشت ۱۵ دقیقه صورت گرفت. جهت حذف کف بر روی دلمه از ضد کف (شوکا شیمی اسپادانا) و جهت جلوگیری از چسبندگی محصول به ظرف از آنتی‌استیک (شوکا شیمی اسپادانا) استفاده گردید. پس از گذشت حدود ۶ ساعت از زمان پرکردن ظرف و افت pH دلمه تا ۵/۱، آب نمک ۱۲٪ به محصول اضافه شد. در پایان نیز درب‌بندی صورت گرفت و محصول به سردخانه ۴ درجه سانتی‌گراد منتقل و به مدت ۹۰ روز نگهداری گردید. آزمون‌ها در روزهای ۳، ۴۵ و ۹۰ بر روی نمونه‌های پنیر انجام شدند.

شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها

جهت شمارش کلیفرم‌ها از استاندارد ملی ایران، شماره ۱۱۱۶۶ (ISIRI, 2008) و برای شمارش کپک و مخمر از استاندارد ملی ایران، شماره ۱۰۱۵۴ (ISIRI, 2007) استفاده گردید.

خاکستر

مقدار خاکستر نمونه‌ها توسط کوره الکتریکی در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به روش وزنی اندازه‌گیری گردید (AOAC, 2005).

اسیدیته

برای اندازه‌گیری اسیدیته نیز، تیتراسیون نمونه‌های پنیر با سود ۰/۱ نرمال انجام شد و داده‌ها بر حسب درجه دورنیک بیان شدند (ISIRI, 2022).

شده به روش فراپالایش حاوی صمغ کتیرا و زانتان، هر کدام در محدوده صفر تا ۰/۱٪، و صمغ دانه‌های ریحان و بذر کتان، هر کدام در دامنه صفر تا ۰/۲٪ مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به نتایج، با افزایش میزان صمغ دانه ریحان در نمونه‌ها، سختی، پیوستگی، حالت صمغی و قابلیت جویدن پنیرها در مقایسه با نمونه شاهد افزایش یافت. برای تهیه پنیر سفید تولید شده به روش فراپالایش، استفاده از ۰/۰۵٪ صمغ کتیرا، ۰/۰۵٪ صمغ زانتان و ۰/۱٪ صمغ دانه کتان توصیه گردید (Zomorodi et al., 2019).

یکی از مشکلات پنیر فراپالایش آب‌نمکی بروز نوعی بافت گچی در آن است که می‌تواند ناشی از افزایش بیش از حد اسیدیته و به دنبال آن افزایش آب‌انداختگی طی دوره نگهداری باشد، که در نهایت منجر به سفتی بیش از حد بافت و کوچک شدن اندازه محصول نهایی و نامطلوب شدن ویژگی‌های حسی آن خواهد شد (Fritzen-Freire et al., 2010; Gholamhosseinpour & Zare, 2024). یکی از روش‌های بهبود خواص بافتی و حسی پنیر استفاده از هیدروکلوئیدهاست که با برهم‌کنش‌های درون شبکه‌ای باعث ارتقای کیفی محصول نهایی می‌گردند (Zomorodi et al., 2020). با در نظر گرفتن میزان تولید پنیرهای فراپالایش آب‌نمکی در کشور، سهم آنها از سبد غذایی خانوار و همچنین مطلوبیت طعم و مزه خاص محصول، ارتقای کیفیت این نوع پنیر کاملاً ضروری به نظر می‌رسد. در کنار ارزان و در دسترس بودن صمغ فارسی، جذب آب مناسب و برهم‌کنش بالای آن با دیگر مولکول‌ها ضرورت استفاده صنعتی از این صمغ جهت اصلاح خواص بافتی و حسی پنیر را برجسته‌تر می‌سازد. با توجه به اینکه تاکنون از این صمغ در تولید پنیر فراپالایش آب‌نمکی در مقیاس صنعتی استفاده نشده، لذا در پژوهش حاضر اثر آن بر خصوصیات میکروبی، فیزیکوشیمیایی و حسی پنیر فراپالایش آب‌نمکی در طول دوره نگهداری بررسی می‌شود تا علاوه بر ارزیابی اثر آن بر کیفیت محصول، گامی در جهت استفاده از صمغ‌های بومی و استفاده از خواص عملکردی آنها نیز برداشته شده باشد.

مواد و روش‌ها

تولید پنیر

ابتدا شیر خام (۸۰۰ کیلوگرم شیر برای تولید ۸۰ کیلوگرم پنیر) با شرایط شمارش کلی میکروبی کمتر از یک میلیون، تست الکل ۶۸٪ پایدار، تست خون منفی، تست آنتی‌بیوتیک منفی، مقدار چربی ۳٪ و مقدار پروتئین ۲/۹٪ دریافت و پس از سردسازی سریع اولیه، پاستوریزه شد و جهت فرآیند فراپالایش (غشای استات سلولزی، شرکت کوخ آلمان، دمای عملیاتی ۵۵ درجه سانتی‌گراد، فشار ورودی ۴ بار و فشار خروجی ۱ بار) ذخیره گردید. پس از فرآیند فراپالایش،

چربی

مقدار چربی نمونه‌ها به روش ژربر و با استفاده از سانتیفریژ ژربر (GmbH, Berlin, Germany Funke Gerber) اندازه‌گیری گردید (BSI, 1989).

آزمون آنالیز پروفایل بافت^۱

برای این آزمون، از دستگاه سنجش بافت (Brookfield CT3 Texture Analyzer, USA) و پروب استوانه‌ای به قطر ۳۵ میلی‌متر استفاده شد. نمونه‌های پنیر بلافاصله قبل از آزمایش از یخچال خارج و پس از برش به ابعاد ۲۰×۲۰×۲۰ میلی‌متر تا ۳۰٪ ارتفاع اولیه توسط پروب دستگاه فشرده شدند. سرعت حرکت پروب، ۱ میلی‌متر در ثانیه بود و فشرده‌سازی در دو مرحله انجام شد. هر آزمون حداقل در سه تکرار انجام گردید. برای جلوگیری از اصطکاک و چسبیدن پنیر به پروب دستگاه، سطح پروب در هر نوبت آزمون به روغن مایع آغشته گردید. صفات مورد اندازه‌گیری عبارت بودند از: چسبندگی (نیوتن در ثانیه)، حالت صمغی (نیوتن)، حالت آدامسی (نیوتن در میلی‌متر) و قابلیت شکست (نیوتن) (Gunasekaran & Ak, 2003).

ارزیابی حسی

ارزیابی حسی با آزمون چشایی توسط ۱۰ نفر از پرسنل شرکت شیر پاستوریزه پگاه فارس صورت گرفت. ارزیابان بر اساس علاقه و دقت انتخاب گردیده و درخصوص امتیازدهی به رنگ و ظاهر، آروما، بافت، طعم و پذیرش کلی در مقیاس هدونیک ۵ نقطه‌ای (از ۱ تا ۵) آموزش داده شدند. حداقل و حداکثر رضایتمندی به ترتیب با امتیازات ۱ و ۵ مشخص گردید. در این آزمون نمونه‌های مکعبی ۲۰ گرمی پنیر در اختیار ارزیابان قرار گرفت و از آنان خواسته شد تا قبل از انجام هر آزمون دهان خود را با آب بشویند. بدین منظور، صفات طعم، آروما، بافت، رنگ و پذیرش کلی نمونه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت (Gholamhosseinpour et al., 2021). طعم مجموع کل تأثیرات حسی یا احساسات درک شده هنگام قرار گرفتن ماده غذایی در دهان می‌باشد. آروما درک ما از ترکیبات فرآری است که از غذا آزاد می‌شوند. بافت اصطلاح پیچیده‌ای است که با ساختار ماده غذایی مرتبط بوده و خواص مکانیکی، هندسی و رطوبتی آن را در بر می‌گیرد. رنگ به‌عنوان ادراک ناشی از نور در تعامل با ماده غذایی تعریف می‌شود. پذیرش کلی نیز درک کلی و نهایی ما از ماده غذایی با در نظر گرفتن ویژگی‌های مختلف حسی می‌باشد (Clark et al., 2009).

تجزیه و تحلیل آماری

1- Texture profile analysis (TPA)

در این پژوهش از طرح کاملاً تصادفی استفاده گردید. غلظت صمغ (۰، ۰/۰۳، ۰/۰۵ و ۰/۱ درصد) و زمان رسیدگی (۳، ۴۵ و ۹۰ روز) به‌عنوان تیمارها انتخاب گردیده و آزمون‌ها نیز در سه تکرار صورت گرفتند. تجزیه و تحلیل داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها نیز با انجام آزمون‌های ANOVA و توکی در سطح معنی‌داری ($p \leq 0.05$) با استفاده از نرم‌افزار Minitab 16.2.0 صورت پذیرفت. برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Microsoft Excel 2016 استفاده گردید.

نتایج و بحث

بررسی ویژگی‌های میکروبی پنیر فراپالایش آب‌نمکی طی دوره نگهداری

پنیرها از نظر آلودگی کلیفرمی، کپکی و مخمری طی ۹۰ روز مورد بررسی قرار گرفتند و در این مدت هیچ‌گونه رشد میکروبی قابل شمارشی در نمونه‌های شاهد و حاوی صمغ مشاهده نگردید. از این رو، ایمنی میکروبی محصول در کل دوره نگهداری مورد تأیید قرار گرفت.

اثر صمغ فارسی بر میزان اسیدیته پنیر فراپالایش آب‌نمکی طی دوره نگهداری

در شکل ۱ اثر صمغ فارسی بر میزان اسیدیته پنیر فراپالایش آب‌نمکی طی دوره نگهداری ارائه شده است. همان‌طور که در شکل مشخص است، پنیر شاهد بیشترین میزان اسیدیته را داشت، درحالی‌که پنیر حاوی ۰/۱٪ صمغ از کمترین میزان اسیدیته برخوردار بود. در هر یک از زمان‌های نگهداری اختلاف اسیدیته نمونه‌ها معنی‌دار ($p \leq 0.05$) بود، به استثنای روز ۹۰ که تفاوت معنی‌داری بین اسیدیته نمونه‌های حاوی ۰/۰۵ و ۰/۱٪ صمغ مشاهده نشد. با افزایش زمان نگهداری نیز اسیدیته تمام نمونه‌ها به‌طور معنی‌داری ($p \leq 0.05$) افزایش یافت، اما این افزایش در پنیر حاوی ۰/۱٪ صمغ بیشترین (۳۷/۷٪) و در پنیر شاهد کمترین مقدار (۱۶/۷٪) را به خود اختصاص داد.

طی تخمیر لاکتیکی، لاکتوز ابتدا توسط بتا-گالاکتوزیداز به قندهای گلوکز و گالاکتوز هیدرولیز شده و آنها نیز در ادامه به اسید لاکتیک، به‌عنوان محصول نهایی تخمیر، تبدیل می‌شوند. از آنجایی که افزایش تعداد باکتری‌های اسید لاکتیک طی تخمیر باعث افزایش مقدار بتا-گالاکتوزیداز می‌شود، مقدار اسید لاکتیک نیز به همان نسبت افزایش می‌یابد (Hashemi et al., 2021). نتایج حاصل از تحقیقات سوزا و سعد (Souza & Saad, 2009) (پنیر تازه میناس)، شهاب‌لواسانی و همکاران (Shahab Lavasani et al., 2012) (پنیر لیقوان تا روز ۶۰)، کریمی و همکاران (Karimi et al., 2012) (پنیر

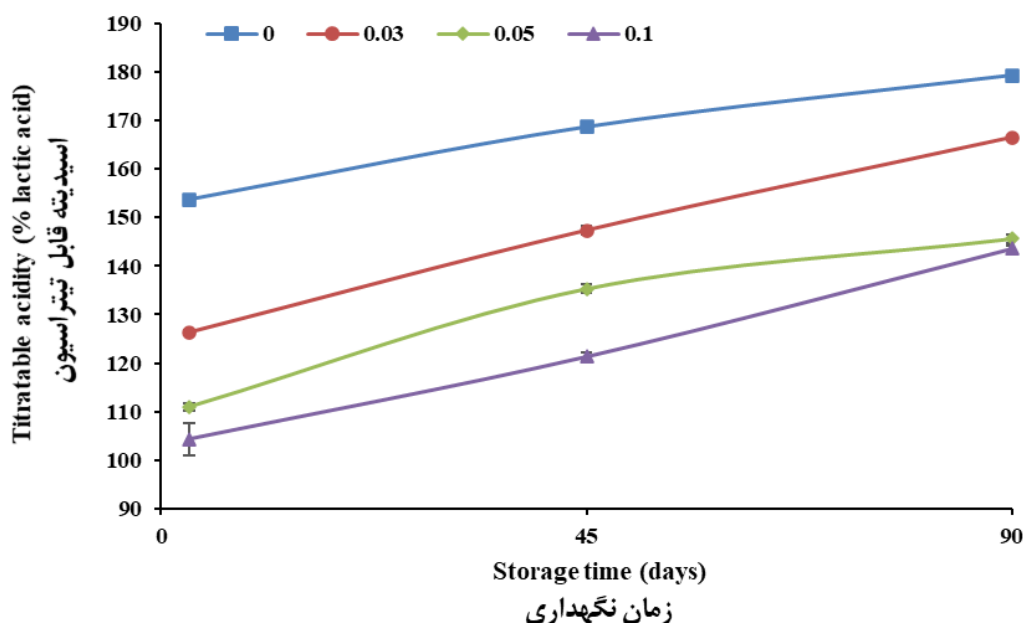
حاوی ۰/۱٪ صمغ بود. به‌طور کلی، افزایش مقدار صمغ تأثیر معنی‌داری ($p \leq 0.05$) در افزایش مقدار خاکستر پنیرها داشت. همچنین، میزان خاکستر نمونه‌ها با افزایش زمان نگهداری تا روز ۴۵ افزایش پیدا کرد (که این افزایش تنها برای نمونه‌های شاهد و حاوی ۰/۰۳٪ صمغ معنی‌دار ($p \leq 0.05$) بود) و در ادامه به‌طور غیر معنی‌داری کاهش یافت. به عبارت دیگر، زمان نگهداری بر میزان خاکستر پنیرهای حاوی ۰/۰۵ و ۰/۱٪ صمغ تأثیر معنی‌داری نداشت. نتایج تا روز ۴۵ نگهداری با گزارش غلامحسین پور و همکاران (Gholamhosseinpour et al., 2023) در مورد پنیر فراپالایش آب‌نمکی، که در طول دوره نگهداری میزان خاکستر پنیر افزایش پیدا کرده بود، مطابقت داشت. در پژوهشی که بیک‌محمدی و همکاران (Beik Mohammadi et al., 2015) بر روی پنیر لور انجام دادند نیز میزان خاکستر طی دوره نگهداری پنیر افزایش پیدا کرد. بررسی نوعی پنیر نمکی فراپالایش توسط الاتیبی و ویلی (Al-Otaibi & Wilbey, 2004) حاکی از ثابت ماندن مقدار خاکستر در طول دوره نگهداری بود.

در ارتباط با اثر صمغ نیز، با افزایش میزان صمغ آکاسیا و اینولین در پنیر میناس فرسکال (Santos et al., 2015) و صمغ کینوا در پنیر فراپالایش (Abdelmontaleb et al., 2021) میزان خاکستر افزایش یافت. افزایش زمان نگهداری نیز باعث افزایش مقدار خاکستر پنیرهای مذکور گردید.

فتای فراپالایش)، غلامحسین پور و همکاران (Gholamhosseinpour et al., 2021) (پنیر فتای فراپالایش آنالوگ) و غلامحسین پور و همکاران (Gholamhosseinpour et al., 2023) (پنیر فراپالایش آب‌نمکی) نشان داد که میزان اسیدیت پنیر طی دوره نگهداری افزایش می‌یابد. دلیل این افزایش تخمیر لاکتوز به اسید لاکتیک و همچنین آزاد شدن اسیدهای چرب و اسیدهای آمینه طی لیپولیز و پروتئولیز می‌باشد. کاتابولیسم اسید لاکتیک و ورود آن به آب نمک و همچنین تولید آمونیاک نیز عامل کاهش اسیدیت در انتهای دوره نگهداری برخی از پنیرها عنوان شده است (Khani & Roufegari-Nejad, Baghdadi et al., 2018). پایین‌تر بودن میزان اسیدیت در نمونه‌های حاوی صمغ بیشتر به دلیل فعالیت آب‌دوستی صمغ و جذب آب بالاتر می‌باشد. بغدادی و همکاران (Baghdadi et al., 2018) نیز گزارش کرد که با افزایش غلظت صمغ، میزان اسیدیت پنیر کاهش می‌یابد.

اثر صمغ فارسی بر میزان خاکستر پنیر فراپالایش آب‌نمکی طی دوره نگهداری

شکل ۲ اثر صمغ فارسی بر میزان خاکستر پنیر فراپالایش آب‌نمکی در طول دوره نگهداری را نشان می‌دهد. بر اساس شکل، پنیر شاهد کمترین میزان خاکستر را داشت (۳/۶۶٪ در روز ۳)، درحالی‌که بیشترین مقدار خاکستر (۳/۹۳٪ در روز ۴۵) مربوط به پنیر



شکل ۱- اثر صمغ فارسی بر میزان اسیدیت پنیر فراپالایش آب‌نمکی طی دوره نگهداری

Fig. 1. The effect of Persian gum on the acidity of brined ultrafiltered cheese during storage

اثر صمغ فارسی بر میزان چربی پنیر فراپالایش آب‌نمکی طی دوره نگهداری

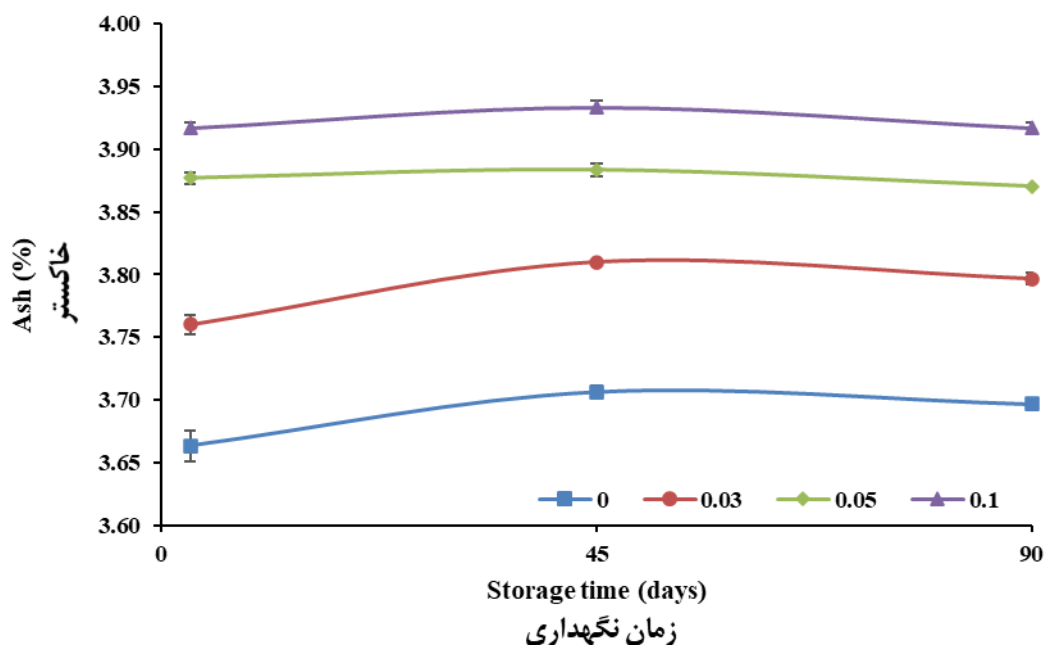
در شکل ۳ اثر صمغ فارسی بر میزان چربی پنیر فراپالایش آب‌نمکی طی دوره نگهداری نشان داده شده است. مطابق شکل، میزان چربی نمونه‌ها طی دوره رسیدگی تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند و تنها تفاوت نمونه ۹۰ روزه حاوی ۰/۰۳٪ صمغ با دیگر پنیرها معنی‌دار بود ($p \leq 0/05$). افزایش زمان رسیدگی تا روز ۴۵ نیز تفاوت معنی‌داری در میزان چربی پنیرها ایجاد نکرد، اما در ادامه و با افزایش زمان رسیدگی به ۹۰ روز، میزان چربی نمونه‌ها به طور معنی‌داری ($p \leq 0/05$) کاهش یافت که می‌توان آن را به گسترش لیپولیز چربی موجود در بافت پنیرها نسبت داد.

کرمی و همکاران (Karami et al., 2008) (پنیر فتای فراپالایش)، شهاب‌لواسانی و همکاران (Shahab Lavasani, et al., 2012) (پنیر لیقوان)، غلامحسین‌پور و همکاران (Gholamhosseinpour et al., 2021) (پنیر فتای فراپالایش آنالوگ) و غلامحسین‌پور و همکاران (Gholamhosseinpour et al., 2023) (پنیر فراپالایش آب‌نمکی) نیز گزارش کرده‌اند که میزان چربی با افزایش زمان نگهداری به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد که به دلیل لیپولیز چربی‌ها و در نتیجه تولید گلیسرول و اسیدهای چرب آزاد می‌باشد.

اثر صمغ فارسی بر میزان حالت صمغی پنیر فراپالایش آب‌نمکی طی دوره نگهداری

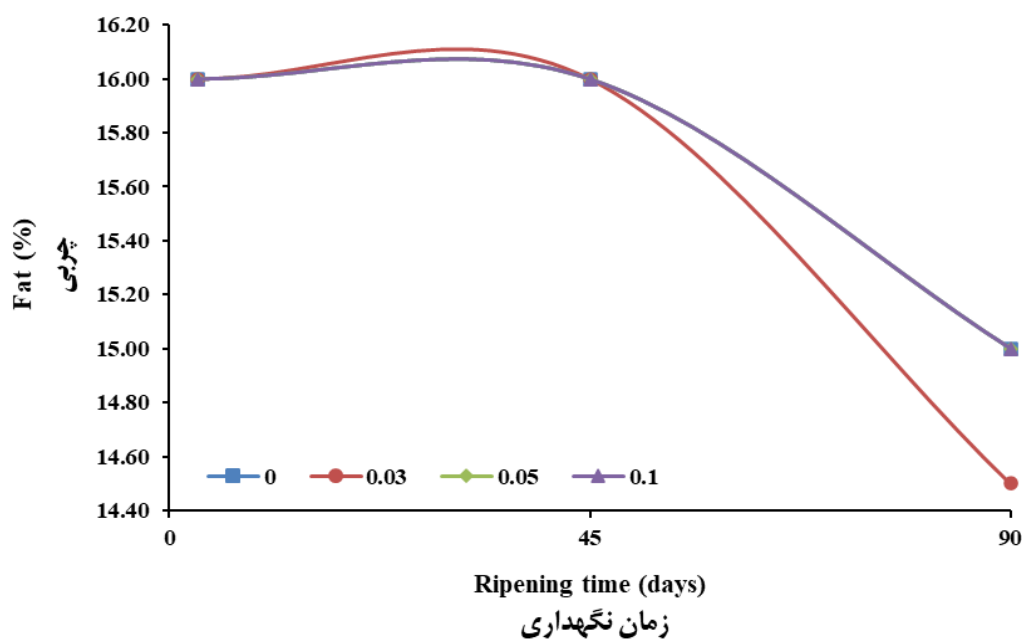
در شکل ۴ اثر صمغ فارسی بر میزان حالت صمغی پنیر فراپالایش آب‌نمکی در طول دوره نگهداری نشان داده شده است. طبق شکل، نمونه شاهد بیشترین میزان حالت صمغی را نشان داد، درحالی‌که کمترین مقدار حالت صمغی در نمونه حاوی ۰/۱٪ صمغ مشاهده شد. تفاوت حالت صمغی پنیرها در هر یک از زمان‌های نگهداری با یکدیگر معنی‌دار ($p \leq 0/05$) بود. با افزایش زمان نگهداری، افزایش پیوسته حالت صمغی در نمونه شاهد مشاهده شد که این افزایش در انتهای دوره نگهداری نسبت به ابتدای آن معنی‌دار ($p \leq 0/05$) بود. حالت صمغی در پنیرهای حاوی صمغ نیز ابتدا از روز ۳ تا ۴۵ افزایش یافت و در ادامه تا انتهای دوره نگهداری کاهش پیدا کرد.

افزایش حالت صمغی پنیر شاهد طی دوره نگهداری می‌تواند به دلیل آب‌اندازی و افت رطوبت بالای آن باشد (Bertolino et al., 2011). یاسار و گزلر (Yasar & Guzeler, 2011) کاهش حالت صمغی پنیر کاشار طی دوره نگهداری را ناشی از هیدرولیز آلفا اس یک کازئین دانستند.

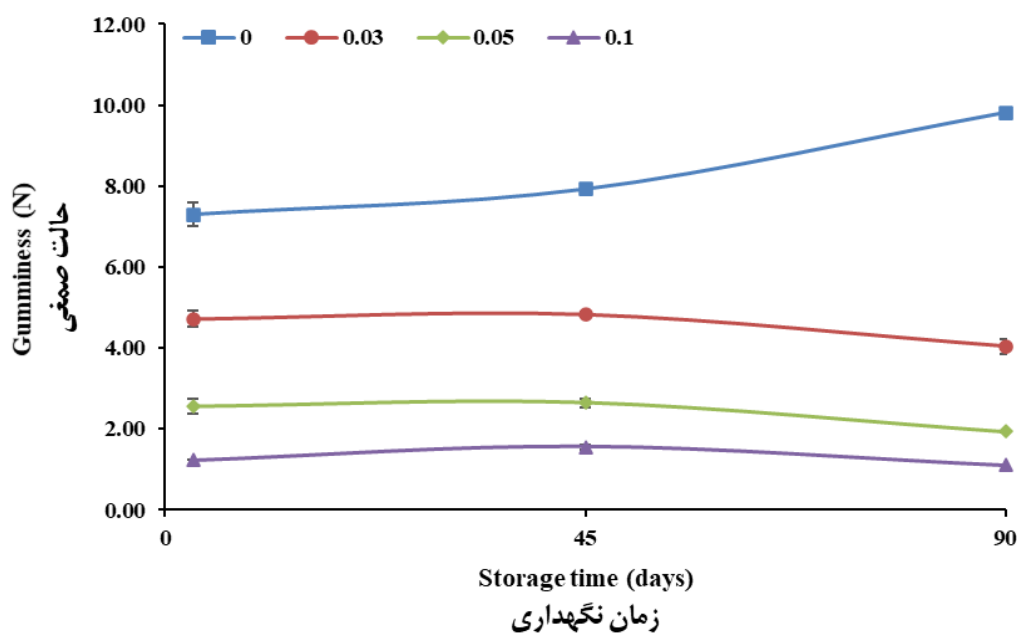


شکل ۲- اثر صمغ فارسی بر میزان خاکستر پنیر فراپالایش آب‌نمکی طی دوره نگهداری

Fig. 2. The effect of Persian gum on the amount of brined ultrafiltered cheese ash during storage



شکل ۳- اثر صمغ فارسی بر میزان چربی پنیر فراپالایش آب‌نمکی طی دوره نگهداری
Fig. 3. The effect of of Persian gum on the fat content of brined ultrafiltered cheese during storage



شکل ۴- اثر صمغ فارسی بر میزان حالت صمغی پنیر فراپالایش آب‌نمکی طی دوره نگهداری
Fig. 4. The effect of Persian gum on the gumminess of brined ultrafiltered cheese during storage

بتاگلوکان باعث کاهش حالت صمغی پنیر سفید کم‌چرب آب‌نمکی گردید که می‌تواند ناشی از برهم‌کنش هیدروکلوئید با ساختار شبکه کازئینی باشد. با افزایش میزان هیدروکلوئید حالت صمغی پنیر سفید کم‌چرب ایرانی حاوی صمغ دانه ریحان و زانتان کاهش یافت،

افزایش میزان هیدروکلوئید باعث کاهش حالت صمغی پنیر می‌شود که دلیل آن افزایش ظرفیت جذب آب توسط هیدروکلوئید می‌باشد (Shafiei et al., 2014). ولی‌کاکیس و همکاران (Volikakis et al., 2004) نیز دریافتند که افزودن کنسانتره جو-

بر این افت رطوبت غالب شده و حالت آدامسی کاهش می‌یابد (Gholamhosseinpour *et al.*, 2018).

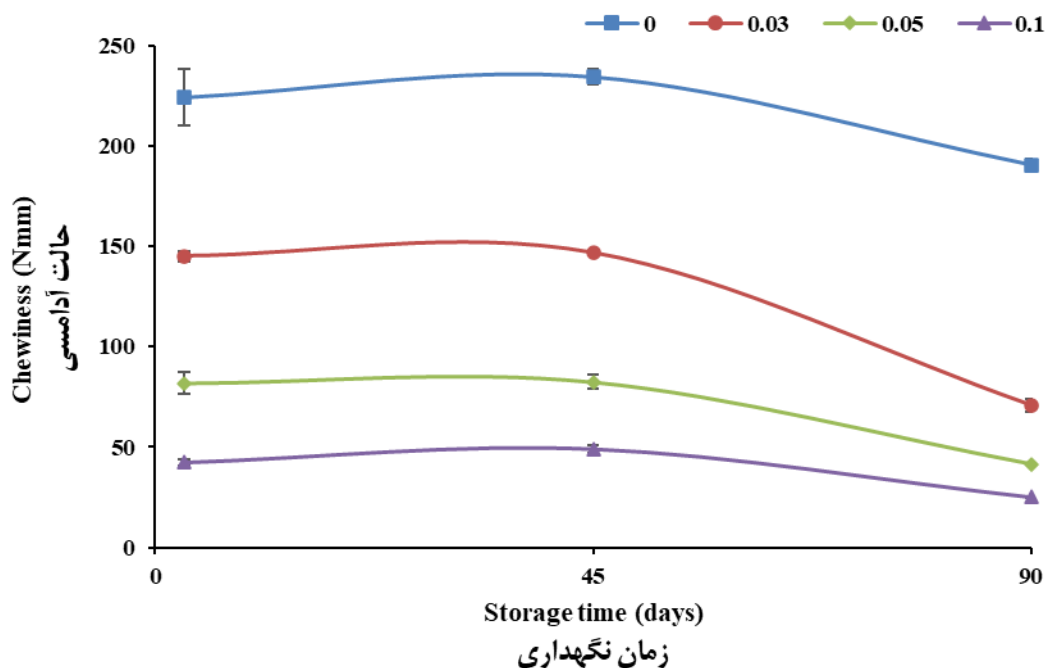
هیدروکلوئیدها دارای قابلیت تضعیف ماتریکس پروتئینی پنیر بوده و از این رو انرژی کمتری جهت جویدن پنیر مورد نیاز می‌باشد. نوع و غلظت هیدروکلوئید و طبیعتاً قابلیت جذب آب آن در این خصوص مؤثر می‌باشند. با توجه به بررسی‌های انجام شده مشاهده گردید که بیشترین میزان حالت آدامسی مربوط به پنیر سفید کم‌چرب نرم شاهد بوده و پنیر حاوی بیشترین میزان صمغ زانتان، کمترین حالت آدامسی را داشت (Ali *et al.*, 2016). شفیعی و همکاران (Shafiei *et al.*, 2014) عنوان کردند که افزایش جذب آب همزمان با افزایش میزان عصاره مالت در پنیر فرایالایش سبب تضعیف بافت پنیر و کاهش میزان فشار لازم جهت جویدن آن می‌گردد. با توجه به نتایج به دست آمده از مطالعه شرفی و همکاران (Sharafi *et al.*, 2019)، با افزایش میزان صمغ حالت آدامسی پنیر کاهش یافت. آنها عنوان کردند که استفاده از صمغ سبب افزایش میزان جذب آب و در نتیجه ضعیف شدن بافت پنیر گردید. یافته‌های رستم‌آبادی و همکاران (Rostamabadi *et al.*, 2016) نیز نشان داد که افزایش درصد صمغ موجب کاهش معنی‌دار مقاومت به جویدن می‌گردد. طبق نتایج به‌دست آمده از مطالعه ناطقی (Nateghi, 2020)، نمونه شاهد دارای بیشترین حالت آدامسی بود و پنیرهای حاوی صمغ حالت آدامسی کمتری داشتند.

به‌طوری‌که تیمار شاهد به‌دلیل نداشتن صمغ بیشترین میزان حالت صمغی را به خود اختصاص داد. در رابطه با اثر زمان نگهداری نیز کاهش حالت صمغی پنیرها طی دوره نگهداری ۶۰ روزه مشاهده گردید (Nateghi, 2020).

اثر صمغ فارسی بر میزان حالت آدامسی پنیر فرایالایش آب‌نمکی طی دوره نگهداری

اثر صمغ فارسی بر میزان حالت آدامسی پنیر فرایالایش آب‌نمکی طی دوره نگهداری در شکل ۵ نشان داده شده است. در میان نمونه‌ها، بیشترین مقدار حالت آدامسی مربوط به نمونه شاهد بود و پنیرهای حاوی ۰/۰۳، ۰/۰۵ و ۰/۱ صمغ به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. میزان حالت آدامسی پنیرها نیز در هر یک از زمان‌های نگهداری اختلاف معنی‌داری ($p \leq 0.05$) با یکدیگر داشتند. با گذشت زمان نگهداری، میزان حالت آدامسی نمونه‌ها ابتدا تا روز ۴۵ افزایش غیرمعنی‌داری یافت و سپس تا انتهای دوره نگهداری به‌طور معنی‌داری ($p \leq 0.05$) کاهش پیدا کرد، هر چند این کاهش برای پنیر حاوی ۰/۱ صمغ معنی‌دار نبود.

أماهونی و همکاران (O'Mahony *et al.*, 2005) (پنیر چدار) و کومار و همکاران (Kumar *et al.*, 2011) (پنیر فتا) نیز کاهش معنی‌دار حالت آدامسی را طی دوره نگهداری گزارش کرده‌اند. افزایش اولیه حالت آدامسی می‌تواند ناشی از آب‌اندازی باشد که در ادامه پروتئولیز



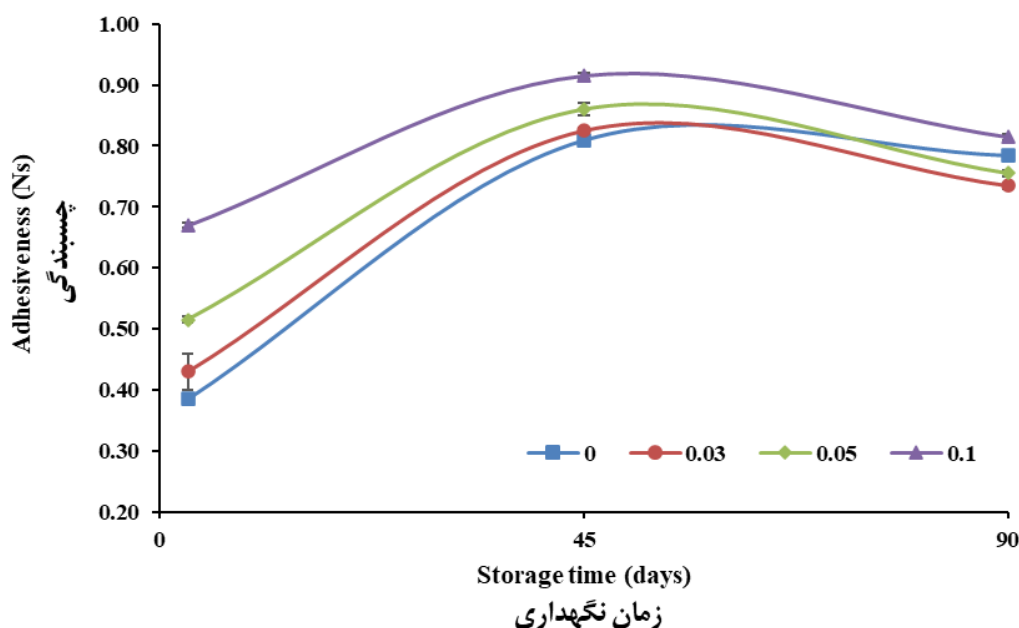
شکل ۵- اثر صمغ فارسی بر میزان حالت آدامسی پنیر فرایالایش آب‌نمکی طی دوره نگهداری

Fig. 5. The effect of Persian gum on the chewiness of brined ultrafiltered cheese during storage

اثر صمغ فارسی بر میزان چسبندگی پنیر فراپالایش آب‌نمکی طی دوره نگهداری

در شکل ۶ اثر صمغ فارسی بر میزان چسبندگی پنیر فراپالایش آب‌نمکی در طول دوره نگهداری ارائه داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، پنیر حاوی ۰/۱٪ صمغ چسبندگی بیشتری نسبت به سایر نمونه‌ها داشت. همچنین، تا روز ۴۵ نگهداری، میزان چسبندگی نمونه شاهد از سایر نمونه‌ها کمتر بود، اما در پایان دوره نگهداری پنیر حاوی ۰/۰۳٪ صمغ چسبندگی بیشتری را نشان داد. روند کلی تغییر چسبندگی نمونه‌ها طی دوره نگهداری افزایش معنی‌دار ($p \leq 0/05$) اولیه تا روز ۴۵ نگهداری و سپس کاهش معنی‌دار ($p \leq 0/05$) تا انتهای دوره نگهداری بود، هرچند این کاهش برای نمونه شاهد نسبت به روز ۴۵ معنی‌دار نبود. علی‌رغم روند کاهشی چسبندگی پنیرها بعد از روز ۴۵ نگهداری، میزان چسبندگی نمونه‌های ۹۰ روزه همواره به‌طور معنی‌داری ($p \leq 0/05$) بالاتر از چسبندگی نمونه‌ها در ابتدای دوره نگهداری بود.

غلامحسین پور و همکاران (Gholamhosseinpour et al., 2018) (پنیر فتای فراپالایش آنالوگ)، آتاسوی و همکاران (Atasoy et al., 2021) (پنیر اورفا)، ذونوبی و گلی (Zonoubi & Goli, 2021)



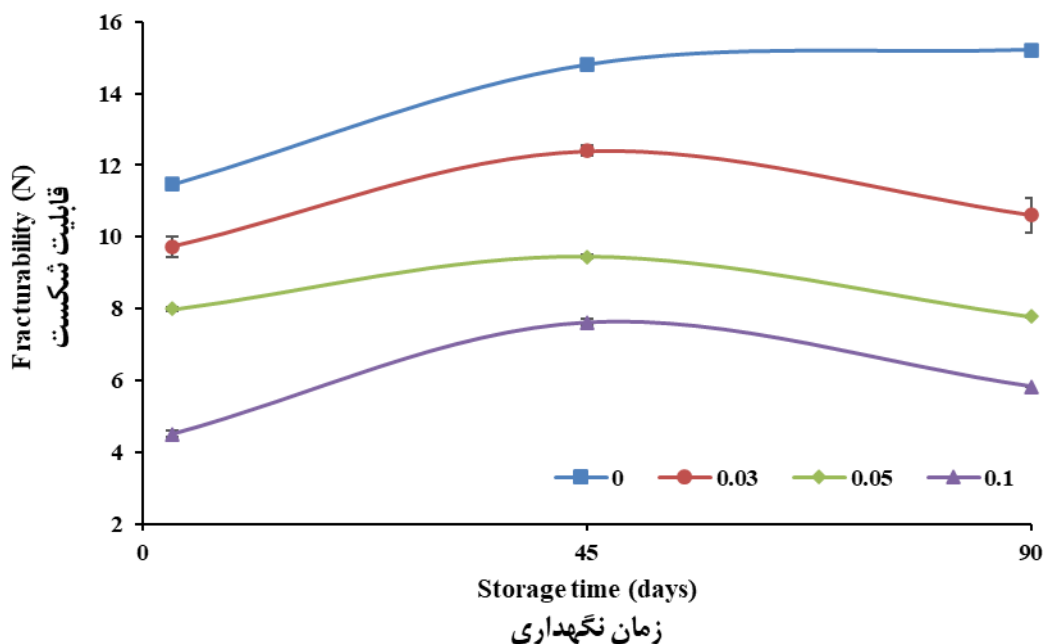
شکل ۶- اثر صمغ فارسی بر میزان چسبندگی پنیر فراپالایش آب‌نمکی طی دوره نگهداری

Fig. 6. The effect of Persian gum on the adhesiveness of brined ultrafiltered cheese during storage

(2021) (پنیر فتا) و غلامحسین پور و همکاران (Gholamhosseinpour et al., 2023) (پنیر فراپالایش آب‌نمکی) کاهش میزان چسبندگی پنیر طی دوره نگهداری را گزارش کردند. با توسعه پروتئولیز در طول دوره نگهداری، زنجیره‌های پروتئینی تجزیه شده و گروه‌های آبگریز داخلی آزاد می‌شوند. بر این اساس، گروه‌های آبگریز در سطح پروتئین افزایش یافته و منجر به افزایش برهم‌کنش‌های آبگریز بین ذرات می‌شوند که در نتیجه آن چسبندگی پنیر در طول نگهداری کاهش می‌یابد (Zonoubi & Goli, 2021). صمغ به‌دلیل داشتن گروه‌های هیدروکسیل و جذب آب از محیط اطراف دارای ویژگی چسبندگی می‌باشد که این امر در پنیر حاوی صمغ کاملاً مشهود است. با افزایش غلظت صمغ، چسبندگی پنیر تولیدی افزایش می‌یابد (Hesarinejad et al., 2021). میزان چسبندگی با افزایش محتوای چربی و جذب آب و همچنین تضعیف ماتریکس پروتئینی افزایش می‌یابد (Shafiei et al., 2014). بغدادی و همکاران (Baghdadi et al., 2018) گزارش کردند که پنیر شاهد دارای بیشترین میزان چسبندگی در انتهای دوره نگهداری بود و دلیل آن را میزان بیشتر پروتئین عنوان نمودند.

اثر صمغ فارسی بر میزان قابلیت شکست پنیر فراپالایش آب‌نمکی طی دوره نگهداری

اثر صمغ فارسی بر میزان قابلیت شکست پنیر فراپالایش آب‌نمکی طی دوره نگهداری در شکل ۷ نشان داده شده است. مطابق شکل، نمونه شاهد از بیشترین و نمونه حاوی ۰/۱٪ صمغ از کمترین میزان قابلیت شکست در طول دوره نگهداری برخوردار بودند و تفاوت میزان قابلیت شکست نمونه‌ها نیز در هر یک از زمان‌های نگهداری



شکل ۷- اثر صمغ فارسی بر میزان قابلیت شکست پنیر فراپالایش آب‌نمکی طی دوره نگهداری
Fig. 7. The effect of Persian gum on the fractureability of brined ultrafiltered cheese during storage

پنیرها نیز در هیچ یک از غلظت‌ها تحت تأثیر معنی‌دار زمان نگهداری قرار نداشت. همچنین غیر از تفاوت معنی‌داری که بین نمونه شاهد و سایر پنیرهای ۳ روزه مشاهده شد، در سایر موارد افزایش غلظت صمغ در هر یک از زمان‌های نگهداری تأثیر معنی‌داری بر امتیاز آرومای نمونه‌ها نشان نداد. در ارتباط با امتیاز بافت، اثر متقابل زمان و غلظت تفاوت معنی‌داری ایجاد نکرد، درحالی‌که اثرات ساده آنها معنی‌دار ($p \leq 0/05$) بود. در این ارتباط پنیرهای ۳ روزه و حاوی ۰/۰۵٪ صمغ بالاترین امتیاز بافت را داشتند، در حالی‌که کمترین امتیاز بافت مربوط به پنیرهای ۹۰ روزه و حاوی ۰/۱٪ صمغ بود. اثر متقابل زمان و غلظت نیز بر امتیاز طعم پنیرها معنی‌دار نبود، اما هر یک از آنها تأثیر ساده معنی‌داری ($p \leq 0/05$) بر امتیاز طعم داشتند. بیشترین امتیاز طعم مربوط به پنیرهای ۳ روزه و حاوی ۰/۰۵٪ صمغ بود، که تفاوت معنی‌داری ($p \leq 0/05$) با سایر نمونه‌ها داشتند، درحالی‌که

اثر صمغ فارسی بر ویژگی‌های حسی پنیر فراپالایش آب‌نمکی طی دوره نگهداری

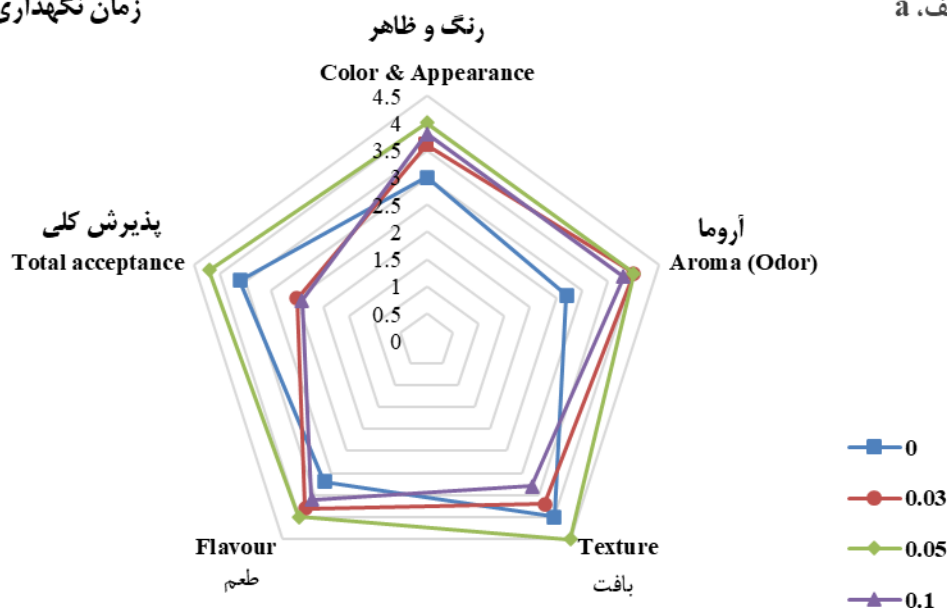
در شکل ۸ اثر صمغ فارسی بر ویژگی‌های حسی (رنگ و ظاهر، آروما، بافت، طعم و پذیرش کلی) پنیر فراپالایش آب‌نمکی در طول دوره نگهداری ۳ روزه (۱۹-الف)، ۴۵ روزه (۱۹-ب) و ۹۰ روزه (۱۹-پ) نشان داده شده است. همان‌گونه که مشخص است، امتیاز رنگ و ظاهر پنیرهای ۳، ۴۵ و ۹۰ روزه در هر یک از غلظت‌ها تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. پنیر ۳ روزه حاوی ۰/۰۵٪ صمغ بیشترین و پنیر ۴۵ روزه حاوی ۰/۱٪ صمغ کمترین امتیاز رنگ و ظاهر را به خود اختصاص دادند. به جز پنیرهای ۴۵ و ۹۰ روزه که افزایش غلظت صمغ از ۰/۰۵ به ۰/۱٪ باعث کاهش معنی‌دار ($p \leq 0/05$) امتیاز رنگ و ظاهر آنها گردید در سایر موارد افزایش غلظت صمغ تأثیر معنی‌داری بر امتیاز رنگ و ظاهر نمونه‌ها نداشت. آرومای

بالاتر از سایر نمونه‌ها بود، درحالی‌که کمترین امتیاز پذیرش کلی مربوط به پنیر حاوی ۰/۱٪ صمغ بود. به‌طور کلی، پنیر حاوی ۰/۰۵٪ صمغ از نظر ویژگی‌های حسی امتیاز بالاتری نسبت به سایر نمونه‌ها کسب نمود و پنیر حاوی ۰/۱٪ صمغ از طرف ارزیابان کمترین امتیاز حسی را به‌دست آورد.

پنیرهای ۹۰ روزه و حاوی ۰/۱٪ صمغ کمترین امتیاز طعم را به خود اختصاص دادند. پذیرش کلی نمونه‌ها نیز تنها تحت تأثیر معنی‌دار غلظت صمغ قرار داشت و اثر زمان و تأثیر متقابل آن با غلظت بر امتیاز پذیرش کلی معنی‌دار نبود. پنیر حاوی ۰/۰۵٪ صمغ بیشترین پذیرش کلی را داشت که به‌طور معنی‌داری ($p \leq 0.05$)

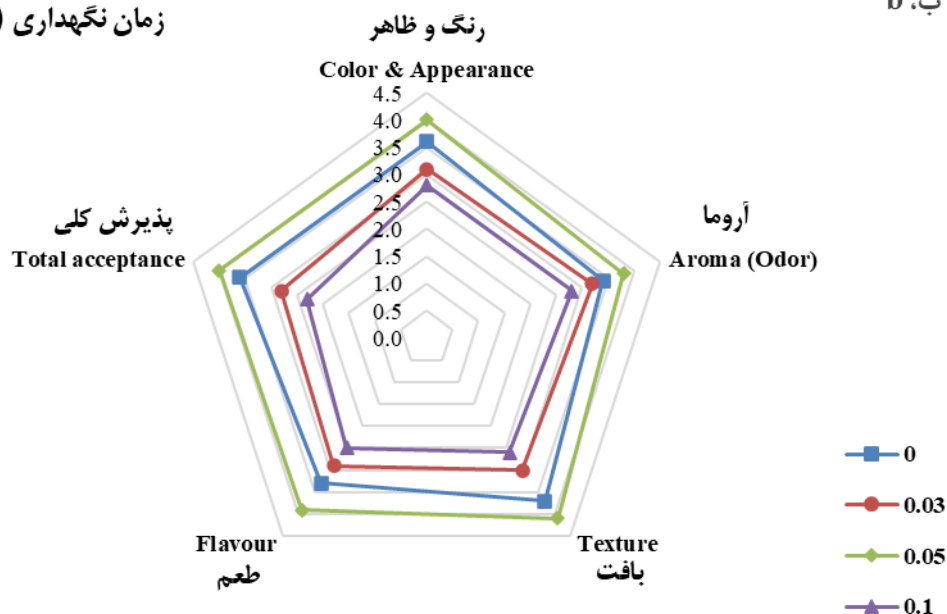
Storage time (3 d)
زمان نگهداری (روز ۳)

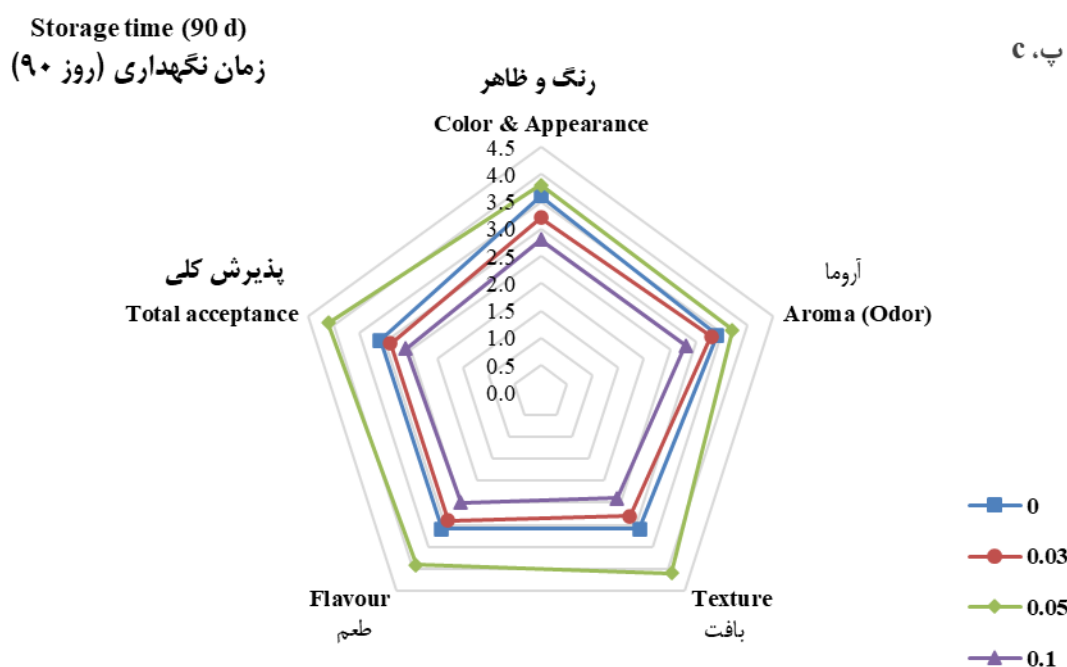
الف، a



Storage time (45 d)
زمان نگهداری (روز ۴۵)

ب، b





شکل ۸- اثر صمغ فارسی بر ویژگی‌های حسی پنیر فراپالایش آب‌نمکی طی دوره نگهداری ۳ روزه (الف)، ۴۵ روزه (ب) و ۹۰ روزه (پ)
Fig. 8. The effect Persian gum on sensory characteristics of of brined ultrafiltered cheese during storage 3d (a), 45d (b) and 90d (c)

بیان داشتند که نمونه‌های پنیر فراپالایش با بیشترین میزان صمغ کینوا از نظر طعم، رنگ و ظاهر و مجموع امتیازات از کمترین امتیاز حسی برخوردار بودند، در حالی که از لحاظ بافت و بدنه بیشترین امتیاز را داشتند، که این موضوع می‌تواند به دلیل جذب آب بالاتر توسط هیدروکلوئید باشد. امتیاز پذیرش کلی نشان داد که پنیر با غلظت هیدروکلوئید کمتر دارای پذیرش بیشتری می‌باشد. همچنین مشاهده شد که افزایش میزان هیدروکلوئید باعث ایجاد طعم تلخ ضعیف در پنیر شد. طبق نتایج به دست آمده از مطالعه بغدادی و همکاران (Baghdadi et al., 2018)، پنیرهای آب‌نمکی حاوی صمغ دانه ریحان، نسبت به نمونه‌های بدون صمغ دارای کمترین امتیاز بافت و ظاهر بودند. امتیاز طعم نیز به دلیل شوری و بافت نرم، کمتر بود. شندی (Shendi, 2017) گزارش داد که پنیر سفید ایرانی کم‌چرب حاوی غلظت بالاتر صمغ گوار از لحاظ بافت و طعم بیشترین امتیاز را به خود اختصاص داد، در حالی که پنیر با غلظت کمتر صمغ از نظر ظاهری و پذیرش کلی بالاترین امتیاز را داشت. وجود حالت بافتی مناسب نه زیاد سفت و نه زیاد نرم و ظاهر آن، که بیشترین امتیاز را کسب کرده بود، می‌تواند علت این پدیده باشد.

نتایج پژوهش حمدی و همکاران (Hamdy et al., 2021) بر روی پنیر فتای کم‌چرب در طول دوره نگهداری حاکی از افزایش امتیازات بافت، طعم و پذیرش کلی در انتهای دوران نگهداری بود. آنها علت بهبود بافت را کاهش رطوبت طی دوره نگهداری و دلیل ارتقای طعم را فعالیت‌های متابولیکی آغازگرها عنوان کردند.

غلامحسین‌پور و همکاران (Gholamhosseinpour et al., 2023) در بررسی اثر زمان نگهداری بر ویژگی‌های حسی پنیر فراپالایش آب‌نمکی مشاهده کرد که در بیشتر تیمارها، امتیاز حسی پنیرهای ۱۰۵ روزه در مقایسه با پنیرهای ابتدای دوره نگهداری به‌طور معنی‌داری بالاتر بود. مطالعه نظری و همکاران (Nazari et al., 2020) بر روی پنیر فتای کم‌چرب نیز نشان داد که ظاهر، مزه و پذیرش کلی نمونه‌ها طی ۶۰ روز نگهداری به‌طور معنی‌داری بهبود پیدا کرد، اما در آروما و بافت پنیرها تغییر معنی‌داری مشاهده نشد. دلیل ارتقای امتیاز طعم و آرومای پنیر طی دوره نگهداری به فعالیت‌های متابولیکی آغازگرها و آزاد شدن اسیدهای چرب و آمینه نسبت داده شده است (Hamdy et al., 2021).

صمغ‌ها به دلیل توانایی بالا در نگهداری رطوبت از قابلیت بهبود ویژگی‌های حسی پنیر برخوردار می‌باشند (Aminifar et al., 2014). عبدالمطلب و همکاران (Abdelmontaleb et al., 2021)، کاهش امتیاز تمام صفات حسی پنیر طی دوره نگهداری را گزارش کردند. آنها

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که روند تغییرات خاکستر (%)، حالت صمغی (N) (جز نمونه شاهد)، حالت آدامسی (Nmm)، چسبندگی (Ns) و قابلیت شکست (N) (جز نمونه شاهد) تا روز ۴۵ افزایشی بود و پس از آن تا انتهای دوره نگهداری کاهش پیدا کردند. با افزایش زمان نگهداری نیز مقادیر اسیدیته (% اسید لاکتیک) و نمک (% پنیرها به‌صورت پیوسته‌ای افزایش یافتند، درحالی‌که میزان چربی (% نمونه‌ها کاهش پیدا کرد. همچنین افزایش غلظت صمغ باعث کاهش معنی‌دار ($p \leq 0.05$) میزان اسیدیته، حالت صمغی، حالت آدامسی و قابلیت شکست گردید، درحالی‌که مقادیر خاکستر و حالت چسبندگی پنیرها افزایش معنی‌داری ($p \leq 0.05$) پیدا کردند. عدم آلودگی میکروبی (کلیرمی، کپکی و مخمری) نمونه‌های شاهد و حاوی صمغ طی ۹۰ روز موید ایمنی میکروبی محصول در طول دوره نگهداری بود. از نظر ارزیابی حسی نیز پنیر حاوی ۰/۰۵ % صمغ

بالاترین و پنیر حاوی ۰/۱ % صمغ پایین‌ترین امتیاز حسی را نسبت به سایر نمونه‌ها کسب کردند. با توجه به تأثیر مثبت صمغ فارسی بر ویژگی‌های مختلف پنیر فراپالایش آب‌نمکی به‌ویژه بهبود بافت، استفاده از آن در تولید صنعتی این محصول و همچنین بررسی اثر ترکیبی آن با سایر هیدروکلوئیدها توصیه می‌گردد.

میزان مشارکت

علی‌اکبر غلامحسین‌پور: تحقیق و بررسی، نرم‌افزار، نوشتن، بررسی و ویرایش؛ سعید زارع: مفهوم‌سازی، مدیریت داده‌ها.

منابع تأمین مالی

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

References

- Abbasi, S. (2017). Challenges towards characterization and applications of a novel hydrocolloid: Persian gum. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 28, 37-45. <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2017.03.001>
- Abdelmontaleb, H.S., Othman, F.A., Degheidi, M.A., & Abbas, K.A. (2021). The influence of quinoa flour addition on the physicochemical, antioxidant activity, textural, and sensory characteristics of UF- soft cheese during refrigerated storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(5), e15494. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15494>
- Ali, A.A., El-Ghany, A., Zeidan, M., & Kheder, A.A. (2016). Use of hydrocolloids for enhancing Egyptian style low fat white cheese attributes. *Journal of Food and Dairy Sciences*, 7(8), 363-369. <https://doi.org/10.21608/jfds.2016.46028>
- Al- Otaibi, M.M., & Wilbey, R.A. (2004). Effect of temperature and salt on the maturation of white- salted cheese. *International journal of dairy technology*, 57(1), 57-63. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2004.00123.x>
- Aminifar, M., Emam-Djome, Z., & Belgheisi, S. (2014). Effect of xanthan and milk protein concentrate on hardness, microstructure and ester release of low-fat brined cheese. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 9(1), 83-92.
- AOAC. (2005). Official Methods of Analysis of the AOAC (Association of Official Analytical Chemists) International, G. W. Latimer and W. Horwitz (Eds.), 18th ed, in ash (incineration at 550°C method) method 935.42, Gaithersburg, MD.
- Atasoy, A.F., Hayaloglu, A.A., Ceylan, H.G., & Çiçek, M. (2021). Effects of scalding parameters and ripening on the chemical, textural and microstructural properties of Urfa cheese. *Journal of Agricultural Sciences*, 27(2), 155-163. <https://doi.org/10.15832/ankutbd.605018>
- Azarnia, S., Ehsani, M.R., & Mirhadi, S.A. (1997). Evaluation of the physico-chemical characteristics of the curd during the ripening of Iranian brine cheese. *International Dairy Journal*, 7(6-7), 473-478. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(97\)00034-4](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(97)00034-4)
- Azarnia, F., Roozbeh, L., Alaeddini, B., & Ebrahimi Pure, A. (2014, October). Effect of *Alyssum homolocarpum* gum as fat replacer on chemical and sensory properties of ultra-filtrated Iranian white cheese. In First International Conference on Natural Food Hydrocolloids, Mashhad, Iran (pp. 22-23).
- Baghdadi, F., Aminifar, M., Farhoodi, M., & Shojaee Ali Abadi, S. (2018). Study of macromolecular interactions in low- fat brined cheese modified with Zedu gum. *International Journal of Dairy Technology*, 71(2), 382-394. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12476>
- Baghdadi, F., Aminifar, M., Farhoodi, M., & Shojaee, S. (2018). Changes in the structure of Brined cheese modified with basil seed gum based on protein-polysaccharide interactions. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 20(4), 695-708.
- Beik Mohammadi, M., Bolandi, M., & Ghoddusi, H.B. (2015). Production and physicochemical, rheological, sensory analysis of "Lour" cheese. *Journal of Food Science and Technology*, 12(49), 41-49.
- Bertolino, M., Dolci, P., Giordano, M., Rolle, L., & Zeppa, G.J.F.C. (2011). Evolution of chemico-physical

- characteristics during manufacture and ripening of Castelmagno PDO cheese in wintertime. *Food Chemistry*, 129(3), 1001-1011. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.05.060>
14. BSI. (1989). Standard no. 696: Gerber method for the determination of fat in milk and milk products. London, UK: British Standards Institution.
 15. Clark, S., Costello, M., Drake, M., & Bodyfelt, F. (2009). The sensory evaluation of dairy products. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-77408-4>
 16. Dabestani, M., Kadkhodaei, R., Phillips, G.O., & Abbasi, S. (2018). Persian gum: A comprehensive review on its physicochemical and functional properties. *Food Hydrocolloids*, 78, 92-99. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.06.006>
 17. Fang, Y., Zhang, H., & Nishinari, K. (Eds.). (2021). *Food hydrocolloids: Functionalities and applications*. Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-981-16-0320-4>
 18. Fox, P.F., Guinee, T.P., Cogan, T.M., & McSweeney, P.L. (2017). *Fundamentals of cheese science* (pp. 121-183). New York: Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7681-9>
 19. Fritzen- Freire, C.B., Mueller, C.M., Laurindo, J.B., Amboni, R.D.D.M., & Prudencio, E.S. (2010). The effect of direct acidification on the microbiological, physicochemical and sensory properties of probiotic Minas Frescal cheese. *International Journal of Dairy Technology*, 63(4), 561-568.
 20. Gholamhosseinpour, A., & Zare, S. (2024). Investigating the effect of Persian gum on physicochemical, textural and rheological characteristics of UF white brined cheese during ripening. *International Dairy Journal*, 105952. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2024.105952>
 21. Gholamhosseinpour, A., Karimi Davijani, A., & Karami, M. (2023). Investigating the effect of ozone on the physicochemical, microbial and sensory properties of brined ultrafiltered cheese during ripening. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. <https://doi.org/10.22067/ifstrj.2023.81663.1244>
 22. Gholamhosseinpour, A., Mazaheri Tehrani, M., & Razavi, S.M.A. (2021). The effects of commercial mixed-strain starter cultures on the chemical and sensory characteristics of UF-Feta cheese analogue during ripening. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 17(6), 153-166. <https://doi.org/10.22067/ifstrj.2021.70493.1050>
 23. Gholamhosseinpour, A., Mazaheri Tehrani, M., & Razavi, S.M.A. (2018). Optimization of textural characteristics of analogue UF-Feta cheese made from dairy and non-dairy ingredients. *Iranian Journal Food Science and Technology Research*, 13, 80-91. <https://doi.org/10.22067/ifstrj.v1396i0.59349>
 24. Gholamhosseinpour, A., Tehrani, M.M., Razavi, S.M.A., & Rashidi, H. (2014). Evaluation and optimization of chemical and sensory properties of various formulations of recombined UF-Feta cheese analogues using response surface methodology. *Iranian Journal Food Science and Technology Research*, 10(2), 107-121. <https://doi.org/10.22067/ifstrj.v10i2.37815>
 25. Gunsekaran, S., & Ak, M.M. (2003). *Cheese rheology and texture* (pp. 41, 44, 313-323). Boca Raton, FL, USA: CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420031942>
 26. Hamdy, A.M., Ahmed, M.E., Mehta, D., Elfaruk, M.S., Hammam, A.R., & El- Derwy, Y.M. (2021). Enhancement of low- fat Feta cheese characteristics using probiotic bacteria. *Food Science & Nutrition*, 9(1), 62-70. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1889>
 27. Hashemi, S.M.B., Gholamhosseinpour, A., & Abedi, E. (2021). Biopreservative potential of Lactobacillus strains in yoghurt dessert. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(2), 1634-1643. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00755-z>
 28. Hesarinejad, M.A., Lorenzo, J.M., & Rafe, A. (2021). Influence of gelatin/guar gum mixture on the rheological and textural properties of restructured ricotta cheese. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 2, 100162. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2021.100162>
 29. ISIRI. (2007). Milk and milk products – Enumeration of colony-forming units of yeasts and/or moulds-colony - Count Technique at 25°C. *Iran National Standards Organization*, No. 10154.
 30. ISIRI. (2008). Microbiology of food and animal feeding stuffs – Horizontal method for the detection and enumeration of coliforms – Most probable number technique. *Iran National Standards Organization*, No. 11166.
 31. ISIRI. (2022). Milk and milk products, determination of titrable acidity and pH, test method. *Iran National Standards Organization*, 2nd Revision, No. 2852.
 32. Karami, M., Ehsani, M.R., Mousavi, M.E., Rezaei, K., & Safari, M. (2008). Microstructural changes in fat during the ripening of Iranian ultrafiltered Feta cheese. *Journal of Dairy Science*, 91(11), 4147-4154. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1249>
 33. Karimi, R., Mortazavian, A.M., & Karami, M. (2012). Incorporation of *Lactobacillus casei* in Iranian ultrafiltered Feta cheese made by partial replacement of NaCl with KCl. *Journal of Dairy Science*, 95(8), 4209-4222. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4872>
 34. Khani, A., & Roufegari-Nejad, L. (2019). Low fat UF-feta cheese production containing xanthan gum. *Food Research Journal*, 29(1), 155-167.
 35. Kumar, S., Kanawjia, S.K., & Kumar, S. (2011). The effect of varying casein/fat ratio on physicochemical and sensory qualities of Feta- type cheese made using buffalo milk. *International Journal of Dairy Technology*, 64(3),

- 380-385. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2011.00686.x>
36. Madadlou, A., Mousavi, M.E., & Farmani, J. (2007). The influence of brine concentration on chemical composition and texture of Iranian white cheese. *Journal of Food Engineering*, 81(2), 330-335. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.11.010>
37. Nateghi, L. (2020). Influence of basil and xanthan gum on physicochemical and tissue properties of Iranian low-fat white cheese. *Journal of Innovation in Food Science and Technology*, 12(1), 27-45. <https://doi.org/10.30495/JFST.2020.665332>
38. Nazari, S.M., Mortazavi, A., Hesari, J., & Tabatabaei Yazdi, F. (2020). Proteolysis and textural properties of low-fat ultrafiltered Feta cheese as influenced by maltodextrin. *International Journal of Dairy Technology*, 73(1), 244-254. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12642>
39. O'Mahony, J., Lucey, J., & McSweeney, P.J.J.O.D.S. (2005). Chymosin-mediated proteolysis, calcium solubilization, and texture development during the ripening of Cheddar cheese. *Journal of Dairy Science*, 88(9), 3101-3114. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72992-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72992-1)
40. Rostamabadi, H., Jooyandeh, H., & Hojjati, M. (2016). Optimization of Iranian low-fat cheese with addition of Persian and almond gums as fat replacers by response surface methodology. *Research and Innovation in Food Science and Technology*, 5(3), 235-248. <https://doi.org/10.22101/JRIFST.2016.12.19.532>
41. Rostamabadi, H., Jooyandeh, H., & Hojjati, M. (2017). Optimization of physicochemical, sensorial and color properties of ultrafiltrated low-fat Iranian white cheese containing fat replacers by Response Surface Methodology. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 14(63), 94-106.
42. Santos, T.J.D., Pieretti, G.G., Marques, D.R., Scapim, M.R.D.S., Branco, I.G., & Madrona, G.S. (2015). Microbial, physical, chemical and sensory properties of Minas Frescal Cheese with inulin and acacia gum. *Acta Scientiarum-Technology*, 37(1), 155-160. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v37i1.19744>
43. Shafiei, Z., Hojjatoleslami, M., Soha, S., & Shariati, M.A. (2014). The influence of malt extraction adding to UF fresh low fat cheese on its textural properties. *International Journal of Science and Engineering*, 6(1), 52-55. <https://doi.org/10.12777/ijse.6.1.52-55>
44. Shahab Lavasani, A.R., Ehsani, M.R., Mirdamadi, S., & Ebrahim Zadeh Mousavi, M.A. (2012). Changes in physicochemical and organoleptic properties of traditional Iranian cheese Lighvan during ripening. *International Journal of Dairy Technology*, 65(1), 64-70. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2011.00724.x>
45. Sharafi, S., Nateghi, L., Eyvazzade, O., & Ebrahimi Taj Abadi, M. (2019). Optimization and evaluation of textural properties of ultra-filtrated low-fat cheese containing galactomannan and Novagel gum. *Mljekarstvo: časopis za unaprjeđenje proizvodnje i prerade mlijeka*, 69(4), 239-250. <https://doi.org/10.15567/mljekarstvo.2019.0404>
46. Shendi, E.G. (2017). Investigation of using guar gum for improving of texture and rheological features of Iranian low fat white cheese. *International Journal of Advancements in Technology*, 8(3), 1000187. <https://doi.org/10.4172/0976-4860.1000187>
47. Souza, C.H., & Saad, S.M. (2009). Viability of *Lactobacillus acidophilus* La-5 added solely or in co-culture with a yoghurt starter culture and implications on physico-chemical and related properties of Minas fresh cheese during storage. *LWT-Food Science and Technology*, 42(2), 633-640. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.07.015>
48. Volikakis, P., Biliaderis, C.G., Vamvakas, C., & Zerfiridis, G.K. (2004). Effects of a commercial oat-β-glucan concentrate on the chemical, physico-chemical and sensory attributes of a low-fat white-brined cheese product. *Food Research International*, 37(1), 83-94. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2003.07.007>
49. Volikakis, P., Biliaderis, C.G., Vamvakas, C., & Zerfiridis, G.K. (2004). Effects of a commercial oat-β-glucan concentrate on the chemical, physico-chemical and sensory attributes of a low-fat white-brined cheese product. *Food Research International*, 37(1), 83-94. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2003.07.007>
50. Yasar, K., & Guzeler, N. (2011). Effects of coagulant type on the physicochemical and organoleptic properties of Kashar cheese. *International Journal of Dairy Technology*, 64(3), 372-379. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2011.00679.x>
51. Yousefi, M., & Jafari, S.M. (2019). Recent advances in application of different hydrocolloids in dairy products to improve their techno-functional properties. *Trends in Food Science & Technology*, 88, 468-483. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.04.015>
52. Zomorodi, S., Azarpazhooh, E., & Behmadi, H. (2019). Comparison of the effect of linseed and basil seed mucilages with gum tragacanth and xanthan gum on textural and rheological properties of Iranian white cheese produced by ultrafiltration technique effect of some gums on properties of ultrafiltrated cheese. *Journal of Food and Bioprocess Engineering*, 2(1), 13-18.
53. Zomorodi, S., Azarpazhooh, E., & Behmadi, H. (2020). Influence of some hydrocolloids on textural properties of UF cheese. *Journal of Food Biosciences and Technology*, 10(2), 1-10.
54. Zonoubi, R., & Goli, M. (2021). The effect of complete replacing sodium with potassium, calcium, and magnesium brine on sodium-free ultrafiltration Feta cheese at the end of the 60-day ripening period: Physicochemical, proteolysis-lipolysis indices, microbial, colorimetric, and sensory evaluation. *Food Science & Nutrition*, 9(2), 866-874. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2050>

Antimicrobial and Antioxidant Effects of Sage Seed Gum Film Incorporated with *Laurus nobilis* Essential Oil Nanoemulsion

H. Taghvatalab¹, D. Jafarpour^{2*}

1 and 2- M.Sc. Graduated and Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Fasa Branch, Islamic Azad University, Fasa, Iran, respectively.

(*- Corresponding Author Email: Do.Jafarpour@iau.ac.ir)

Received: 14.05.2024
Revised: 14.06.2024
Accepted: 04.07.2024
Available Online: 04.07.2024

How to cite this article:

Taghvatalab, H., & Jafarpour, D. (2024). Antimicrobial and antioxidant effects of sage seed gum film incorporated with *Laurus nobilis* essential oil nanoemulsion. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 20(5), 607-620. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.88064.1332>

Introduction

Scientific evidence is mounting that synthetic chemicals used as food additives may have harmful impacts on health and the biological system and cause many diseases and damages to the human body. Also, many consumers are concerned about the use of artificial ingredients to maintain the quality and safety of foods. Therefore, the use of natural preservatives and food preservation methods based on natural compounds have attracted the attention of researchers. Edible films and coatings are useful materials, mainly produced from biodegradable polymers including polysaccharides (gums), proteins, and lipids, and are commonly used for the shelf life extension of foods. The primary edible films /coatings are promising alternative methods to preserve, and retard the adverse chemical reactions and microbial growth. They also can act as a carrier of antimicrobials, antioxidant substances, and other additives. Sage seed gum (SSG) is a water-soluble polysaccharide obtained from Sage (*Salvia macrosiphon*). It is an environmentally-friendly biodegradable material that can form high-viscosity aqueous solution and exhibit pseudoplastic behavior. Essential oils (EOs) are volatile and aromatic oily liquids extracted from various plants. Most of the EOs have antimicrobial and antioxidant activities due to their phenolic compounds, terpenes and terpenoids. A promising technique is incorporating EOs into coating solutions as active film/coating to extend the shelf life of food products. Bay leaf (*Laurus nobilis*) is an aromatic evergreen tree or large shrub with green, glabrous leaves. It is used as a flavoring agent and an essential ingredient in food preparation. Bay leaf has received much attention due to its antimicrobial, antioxidant, anti-inflammatory and immune system stimulating properties. Hence, the aim of the present study was to evaluate the antimicrobial and antioxidant properties of SSG coating incorporated with different concentrations of bay leaf EO (BLEO) and its nanoemulsion (BLNEO).

Materials and Methods

The active packaging was produced based on the gum of sage seed containing BLEO and BLNEO. After preparing the EO from bay leaves, their corresponding NEO was produced and the characterization of nanoparticles was evaluated in terms of droplet size, polydispersity index (PDI) and zeta potentials. Then, the antimicrobial and antioxidant properties of BLEO and BLNEO were compared. After that, SSG coatings were prepared with 1.5% and 3% BLEO and their corresponding NEO forms. Subsequently, the antioxidant (DPPH and ABTS) and antimicrobial (against *Bacillus cereus*, and *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, and *Escherichia coli*) properties of the produced films were investigated.

Results and Discussion

Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) identified 1,8-Cineole and α - Terpinyl acetate as the major components of BLEO. The BLNEO exhibited a droplet size of approximately 92.4 nm and a zeta potential



©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.2024.88064.1332>

of -45.1 mV. In comparison to the control and SSG, it was found that the group comprising EO and NEO significantly ($p<0.05$) showed superior free radical scavenging capacity. SSG-3% BLNEO had the highest DPPH inhibition percentage (69.54%). According to the results, EO at the nanoscale can scavenge more free radicals than EO ($p<0.05$). Antimicrobial inhibition zone of different treatments against selected gram positive and gram negative bacteria showed that all bacteria were strongly inhibited after the addition of BLEO into the SSG. Moreover, data revealed that the growth of the studied pathogens was completely inhibited in a dose-dependent manner ($p<0.05$). SSG-BLNEO exhibited better antimicrobial activity than SSG-BLEO coating and its antimicrobial activity was significantly enhanced by increasing BLNEO concentration ($p<0.05$). This phenomenon is attributed to the protective role of encapsulation and the slow release of EO from the coating matrix, resulting in enhanced antimicrobial activity. Nanoemulsions, owing to their small droplet size and high surface area, offer superior efficacy compared to conventional emulsions. Consequently, the gradual release of essential oils from nanoemulsion-based edible coatings contributes to their enhanced antimicrobial performance.

Conclusion

These findings suggest that the SSG-BLNEO edible active coating possesses promising applications as an antimicrobial and antioxidant agent for food packaging applications.

Keywords: Antioxidant properties, Bay leaf essential oil, Nanoemulsion, Sage seed gum

مقاله پژوهشی

جلد ۲۰، شماره ۵، آذر-دی ۱۴۰۳، ص. ۶۰۷-۶۲۰

ارزیابی اثرات ضد میکروبی و آنتی اکسیدانی فیلم تهیه شده از صمغ دانه مرو حاوی نانوامولسیون اسانس برگ بو (*Laurus nobilis*)

حدیث تقواطلب^۱ - درنوش جعفرپور^{۲*} 

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۴

چکیده

در سال‌های اخیر افزودن نگهدارنده‌های شیمیایی باعث ایجاد بیماری‌های بسیاری شده است. همچنین بسیاری از مصرف‌کنندگان نگران استفاده از مواد مصنوعی برای حفظ کیفیت و ایمنی غذا هستند. از این رو، این مطالعه با هدف تولید یک نوع فیلم فعال بر پایه صمغ دانه مرو حاوی اسانس و نانوامولسیون اسانس برگ بو انجام شد. پس از تهیه اسانس برگ بو، نانوامولسیون آن تولید و از نظر اندازه و توزیع ذرات بررسی شد. به فیلم صمغ دانه مرو، اسانس و نانوامولسیون اسانس برگ بو در غلظت‌های ۱/۵ و ۳ درصد افزوده و خواص آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی فیلم‌های تولیدی مورد بررسی قرار گرفتند. متوسط قطر ذرات نانوامولسیون اسانس ۹۲/۴ نانومتر و پتانسیل زتا ۴۵/۱- میلی‌ولت بدست آمد. نتایج نشان داد که فیلم حاوی نانوامولسیون اسانس در مهار رشد باکتریایی مؤثرتر از فیلم حاوی اسانس بود و /ستافیلوکوکوس/ اورئوس به‌عنوان حساس‌ترین باکتری و اشریشیاکلی به‌عنوان مقاوم‌ترین باکتری شناسایی گردید. فیلم حاوی اسانس و نانوامولسیون اسانس ویژگی‌های آنتی اکسیدانی خوبی را نسبت به نمونه شاهد ($P < 0.05$) نشان دادند به‌طوری‌که فیلم حاوی ۳٪ نانوامولسیون اسانس، بالاترین فعالیت مهار رادیکال‌های آزاد داشت. نتایج این مطالعه تأیید کرد که فیلم‌های تهیه شده از صمغ دانه مرو حاوی اسانس و نانوامولسیون اسانس برگ بو می‌توانند به‌طور بالقوه به‌عنوان بسته‌بندی فعال با خواص ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی مورد استفاده قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: اسانس برگ بو، خواص آنتی‌اکسیدانی، صمغ دانه مرو، نانوامولسیون

مقدمه

(Jouki et al., 2013). امروز فیلم‌های زیست‌تخریب پذیر از پروتئین‌ها، لیپیدها و پلی‌ساکاریدها و یا ترکیبی از آن‌ها تهیه می‌شود. صمغ حاصل از دانه مرو، یک صمغ آبیونی از نوع گالاتومانان (نسبت مانوز به گالاتوز ۱: ۱/۹۸-۱/۷۸)، با وزن مولکولی متوسط (۴۰۰ کیلو دالتون) و پیکره سفت میله‌مانند است و حاوی ۲۸/۲-۳۲/۲٪ اسید ارونیک بوده که بیانگر ماهیت پلی‌الکترولیتی آن می‌باشد. این صمغ یک پلی‌ساکارید محلول در آب بوده که از دانه‌های گیاه مرو متعلق به جنس *Salvia macrosiphon* و خانواده Labiatae بدست آمده و به‌عنوان فیلم خوراکی استفاده می‌شود. بالا بودن ویسکوزیته، تنش تسلیم و رفتار شدیداً سودوپلاستیک صمغ دانه مرو در غلظت‌ها و دماهای مختلف، نشان می‌دهد که این صمغ جدید ویژگی‌های کاری خوبی را به‌عنوان یک پایدارکننده، غلیظ‌کننده، پیونددهنده و ژلی‌کننده، در سیستم‌های غذایی، دارویی و آرایشی بهداشتی بدست می‌دهد (Mu et al., 2012). این دانه به‌دلیل تولید موسیلاژ فراوان،

امروزه مصرف‌کنندگان نگران استفاده از ترکیبات مصنوعی به عنوان افزودنی برای حفظ محصولات غذایی هستند. علاوه بر این، صنایع غذایی از محصولات طبیعی دارای فعالیت ضد میکروبی به منظور حفظ کیفیت مواد غذایی بدون تأثیر بر مصرف‌کنندگان استقبال می‌کند (da Silva Dannenberg et al., 2017). فیلم‌های خوراکی مانند اسانس که حاوی ترکیبات ضد میکروبی طبیعی هستند، به‌عنوان بسته‌بندی عالی برای نگهداری مواد غذایی در نظر گرفته می‌شوند. امروزه به‌دلیل تجزیه‌ناپذیری مواد بسته‌بندی مصنوعی، تمایل محققان به منابع طبیعی برای تولید فیلم‌های خوراکی افزایش یافته است

۱ و ۲- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و استادیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد فسا، دانشگاه آزاد اسلامی، فسا، ایران
(*)- نویسنده مسئول
(Email: Do.Jafarpour@iau.ac.ir)
<https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.88064.1332>

مرور پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که اسانس برگ بو علی‌رغم اثر ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی مطلوب تاکنون در فیلم فعال حاصل از صمغ دانه مرو بکار نرفته است، از این رو در این پژوهش علاوه بر بررسی خصوصیات آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی اسانس و نانوامولسیون اسانس برگ بو، تأثیر آن‌ها در فیلم‌های تولیدی نیز بررسی خواهد شد.

مواد و روش‌ها

تهیه برگ بو

گیاه برگ بو بصورت خشک از یکی از عطاری‌های معتبر شهرستان فسا خریداری شد.

اسانس‌گیری

جهت تهیه اسانس، ۶۰ گرم از برگ بوی آسیاب شده، در یک بالن یک لیتری قرار داده شد. ۶۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به بالن اضافه و به دستگاه کلونجر متصل شد. تقطیر به مدت ۲ ساعت و ۳۰ دقیقه انجام شد. بازده اسانس تولیدی ۱/۶ درصد بدست آمد (بدین طریق که به ازای هر ۶۰ گرم برگ بو آسیاب شده، ۱۰ اسانس گرفته شد).

شناسایی ترکیبات اسانس

به منظور شناسایی ترکیب‌های اسانس، از دستگاه کروماتوگرافی گازی متصل به طیف‌سنج جرمی (GC/MS^1) استفاده شد. این دستگاه مجهز به ستون موئینه DB-5 ms EVDX (۰/۳۲۰ mm) × ۰/۳۲۰ و همچنین دکتور Hewlett- Packard ۵۹۷۳ بود. برنامه-ریزی حرارتی ستون به شرح زیر بود: گاز حامل با سرعت جریان ۱/۵ میلی‌لیتر بر دقیقه، سرعت تزریق یک میکرولیتر و نسبت شکاف نمونه ۱ به ۲۰، دمای اولیه ۱۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۵ دقیقه، اولین افزایش دما تا ۱۳۰ درجه سلسیوس با گرادین دمای ۱۰ درجه سلسیوس بر دقیقه، دومین افزایش دما تا ۲۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۳ دقیقه تنظیم شد (Sajjadi et al., 2020).

تهیه نانوامولسیون اسانس

تهیه نانوامولسیون اسانس برگ بو طبق روش خودری و رومیانی (Khodri & Romiani, 2019)، با کمی تغییرات انجام شد. برای آماده‌سازی نانوامولسیون از آب مقطر، ۲ در صد اسانس برگ بو و ۲ درصد امولسیفایر توئین ۸۰ به عنوان سورفکتانت استفاده گردید. به این ترتیب که ترکیب هر سه با استفاده از همزن مگنت‌دار با ۸۰۰ دور در دقیقه به مدت ۴۰ دقیقه انجام شد. محلول تهیه شده در دمای اتاق نگهداری شد.

در فرمول چهار تخمه که جهت برطرف کردن خارش‌های گلو و سرفه استفاده می‌شود کاربرد سنتی دارد (Mirzai & Mohammadi Sani, 2017).

گیاهان تیره برگ بو به صورت درخت یا درختچه بوده و مخصوص نواحی گرم کره زمین هستند. برگ بو معمولاً در نواحی گرم و مناطقی با اقلیم گرم و بارندگی زیاد یافت می‌شود. گیاهان این تیره دارای سلول‌های اسانس‌دار پراکنده در اعضای مختلف و سلول‌های موسیلاژدار، مخصوصاً در ناحیه پوست هستند. از نظر درمانی خواص عده‌ای از این گیاهان مربوط به وجود اسانس‌ها در بخش‌های مختلف آن‌ها می‌باشد. برگ بو جز گیاهان معطر و دارویی می‌باشد و اسانس موجود در برگ‌های آن دارای خواص ضد میکروبی و ضد باکتریایی و آنتی‌اکسیدانی می‌باشد. امروزه از برگ بو علاوه بر چاشنی غذا و ماده معطر در صنعت داروسازی و فرمولاسیون دارو مورد استفاده قرار می‌گیرد (Naderi Hagibaghercandi et al., 2009). از جمله ترکیبات طبیعی که بعنوان نگهدارنده در مواد غذایی بکار می‌روند، می‌توان به اسانس‌های گیاهی اشاره کرد. به دلیل وجود ترکیبات فنلی، تربین‌ها و ترپنوئیدها، بسیاری از اسانس‌ها خواص ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی از خود نشان می‌دهند (Gholamhosseinpour et al., 2023). یکی از زمینه‌های کاربرد نانو در صنایع غذایی درونپوشانی کردن ترکیبات حساس به شرایط محیطی و یا ترکیبات فرار از جمله اسانس‌های گیاهی می‌باشد. نانوامولسیون‌ها را می‌توان به عنوان امولسیون‌های روغن در آب (O/W) تعریف کرد که از نظر ترمودینامیکی پایدار و بر خلاف میکروامولسیون‌ها از نظر جنبشی پایدار هستند و تشکیل آن‌ها به انرژی مکانیکی شدید نیاز دارد. معمولاً اندازه متوسط قطرات بین ۵۰ تا ۲۰۰ نانومتر است (Stubenrauch, 2009). مطالعات اخیر نشان می‌دهد که اندازه ذرات لیپیدی کوچک در نانوامولسیون‌ها خواص فیزیوشیمیایی لایه‌ها را افزایش می‌دهد و ممکن است فعالیت بیولوژیکی ترکیبات چربی دوست را بهبود بخشد (Badr et Galus & Kadzi nska, 2015; al., 2021). نانوامولسیون‌ها به دلیل اندازه قطرات کوچکشان از نظر نوری شفاف یا نیمه شفاف هستند و پایداری ترمودینامیکی بالایی در برابر رسوب و تجمع نشان می‌دهند. ذرات نانوامولسیون از نظر ترمودینامیکی به سمت ارگانوسم‌هایی که ساختار لیپیدی در غشاهای خود دارند رانده می‌شوند و این اتصال با گرانش الکترواستاتیکی بین بارهای کاتیونی ذرات نانوامولسیون و بارهای آنیونی غشای بیرونی میکروارگانوسم‌ها بهبود می‌یابد. هنگامی که نانوامولسیون به پاتوژن متصل می‌شود، انرژی آن آزاد می‌شود. بنابراین غشای لیپیدی پاتوژن ناپایدار شده و باعث هضم و مرگ سلولی می‌شود. این یکی از مکانیسم‌های ضد میکروبی اصلی نانوامولسیون‌ها است (Azizkhani et al., 2021).

ارزیابی توزیع اندازه ذرات

ابزار پراکندگی دینامیکی نور (DLS) برای تعیین شدت میانگین اندازه قطرات در ۲۵ درجه سلسیوس و زاویه پراکندگی ۹۰ درجه استفاده شد. span (عرض توزیع) با استفاده از رابطه (۱) تعیین شد:

$$\text{Span} = (d_{90} - d_{10})/d_{50} \quad (1)$$

که در آن d_{90} ، d_{50} ، d_{10} اندازه ذرات مربوط به شدت ۹۰، ۵۰ و ۱۰ درصد در منحنی توزیع اندازه ذرات تجمعی نسبی هستند (Gahruie et al., 2017).

ارزیابی اثرات ضد میکروبی اسانس و نانوامولسیون اسانس

ارزیابی خصوصیت ضدباکتریایی اسانس و نانوامولسیون اسانس به روش انتشار چاهک

برای تجزیه و تحلیل فعالیت ضد میکروبی اثرات اسانس و نانوامولسیون اسانس برگ بو، از باکتری‌های *استافیلوکوکوس اورئوس*، *باسیلوس سرئوس*، *اشریشیا کلائی* و *سودوموناس آئروژینوزا* و به روش انتشار چاهک انجام شد. باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی فوق مهم‌ترین باکتری‌هایی هستند که باعث مسمومیت و فساد مواد غذایی می‌شوند. به‌منظور تهیه سوسپانسیون میکروبی از کشت تازه و جوان باکتری چند کلونی با محیط‌کشت نوترینت براث کشت داده شد. سوسپانسیون باکتری معادل استاندارد نیم مک فارلند در محلول سرم فیزیولوژی استریل تهیه و بعد از رقت‌سازی مقدار (10^6 CFU mL^{-1}) از سوسپانسیون باکتری تهیه شد. ۱۰۰ میکرولیتر از سوسپانسیون باکتری تهیه شده (10^6 CFU mL^{-1}) در سطح پلیت‌های حاوی محیط کشت نوترینت آگار منتقل و با سوآپ استریل کشت داده شد. پس از ایجاد چاهک، ۶۰ میکرولیتر از محلول حاوی اسانس یا نانوامولسیون اسانس برگ بو به‌صورت کاملاً استریل به چاهک‌ها انتقال داده و پلیت‌های حاوی آگار در دمای ۳۷ درجه سلسیوس و به مدت ۲۴ ساعت گرمخانه‌گذاری شد. پس از طی این مدت کشت‌های باکتریایی از نظر تشکیل شدن یا تشکیل نشدن هاله عدم رشد، بررسی و قطر هاله عدم رشد برحسب میلی‌متر توسط کولیس اندازه‌گیری شد (Jafarpour et al., 2021b).

حداقل غلظت بازدارندگی و حداقل غلظت کشندگی اسانس و نانوامولسیون اسانس

فعالیت ضدباکتریایی اسانس برگ بو و نانوامولسیون آن، با تعیین حداقل غلظت بازدارنده (MIC^1) و حداقل غلظت باکتری کش

(MBC^۲) از میکرودایلوشن با استفاده از میکروپلیت ۹۶ خانه‌ای استریل انجام شد. نمونه‌های باکتری ۲۴ ساعت پیش از انجام آزمایش، در محیط کشت BHT^۳ براث کشت داده شد و در دمای ۳۷ درجه سلسیوس انکوبه گردید. محلول اصلی اسانس یا نانوامولسیون اسانس با رقت ۱۵۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر توسط دی متیل سولفوکساید تهیه شد. ابتدا در هر چاهک میکروپلیت ۱۰۰ میکرولیتر محیط‌کشت BHT براث ریخته شد. سپس در هر ۹ چاهک اسانس و نانوامولسیون اسانس را رقیق‌سازی انجام شد. به چاهک شاهد باکتری اسانس یا نانوامولسیون اسانس اضافه نشد. پس از کشت ۲۴ ساعته باکتری‌های مورد نظر آماده شده رقت 10^6 cfu mL^{-1} تهیه شد و در تمامی چاهک‌ها به جز شاهد اسانس یا نانوامولسیون اسانس، ۱۰۰ میکرولیتر از سوسپانسیون ریخته شد. پس از طی زمان انکوباسیون چاهک‌ها از نظر کدورت و رشد باکتری بررسی شدند. کمترین رقت اسانس و نانوامولسیون اسانس برگ بو که در آن کدورت مشاهده نشد به‌عنوان MIC در نظر گرفته شد. برای تعیین حداقل غلظت کشندگی اسانس و نانوامولسیون اسانس برگ بو از چاهک‌هایی که در آن‌ها عدم رشد مشاهده شده بود، ۵ میکرولیتر برداشته در سطح محیط کشت BHT آگار کشت داده شد. محیط‌های کشت تلقیح شده به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۷ درجه سلسیوس گرمخانه‌گذاری شدند. پلیت مربوط به چاهکی که حاوی کمترین غلظت اسانس یا نانوامولسیون اسانس بود که در آن رشد باکتری مشاهده نگردید به عنوان MBC اسانس یا نانوامولسیون اسانس در نظر گرفته شد.

ارزیابی اثرات آنتی‌اکسیدانی اسانس و نانوامولسیون اسانس

فعالیت مهار رادیکال آزاد DPPH

فعالیت مهار رادیکال اسانس برگ بو و نانوامولسیون با استفاده از DPPH (2,20-diphenyl-1-picrylhydrazyl) به‌عنوان یک رادیکال چربی دوست آزاد پایدار ارزیابی شد. محلول DPPH (۱/۰ میلی‌مولار) در متانول ۹۵ درصد تهیه و ۱ میلی‌لیتر از این محلول به ۰/۳ میلی‌لیتر اسانس برگ بو و نانوامولسیون در غلظت‌های مختلف (در ۱۰-۰/۵ $\mu\text{g mL}^{-1}$) اضافه شد و مخلوط در تاریکی نگهداری شد. در دمای محیط به‌مدت ۲ ساعت جذب (A) در طول موج ۵۱۷ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر UV-vis، اندازه‌گیری شد (S2150-Unico, USA). نمونه بدون اسانس برگ بو یا نانوامولسیون به‌عنوان کنترل منفی استفاده شد. اسید گالیک به‌عنوان استاندارد در نظر گرفته و IC_{50} محاسبه شد. IC_{50} یا غلظت نیمه حداکثر بازدارنده به‌عنوان غلظت ترکیبی تعریف شد که می‌تواند ۵۰٪

از رادیکال های آزاد DPPH را در روش مهار رادیکال آزاد DPPH حذف کند. درصد فعالیت آنتی اکسیدانی با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد (Jafarpour, 2022):

$$\text{Antioxidant activity} = [(A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}) / A_{\text{control}}] \times 100 \quad (2)$$

ارزیابی خواص آنتی اکسیدانی فیلم

آزمون DPPH

به طور خلاصه، ۲۵ میلی گرم از نمونه فیلم با هم زدن مداوم در ۵ میلی لیتر آب مقطر حل شد. ۰/۱ میلی لیتر از محلول مذکور با ۳/۹ میلی لیتر محلول متانول DPPH (۰/۱ میلی مولار) مخلوط شد. مخلوط حاصل به مدت ۶۰ دقیقه در دمای محیط در تاریکی نگهداری شده و سپس جذب در طول موج ۵۱۷ نانومتر در برابر محلول متانول DPPH به صورت خالی قرائت شد (Jafarpour et al., 2021).

روش رادیکال کاتیون ABTS

روش رادیکال کاتیون ABTS بر مبنای احیای رادیکال کاتیون ABTS بوده که جذب بالایی در ۷۳۴ نانومتر دارد. ابتدا محلول های پایه شامل ABTS و پتاسیم پرسولفات تهیه شد و در ادامه محلول اصلی ABTS به وسیله مخلوط کردن دو محلول پایه به مقدار مساوی با یکدیگر، تهیه شده، در ادامه این مخلوط در دمای اتاق و محیط تاریک به مدت ۱۶ ساعت به منظور تکمیل واکنش نگهداری شد. محلول تهیه شده برای رسیدن جذب نوری به ۰/۷ در طول موج ۷۳۴ نانومتر با اتانول رقیق شد. به ۲ میلی لیتر از غلظت های ۱، ۲، ۵، ۱۰، ۲۵ و ۱۲۵ میلی گرم بر میلی لیتر اسانس، عصاره و BHT اضافه شد و بعد از نگهداری به مدت ۶ دقیقه در تاریکی، جذب نوری نمونه ها در ۷۳۴ نانومتر اندازه گیری شد. درصد بازدارندگی نمونه ها را از رابطه ۴ محاسبه و به صورت ظرفیت آنتی اکسیدانی معادل اسید آسکوربیک گزارش شد (Alizadeh Amoli et al., 2021):

$$x\% = \frac{A_{\text{blank}} - A_{\text{sample}}}{A_{\text{blank}}} \times 100 \quad (4)$$

در این فرمول Ablank میزان جذب نوری کنترل را نشان می دهد و Asample بیانگر قدرت جذب نوری غلظت های مختلف اسانس و نانوامولسون گیاه است.

آنالیز آماری

آزمایشات در سه تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. نتایج ابتدا در معرض تجزیه واریانس یکطرفه قرار گرفت و سپس برای مقایسه میانگین ها و بررسی اختلاف معنی داری بین تیمارها از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح معنی داری ۰/۰۵ استفاده گردد.

از رادیکال های آزاد DPPH را در روش مهار رادیکال آزاد DPPH حذف کند. درصد فعالیت آنتی اکسیدانی با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد (Jafarpour, 2022):

$$\text{Antioxidant activity} = [(A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}) / A_{\text{control}}] \times 100 \quad (2)$$

سنجش قدرت آنتی اکسیدانی کاهش دهنده آهن (FRAP)

پتانسیل کاهش آهن با استفاده از روش بنزی و استرین (Benzie & Strain, 1996) اندازه گیری شد. محلول استوک معرف FRAP تازه تهیه شد، برای آماده سازی معرف ۰/۳ میلی مولار بافر استات (۳/۶ pH)، ۲۰ میلی مولار FeCl₃ در آب و ۱۰ میلی مولار ۲،۴،۶ (تری پیریدیل) -۱،۳،۵-تریازین (TPTZ) محلول در ۴۰ mM HCl به نسبت ۱۰:۱:۱ تهیه شد. سپس ۹۰۰ لیتر از این محلول تا دمای ۳۷ درجه سلسیوس حرارت داده و به ۱۰۰ لیتر اسانس برگ بو و نانوامولسیون در غلظت های مختلف (۰/۲ - ۱۰ μg mL⁻¹) اضافه شد. جذب پس از ۳۰ دقیقه انکوباسیون در دمای ۳۷ درجه سلسیوس در طول موج ۵۹۵ نانومتر ثبت شد. کاهش کمپلکس تری پیریدیل تریازین آهن (Fe³⁺ TPTZ) به آهنی (Fe²⁺) منجر به رنگ آبی شدید شد. منحنی کالیبراسیون با استفاده از FeSO₄ در محدوده غلظت ۱۰۰ - ۱۰۰۰ μM رسم شد. آزمایش در سه تکرار صورت پذیرفت و FRAP بر اساس معادله ۳ محاسبه شد (Azizkhani et al., 2021):

$$\text{FRAP} = (\Delta A_{\text{sample}} / \Delta A_{\text{standard}}) \times \text{FRAP value of standard} \quad (3)$$

آماده سازی فیلم

تهیه فیلم صمغ دانه مرو طبق روش ونت نیمیت کول و همکاران (Wongnimitkul et al., 2009) با کمی تغییرات انجام شد. این فیلم با ترکیب پودر صمغ دانه مرو، KOH 0/5M و گلیسرول به ترتیب با مقدار ۰/۹، ۰/۱۴ و ۰/۵٪ تهیه شد. امولسیون به مدت ۲ ساعت در حمام آب کنترل شده در دمای ۳۰ درجه سلسیوس به خوبی هم زده شد. سپس، غلظت های ۱/۵ و ۳٪ اسانس برگ بو و نانوامولسیون اسانس برگ بو به فیلم اضافه شد.

ارزیابی اثرات ضد میکروبی فیلم

فعالیت ضد میکروبی نمونه ها با استفاده از روش انتشار دیسک آگار و بر علیه اشریشیا کلی، سودوموناس آئروژینوزا، باسیلوس سرئوس، استافیلوکوکوس اورئوس ارزیابی شد. نمونه های فیلم به صورت آسپتیک به دیسک های دایره ای (قطر ۶ میلی متر) بریده شدند. سپس روی صفحات MHA^۱ که قبلاً با ۱۰۰ میکرو لیتر MHB^۲ حاوی

ارزیابی توزیع اندازه ذرات (متوسط قطر، توزیع اندازه ذرات)

متوسط قطر اندازه ذرات نانومولسیون و PDI و پتانسیل زتا آن‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که اندازه قطرات نانومولسیون ۹۲/۴ نانومتر است و پتانسیل زتای آن ۴۵/۱- می‌باشد، همچنین نانومولسیون‌های روغن برگ بو دارای پایداری فیزیکی بالایی هستند. نتایج مشابهی توسط قوش و همکاران (Ghosh et al., 2013) برای نانومولسیون روغن ریحان فرموله شده با استفاده از Tween80 و آب به روش امولسیون اولتراسونیک گزارش شده است. در حالی که سورینو و همکاران (Severino et al., 2015) نانومولسیون‌های بارگذاری شده را با استفاده از Tween 20 تهیه کرده و میانگین اندازه قطرات را در محدوده ۱۷۶/۴-۱۳۳/۴ نانومتر گزارش کردند. این تفاوت‌ها با نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد که Tween 80 برای امولسیون‌های روغن در آب به دلیل تعادل آبدوست-چربی دوست بالاتر نسبت به سایر پلی سوربات‌ها مطلوب است (Ghosh et al., 2013). می‌توان نتیجه گرفت که Tween 80 به عنوان یک سورفکتانت نسبت به پلیمرهای زیستی جذب آب بیشتر و کمک بیشتری در به حداقل رساندن اندازه ذرات انجام می‌دهد (Qian, & McClement, 2011).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها توسط نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ انجام شد. منحنی‌های مربوطه در محیط EXCEL توسط نرم افزار OFFICE رسم شد.

نتایج و بحث

شناسایی ترکیب‌های اسانس

محتویات اسانس گیاه برگ بو *Laurus nobilis* به دست آمده از تقطیر با آب، که در دستگاه GC/MS بررسی شد در جدول ۱ گزارش شده است.

با توجه به جدول ۱ بیشترین مقدار ترکیب 1,8-Cineole و α -Terpinyl acetate می‌باشد. از این ترکیبات به عنوان چاشنی، مواد معطر و خوشبو کننده مواد غذایی و در صنایع شیرینی‌پزی، تولیدات گوشت و همچنین صنعت دارویی در مقادیر کم استفاده می‌شود. از جمله کاربردهای دارویی آن‌ها می‌توان به فرو نشانیدن سرفه در مبتلایان به آسم، درمان عفونت‌های حنجره، کاهنده التهاب و درد در صورت استفاده صحیح و از بین برنده سلول‌های سرطان و از بین برنده و دافع حشرات اشاره کرد (Naderi Hagibaghercandi et al., 2009).

جدول ۱- ترکیبات اسانس برگ بو

Table 1- Compositions of essential oil of bay leaves

شماره Compound number	زمان نگهداری Retention Time (min)	نام ترکیب شیمیایی Name of chemical compound	ناحیه Area %	وزن مول Mol Weight (amu)
1	5.663	α -Pinene	2.617	136.125
2	6.619	Sabinene	5.197	136.125
3	6.776	β -pinene	2.006	136.125
4	8.309	1,8-Cineole	32.309	154.136
5	10.087	LINALOOL L	4.808	154.136
6	12.483	L-4-terpineneol	2.083	154.136
7	12.955	α -TERPINEOL	2.826	154.136
8	15.974	δ -terpinyl acetate	2.295	198.162
9	17.058	α -Terpinyl acetate	28.061	196.146
10	17.338	Phenol, 2-methoxy-3-(2-propenyl)-	2.845	164.084
11	17.991	β -ELEMENE	1.884	204.188
12	18.504	Methyleugenol	4.919	178.099
13	18.859	Caryophyllene	2.199	204.188
14	5.663	cis- α -Bisabolene	0.957	204.188
15	6.619	Caryophyllene oxide	2.487	220.183
16	6.776	7.beta.-(1-hydroxy-1-methylethyl)- 4a.beta.-methyl-1a.beta.- decahydrocyclopropa[d]naphthalene	2.507	222.198

جدول ۲- خواص فیزیکی نانوامولسیون اسانس برگ بو

Table 2- Physical properties of bay leaf essential oil nanoemulsion

اندازه Parameter	
اندازه ذرات Particle size (nm)	92.4
پتانسیل زتا Z-average (mV)	-45.1
PDI	0.1

ترکیبات 1,8-Cineole و Terpinyl acetate α - می باشد (Maghsoodlou et al., 2015).

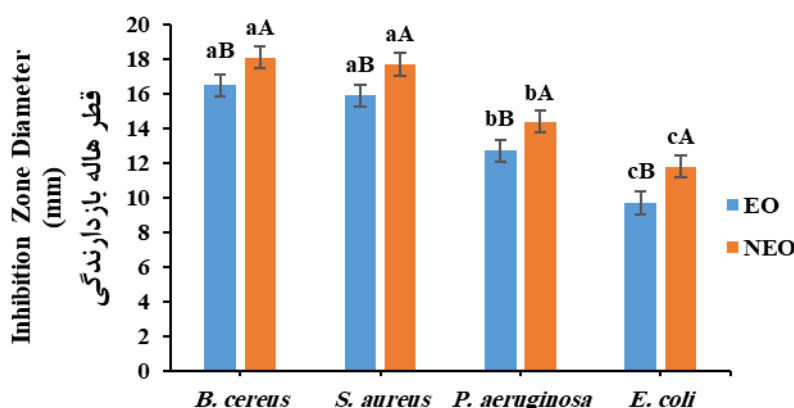
نتایج MIC و MBC اسانس و نانوامولسیون اسانس برگ بو در جدول ۳ نشان داده شده است. اسانس و نانوامولسیون اسانس برگ بو از حداقل غلظت بازدارنده رشد و حداقل غلظت کشندگی متفاوتی برخوردار هستند. به طوری که کمترین مقدار MIC و MBC برای اسانس و نانوامولسیون اسانس برگ بو مربوط به باکتری *B. cereus* بود. بیشترین مقدار MIC و MBC برای اسانس و نانوامولسیون اسانس برگ بو مربوط به باکتری *E. coli* بود. آزمایش انجام شده در این آزمایش (MIC و MBC) نشان می دهد که نانوامولسیون تهیه شده خاصیت ضد میکروبی بیشتری نسبت به اسانس برگ بو دارد. میزان مهار اسانس نانوامولسیون شده در برابر باکتری *E. coli* نیز به طور قابل توجهی بیشتر از اسانس خالص بود. این فعالیت با افزایش غلظت نانوامولسیون اسانس برگ بو به طور قابل توجهی افزایش می یابد. این پدیده را می توان به اثرات ترکیبی کپسولاسیون و انتشار پایدار اسانس از پوشش ماتریس نسبت داد که منجر به اثربخشی ضد میکروبی قوی می شود. نانوامولسیون ها، به دلیل اندازه قطرات کوچک و مساحت سطح بالا، کارایی بالاتری نسبت به اسانس های معمولی دارند. در نتیجه، آزادسازی تدریجی اسانس ها از پوشش های خوراکی مبتنی بر نانوامولسیون به بهبود عملکرد ضد میکروبی آن ها کمک می کند (Gholamhosseinpour et al., 2023).

فعالیت ضد میکروبی اسانس برگ بو می تواند به علت وجود ترکیبات فنلی، مانند فلاونوئیدها باشد. وجود این ترکیبات را می توان توسط آنالیز GC-MS و آزمون های ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی نشان داد. ترکیبات فنلی ساختار غشای میکروبی را تخریب، سنتز پپتیدوگلیکان را مهار و آگریزی سطح غشا باکتریایی را اصلاح می نمایند (Gholamhosseinpour et al., 2023). در بررسی لو و همکاران (Lu et al., 2017) نشان دادند که اسانس خالص و اسانس نانوامولسیون شده تأثیر زیادی بر روی رشد باکتری ها دارد.

مقدار PDI از ۰/۱ تا ۰/۲۵ نشان دهنده اندازه قطرات روغن یکنواخت یا توزیع تک وجهی و حالت امولسیونی پایدارتر است. در این مطالعه، استفاده از اولتراسوند منجر به مقدار PDI برابر با ۰/۱ شد که نشان دهنده موفقیت آمیز بودن تولید نانوامولسیون است. پتانسیل زتا بار سطحی را در سطح مشترک قطرات تعیین می کند. نانوامولسیون های تهیه شده در این مطالعه حاوی یک سورفکتانت غیر یونی (Tween 80) بود. پس می توان انتظار داشت که بار الکتریکی نزدیک به صفر باشد. با این حال، یک پتانسیل زتا منفی برای هر دوی آن ها ثبت شد. اگر مقدار مطلق پتانسیل زتا بین ۳۰ تا ۶۰ میلی ولت باشد، سیستم نانوامولسیون پایدار است (Haghju et al., 2016). مقادیر پتانسیل زتا نانوامولسیون ها در مطالعه حاضر پایدار (۵۶ میلی ولت) بدست آمد. بنابراین دافعه الکترواستاتیکی در بین قطرات برای تثبیت نانوامولسیون تهیه شده کافی است و مکانیسم های الکترواستاتیک تأثیر قابل توجهی بر تثبیت آن دارند. تمامی تحقیقاتی که نانوامولسیون های اسانس تثبیت شده توسط پلیمرهای زیستی را تولید کردند، مقادیر پتانسیل زتا مشابه را در مقایسه با نتایج این تحقیق گزارش کردند.

ارزیابی اثرات ضد میکروبی

همانطور که در جدول ۳ و شکل ۱ نشان داده شده است، اثرات ضد میکروبی نانوامولسیون نسبت به اسانس برگ بو به طور معنی داری ($p < 0.05$) بیشتر بود و منجر به کاهش معنی دار رشد باکتری های *B. cereus*، *S. aureus*، *P. aeruginosa* و *E. coli* شد. این کاهش تابعی از غلظت اسانس در نانوامولسیون بود. با توجه به نتایج، باکتری های گرم مثبت در مقایسه با باکتری های گرم منفی نسبت به اسانس یا نانوامولسیون اسانس برگ بو حساس تر هستند. نتایج نشان داد نانوامولسیون اسانس برگ بو، بیشترین میزان اثرگذاری بر روی باکتری های *B. cereus* و *S. aureus* می باشد. یکی از علت های موجود بر خاصیت ضد میکروبی اسانس و نانوامولسیون اسانس، وجود



شکل ۱- ارزیابی اثرات ضد میکروبی اسانس و نانوامولسیون اسانس برگ بو

Fig. 1. Evaluation of antimicrobial effects of essential oil and nanoemulsion of bay leaf essential oil

حروف کوچک لاتین متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی دار ($P < 0.05$) بین باکتری‌های مختلف در هر تیمار است. حروف بزرگ لاتین متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی دار ($P < 0.05$) بین دو تیمار است.

Different small Latin letters indicate significant differences ($P < 0.05$) between different bacteria in each treatment. Different capital letters indicate significant differences ($P < 0.05$) between two treatments.

جدول ۳- ارزیابی اثرات ضد میکروبی اسانس و نانوامولسیون اسانس برگ بو

Table 3- Evaluation of antimicrobial effects of essential oil and nanoemulsion of bay leaf essential oil

	<i>B. cereus</i>	<i>S. aureus</i>	<i>P. aeruginosa</i>	<i>E. coli</i>
EO				
MIC ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	4.25±0.10 ^{bD}	4.75±0.10 ^{bC}	6.75±0.25 ^{bB}	7.25±0.20 ^{bA}
MBC ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	5.00±0.18 ^{aD}	5.50±0.30 ^{aC}	7.25±0.20 ^{aB}	8.00±0.15 ^{aA}
NEO				
MIC ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	2.50±0.09 ^{dD}	3.25±0.09 ^{dC}	4.75±0.10 ^{dB}	5.75±0.25 ^{dA}
MBC ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	3.25±0.20 ^{cD}	3.75±0.14 ^{cC}	5.75±0.25 ^{cB}	6.25±0.15 ^{cA}

نتایج به صورت میانگین $\pm$ انحراف معیار گزارش شده‌اند.

حروف لاتین کوچک متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار ($P < 0.05$) است.

حروف لاتین بزرگ متفاوت در هر ردیف نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار ($P < 0.05$) است.

The results are reported as mean $\pm$ standard deviation.

Different small Latin letters in each column indicate significant differences ($P < 0.05$).

Different capital letters in each row indicate significant differences ($P < 0.05$).

سنجش قدرت آنتی اکسیدانی کاهش دهنده آهن (FRAP)

بطور گسترده گزارش شده است که ارتباط نزدیکی بین فعالیت آنتی اکسیدانی و قدرت کاهش آهن وجود دارد. نتایج در شکل ۳ نشان داده شده است. پس از امولسیون سازی، قدرت احیای آهن اسانس به وضوح افزایش یافت. بیشترین مقدار سنجش FRAP اسانس و نانوامولسیون اسانس برگ بو در غلظت $5 (\mu\text{mol g}^{-1})$ و کمترین آن در غلظت $0.25 (\mu\text{mol g}^{-1})$ مشاهده شد. نتایج کاهش فعالیت غلظت‌های مختلف اسانس و نانوامولسیون اسانس برگ بو نشان داد که با افزایش غلظت اسانس، فعالیت FRAP افزایش می‌یابد. داده‌های حاصل از سنجش فعالیت‌های آنتی اکسیدانی نشان داد که اسانس و نانوامولسیون در مقایسه با Butylated hydroxytoluene

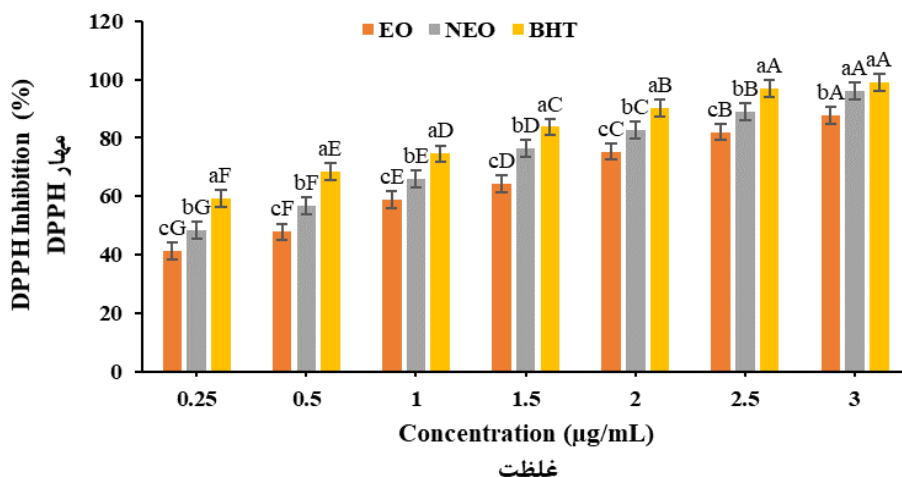
ارزیابی اثرات آنتی اکسیدانی

فعالیت مهار رادیکال آزاد DPPH

خواص آنتی اکسیدانی اسانس و نانوامولسیون اسانس برگ بو با سنجش DPPH در شکل ۲ مورد ارزیابی قرار گرفت. با افزایش اسانس و نانوامولسیون اسانس برگ بو خاصیت آنتی اکسیدانی افزایش یافت. فعالیت مهار رادیکال DPPH اسانس برگ بو کمتر از DPPH نانوامولسیون اسانس برگ بو بوده و سپس کمتر از نمونه شاهد (BHT) بوده است. وجود ترکیبات 1,8-Cineole و α -Terpinyl acetate درون اسانس خاصیت آنتی اکسیدانی را افزایش می‌دهد (Maghsoodlou et al., 2015).

آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی آن‌ها را بهبود می‌بخشد و طیف وسیعی از نگهدارنده‌های طبیعی را به غذا ارائه می‌دهد (Tometri *et al.*, 2020; Sagar *et al.*, 2020; Hossain *et al.*, 2018).

توانایی کمتری داشتند، اما کاملاً نانوامولسیون اثر ضد رادیکال و آنتی‌اکسیدانی بالاتری نسبت به اسانس آزاد داشت. استفاده از اسانس‌ها و عصاره‌های گیاهی در قالب نانوساختارهای غذایی، اثر

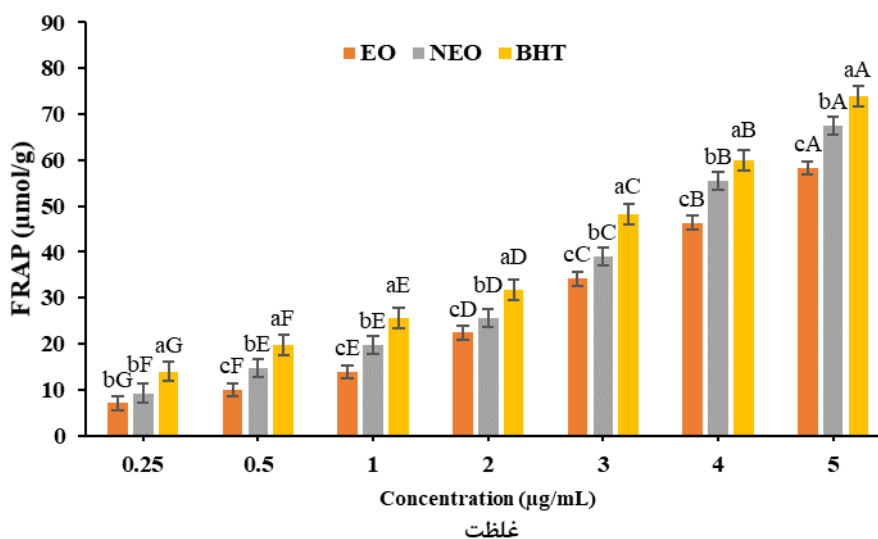


شکل ۲- فعالیت مهار رادیکال آزاد DPPH اسانس و نانوامولسیون اسانس برگ بو

Fig. 2. DPPH free radical scavenging activity of Bay leaf essential oil and nanoemulsion

حروف کوچک لاتین متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) بین نمونه‌های مختلف در هر غلظت است. حروف بزرگ لاتین متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) بین هر نمونه در غلظت‌های متفاوت است.

Different small Latin letters indicate significant differences ($P < 0.05$) between different samples in each concentration. Different Latin capital letters indicate significant differences ($P < 0.05$) between each sample at different concentrations.



شکل ۳- سنجش قدرت آنتی‌اکسیدانی کاهش دهنده آهن

Fig. 3. Measuring the antioxidant power of reducing iron

حروف کوچک لاتین متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) بین نمونه‌های مختلف در هر غلظت است. حروف بزرگ لاتین متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) بین هر نمونه در غلظت‌های متفاوت است.

Different small Latin letters indicate significant differences ($P < 0.05$) between different samples in each concentration. Different Latin capital letters indicate significant differences ($P < 0.05$) between each sample at different concentrations.

ارزیابی اثرات ضد میکروبی فیلم

فعالیت ضد باکتریایی فیلم‌های تهیه شده حاوی غلظت‌های مختلف (۱/۵ و ۳٪) اسانس و نانومولسیون اسانس در برابر چهار سویه باکتریایی پاتوژن انتخاب شده با ارزیابی قطر مناطق بازدارنده ارزیابی شد. از آنجایی که مهار رشد باکتری‌های *S. B. cereus*، *E. coli* و *P. aeruginosa* بسیار مهم است، استفاده از فیلم صمغ دانه مرو حاوی اسانس و نانومولسیون اسانس برگ بو تأثیر مثبت بر روی باکتری‌های مورد مطالعه داشت (جدول ۴). با توجه به نتایج مشخص شد که فیلم صمغ دانه مرو به تنهایی هیچ اثر بازدارنده‌ای بر روی هر یک از این سویه‌ها ندارد. فیلم‌های تهیه شده از غلظت‌های متفاوت اسانس یا نانومولسیون اسانس برگ بو بر روی باکتری‌های گرم مثبت بیشترین تأثیر و بر روی باکتری *E. coli* کمترین تأثیر را دارند. ولی با توجه به این آزمایش مناسب‌ترین فیلم، فیلم با ۳٪ نانومولسیون اسانس برگ بو می‌باشد، زیرا بیشترین تأثیر را داشت. شریفی فر و همکاران (Sharififar et al., 2007) اثرات ضد باکتریایی فیلم‌های کربوکسی متیل سلولز حاوی اسانس آویشن شیرازی را علیه پنج باکتری بیماری‌زا از جمله *S. aureus*، *E. coli*، *S. typhimurium*، *S. aureus* و *S. aureus* بررسی کردند. آن‌ها اشاره کردند که اسانس آویشن شیرازی بر روی باکتری‌های گرم مثبت مؤثرتر از باکتری‌های گرم منفی است، که احتمالاً به دلیل نفوذ ناپذیری غشای خارجی باکتری‌های گرم منفی به اجزای چربی دوست است. ترکیبات 1,8- Cineole و α -Terpinyl acetate به عنوان ترکیبات اصلی اسانس برگ بو مشخص شدند که مانع رشد میکروبی می‌شوند. وجود این ترکیبات درون فیلم صمغ دانه مرو می‌تواند با حمله به لایه دوگانه

فسفولیپیدی آن و آسیب رساندن به سیستم‌های آنزیمی، غشای سلولی را مختل کنند (Maghsoodlou et al., 2015).

ارزیابی خواص آنتی اکسیدانی فیلم

آزمون ABTS

در آزمون ABTS همانطور که از شکل ۴ مشخص است در دو غلظت ۱/۵ و ۳٪ یک رابطه مستقیم بین فیلم صمغ دانه مرو حاوی اسانس برگ بو و فیلم حاوی نانومولسیون اسانس برگ بو و قدرت آن‌ها در مهار رادیکال ABTS وجود داشته، به طوری که در غلظت ۳ درصد، قدرت آنتی رادیکالی آن افزایش یافته است. همچنین نتایج نشان داد فیلم حاوی اسانس اثر بازدارندگی بیشتری نسبت به نمونه شاهد (فیلم بدون اسانس) دارد اما میزان بازدارندگی فیلم حاوی اسانس نسبت به فیلم حاوی نانومولسیون اسانس در هر دو غلظت به صورت ضعیف‌تر بوده است. در بررسی که توسط علیزاده آملی و همکاران (Alizadeh Amoli et al., 2021) انجام شد، نشان داد که در این آزمون درصد بازدارندگی اسانس تقریباً در تمام غلظت‌ها به طور قابل توجهی بالا بوده است. به علاوه یک اثر وابسته به غلظت دیده شد بدین مفهوم که با افزایش غلظت اسانس، خاصیت حذف رادیکال آزاد نیز بیشتر می‌شود.

آزمون DPPH

فعالیت مهار رادیکال DPPH به طور قابل توجهی از ۱/۲ درصد برای فیلم شاهد به ۶۹/۵۴ درصد برای فیلم صمغ دانه مرو حاوی ۳ درصد نانومولسیون اسانس برگ بو افزایش یافت (شکل ۵).

جدول ۴- ارزیابی اثرات ضد میکروبی فیلم

Table 4- Evaluation of the antimicrobial effects of the film

ناحیه قطر بازدارندگی				
Inhibition Diameter Zone (mm)				
Sample	<i>B. cereus</i>	<i>S. aureus</i>	<i>P. aeruginosa</i>	<i>E. coli</i>
Control (SSG)	ND ^e	ND ^e	ND ^e	ND ^e
SSG -1.5%EO	5.92±0.02 ^{dA}	6.33±0.04 ^{dA}	2.91±0.01 ^{dB}	2.01±0.02 ^{dB}
SSG -3%EO	7.81±0.02 ^{cA}	8.05±0.10 ^{cA}	5.44±0.01 ^{cB}	3.48±0.05 ^{cC}
SSG -1.5%NEO	19.25±0.13 ^{bA}	20.79±0.11 ^{bA}	12.31±0.09 ^{bB}	10.52±0.12 ^{bC}
SSG -3%NEO	24.11±0.09 ^{aA}	23.62±0.16 ^{aA}	17.10±0.13 ^{aB}	14.65±0.21 ^{aC}

ND: تشخیص داده نشد.

حروف لاتین کوچک متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) است.

حروف لاتین بزرگ متفاوت در هر ردیف نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) است.

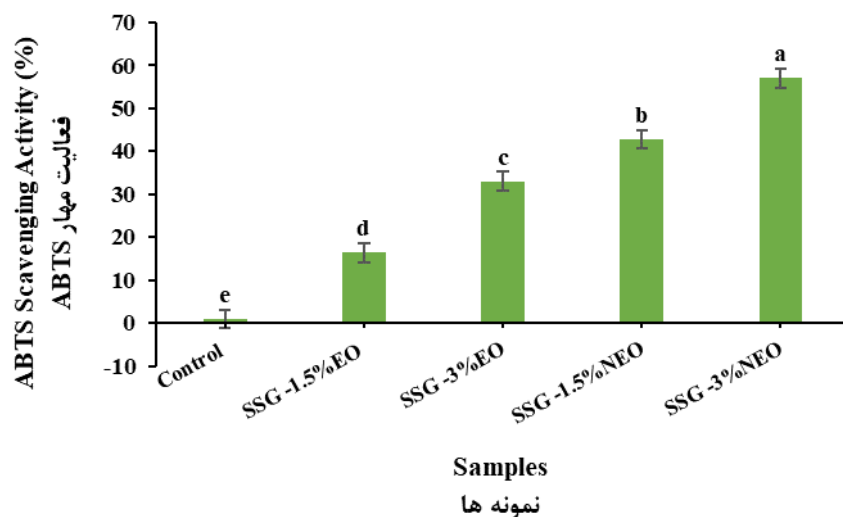
ND: Not detected.

Different small Latin letters in each column indicate significant differences ($P < 0.05$).

Different capital letters in each row indicate significant differences ($P < 0.05$).

خوراکی مبتنی بر نانوامولسیون حاوی اسانس زنجبیل و تأثیر آن بر ایمنی و ویژگی‌های کیفی فیله سینه مرغ پرداختند. نتایج نشان داد که بیشترین فعالیت مهارتی توسط محلول فیلم مبتنی بر نانوامولسیون اسانس زنجبیل با ۳٪ BHT بوده است. بعد از آن محلول فیلم مبتنی بر نانوامولسیون اسانس زنجبیل خالص بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی را داشت.

فعالیت آنتی‌اکسیدانی فیلم صمغ دانه مرو حاوی ۳٪ نانوامولسیون برگ بو بیشترین تأثیر را نسبت به نمونه کنترل داشت. با توجه به شکل ۵ کمترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی بجز نمونه شاهد مربوط به فیلم صمغ دانه مرو حاوی اسانس برگ بو بود. بنابراین وجود نانوامولسیون اسانس برگ بو در فیلم با هر میزان غلظت تأثیر بیشتر نسبت به اسانس برگ بو داشت. همچنین نوری و همکاران (Noori *et al.*, 2017) به بررسی کارایی ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی پوشش

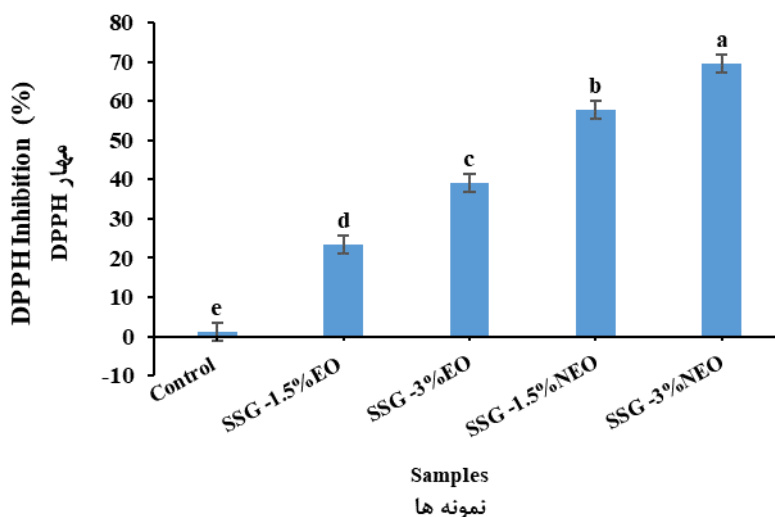


شکل ۴- ارزیابی خواص آنتی‌اکسیدانی فیلم

Fig. 4. Evaluation of antioxidant properties of the film

حروف کوچک لاتین متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) است.

Different lowercase Latin letters indicate significant differences ($P < 0.05$).



شکل ۵- فعالیت مهار رادیکال آزاد DPPH فیلم

Fig. 5. DPPH free radical scavenging activity of the film

حروف کوچک لاتین متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) است.

Different lowercase Latin letters indicate a significant difference ($P < 0.05$).

نتیجه گیری

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که فیلم صمغ دانه مرو حاوی ۳٪ نانوامولسیون اسانس به عنوان مناسب ترین تیمار دارای بیشترین خاصیت ضد باکتریایی و آنتی اکسیدانی نسبت به فیلم حاوی اسانس برگ بو می باشد و مشخص شد که این فیلم پتانسیل استفاده به عنوان بسته بندی فعال یا پوشش فعال روی مواد غذایی را دارد. لیکن آزمایش های بیشتری برای تعیین اثرات آن ها بر خواص حسی محصولات بسته بندی شده و همچنین رفتار آن ها در مواد غذایی با محتوای رطوبت مختلف ضروری است.

میزان مشارکت

حدیث تقواطلب: تحقیق و بررسی، مفهوم سازی، روش شناسی، منابع، نرم افزار، نوشتن-پیش نویس اصلی
درنوش جعفرپور: تحلیل رسمی، مدیریت پروژه، نظارت، مدیریت داده ها، اعتبارسنجی، نوشتن- بررسی و ویرایش

منابع تأمین مالی

این تحقیق هیچ کمک مالی خاصی از بخش های عمومی، تجاری یا غیر انتفاعی دریافت نکرد.

References

1. Alizadeh Amoli, Z., Mehdizadeh, T., & Tajik, H. (2021). Comparative investigation of antimicrobial and antioxidant properties of ethanolic extract and essential oil of water mint plant (*Mentha aquatic L.*). *Journal of Medical Sciences Studies*, 31(11), 863-873. <http://umj.umsu.ac.ir/article-1-4911-en.html>
2. Amorati, R., Foti, M.C., & Valgimigli, L. (2013). Antioxidant activity of essential oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(46), 10835-10847. <https://doi.org/10.1021/jf403496k>
3. Azizkhani, M., Jafari Kiasari, F., Tooryan, F., Shahavi, M.H., & Partovi, R. (2021). Preparation and evaluation of food-grade nanoemulsion of tarragon (*Artemisia dracunculus L.*) essential oil: antioxidant and antibacterial properties. *Journal of Food Science and Technology*, 58, 1341-1348. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04645-6>
4. Badr, M.M., Badawy, M.E., & Taktak, N.E. (2021). Characterization, antimicrobial activity, and antioxidant activity of the nanoemulsions of *Lavandula spica* essential oil and its main monoterpenes. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 65, 102732. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2021.102732>
5. Benzie, I.F., & Strain, J.J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70-76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>
6. da Silva Dannenberg, G., Funck, G.D., dos Santos Cruxen, C.E., de Lima Marques, J., da Silva, W.P., & Fiorentini, A.M. (2017). Essential oil from pink pepper as an antimicrobial component in cellulose acetate film: Potential for application as active packaging for sliced cheese. *LWT-Food Science and Technology*, 81, 314-318. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.002>
7. Dzah, C.S., Duan, Y., Zhang, H., Wen, C., Zhang, J., Chen, G., & Ma, H. (2020). The effects of ultrasound assisted extraction on yield, antioxidant, anticancer and antimicrobial activity of polyphenol extracts: A review. *Food Bioscience*, 35, 100547. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100547>
8. Galus, S., & Kadzińska, J. (2015). Food applications of emulsion-based edible films and coatings. *Trends in Food Science & Technology*, 45(2), 273-283. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.07.011>
9. Gholamhosseinpour, A., Hashemi, S.M.B., & Jafarpour, D. (2023). Nanoemulsion of *Satureja sahendica* bornm essential oil: Antibacterial and antioxidant activities. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 17(1), 317-323. <https://doi.org/10.1007/s11694-022-01615-8>
10. Ghosh, V., Mukherjee, A., & Chandrasekaran, N. (2013). Formulation and characterization of plant essential oil based nanoemulsion: evaluation of its larvicidal activity against *Aedes aegypti*. *Asian Journal of Chemistry*, 25 (Supplementary Issue), S321. <http://www.asianjournalofchemistry.co.in/User/SearchArticle.aspx?Volume=25&Issue=10&Article=&Criteria=>
11. Haghju, S., Beigzadeh, S., Almasi, H., & Hamishehkar, H. (2016). Chitosan films incorporated with nettle (*Urtica dioica L.*) extract-loaded nanoliposomes: I. Physicochemical characterisation and antimicrobial properties. *Journal of Microencapsulation*, 33(5), 438-448. <https://doi.org/10.1080/02652048.2016.1208294>
12. Hossain, M.B., Lebel, J., Birsan, R., & Rai, D.K. (2018). Enrichment and assessment of the contributions of the major polyphenols to the total antioxidant activity of onion extracts: A fractionation by flash chromatography approach. *Antioxidants*, 7(12), 175. <https://doi.org/10.3390/antiox7120175>
13. Jafarpour, D. (2022). The effect of heat treatment and thermosonication on the microbial and quality properties of green olive. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 16(3), 2172-2180. <https://doi.org/10.1007/s11694-022-01322-4>
14. Jafarpour, D., Hashemi, S.M.B., & Ghaedi, A. (2021a). Study the antioxidant properties of different parts of saffron extract and their application in cream. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, 18(113), 289-299. <http://fsct.modares.ac.ir/article-7-43533-en.html>

15. Jafarpour, D., Hashemi, S.M.B., & Ghaedi, A. (2021b). Investigating the antibacterial properties of the extract of different parts of Zagharan and its use in cream. *Iranian Journal of Food Science and Industry*, 115(18), 339-249. <https://doi.org/10.52547/fsct.18.115.27>
16. Jouki, M., Khazaei, N., Ghasemlou, M., & HadiNezhad, M. (2013). Effect of glycerol concentration on edible film production from cress seed carbohydrate gum. *Carbohydrate Polymers*, 96(1), 39-46. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.03.077>
17. Khodri, N., & Romiani, L. (2019). Evaluation of the effects of Shirazi thyme essential oil nanoemulsion on the chemical, microbial and sensory characteristics of silver carp fillet. *Journal of Nutritional Sciences and Food Industries of Iran*, 3(14), 63-74. <http://nsft.sbmu.ac.ir/article-1-2647-en.html>
18. Lou, Z., Chen, J., Yu, F., Wang, H., Kou, X., Ma, C., & Zhu, S. (2017). The antioxidant, antibacterial, antibiofilm activity of essential oil from *Citrus medica* L. var. *sarcodactylis* and its nanoemulsion. *LWT*, 80, 371-377. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.02.037>
19. Maghsoodlou, M.T., Valizadeh, J., Mottaghipisheh, J., & Rahnesan, N. (2015). Evaluation of the essential oil composition and antioxidant activity of *Achillea eriophora* as a medicinal plant. *Journal of Medicinal Herbs*, 5(4), 187-192. <https://doi.org/10.22067/ijfstrj.v1395i0.51210>
20. Mirzai, S.M., & Mohammadi Sani, A. (2017). The effect of the use of myrtle gum on improving the physicochemical and sensory properties of low-fat ice cream. *Innovation in Food Science and Technology*, 9(3), 97-103. <https://doi.org/10.21608/jfds.2020.106364>
21. Mohammadi, M., Yekta, R., Hosseini, H., Shahraz, F., Hosseini, S.M., Shojae-Aliabadi, S., & Mohammadi, A. (2023). Characterization of a novel antimicrobial film based on sage seed gum and *Zataria multiflora* Boiss essential oil. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 17(1), 167-177. <https://doi.org/10.1007/s11694-022-01509-9>
22. Mu, C., Guo, J., Li, X., Lin, W., & Li, D. (2012). Preparation and properties of dialdehyde carboxymethyl cellulose crosslinked gelatin edible films. *Food Hydrocolloids*, 27(1), 22-29. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.09.005>
23. Naderi Hagibaghercandi, M., Sefidkon, F., Poorherave, M.R., & Mirza, M. (2009). Extraction, identification and comparison of the constituent compounds of the essential oil of the leaf, stem and fruit of Bay leaf (*Laurus nobilis* L.). *Scientific-Research Quarterly Journal of Medicinal and Aromatic Plants of Iran*, 25(2), 216-227.
24. Noori, S., Zeynali, 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 filets. *Food control*, 84, 312-320. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.08.015>
25. Qian, C., & McClements, D.J. (2011). Formation of nanoemulsions stabilized by model food-grade emulsifiers using high-pressure homogenization: Factors affecting particle size. *Food Hydrocolloids*, 25(5), 1000-1008. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.09.017>
26. Sagar, N.A., Pareek, S., & Gonzalez-Aguilar, G.A. (2020). Quantification of flavonoids, total phenols and antioxidant properties of onion skin: A comparative study of fifteen Indian cultivars. *Journal of Food Science and Technology*, 57, 2423-2432. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04277-w>
27. Sajjadi, S.A., Sarhadi, H., & Safarzaei, A. (2020). Physicochemical, antioxidant and antimicrobial properties of an active film based on chitosan and Barijah essential oil. *Innovation in Food Science and Technology*, 15(1), 61-76. <https://doi.org/10.30495/JFST.2021.685706>
28. Severino, R., Ferrari, G., Vu, K.D., Donsì, F., Salmieri, S., & Lacroix, M. (2015). Antimicrobial effects of modified chitosan based coating containing nanoemulsion of essential oils, modified atmosphere packaging and gamma irradiation against *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella typhimurium* on green beans. *Food Control*, 50, 215-222. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.08.029>
29. Sharififar, F., Moshafi, M.H., Mansouri, S.H., Khodashenas, M., & Khoshnoodi, M. (2007). In vitro evaluation of antibacterial and antioxidant activities of the essential oil and methanol extract of endemic *Zataria multiflora* Boiss. *Food Control*, 18(7), 800-805. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2006.04.002>
30. Stubenrauch, K., Wessels, U., Vogel, R., & Schleyppen, J. (2009). Evaluation of a biosensor immunoassay for simultaneous characterization of isotype and binding region of human anti-tocilizumab antibodies with control by surrogate standards. *Analytical Biochemistry*, 390(2), 189-196. <https://doi.org/10.1016/j.ab.2009.04.021>
31. Tometri, S.S., Ahmady, M., Ariai, P., & Soltani, M.S. (2020). Extraction and encapsulation of *Laurus nobilis* leaf extract with nano-liposome and its effect on oxidative, microbial, bacterial and sensory properties of minced beef. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14, 3333-3344. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00578-y>
32. Wongnimitkul, N., Auiha, B., Rurkruthairat, P., & Borompichaichartkul, C. (2009). Production of Konjac Glucomannan antimicrobial film for extending shelf life of fresh cut tomato. In Southeast Asia Symposium on Quality and Safety of Fresh and Fresh-Cut Produce, 875 (pp. 251-256). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.875.31>

Contents

Research Articles

Influence of <i>k</i>-Carrageenan on Whey Protein Isolate Cold-Set Emulsion Filled Gel: A Rheological and Mechanical Study	499
M.R. Salahi, S.M.A. Razavi, M. Mohebbi	
Investigating the Physicochemical Properties of Functional Cheese Sauce Powder Containing Date Kernel Extract and Whey Powder	517
F. Ghorbanpour, V. Hakimzadeh, H. Rashidi	
Effects of Lavender Essential Oil Addition on Oxidative Stability of Canola Oil under Accelerated Condition	533
F.S. Khanagaei, F. Akrami Mohajeri, E. Askari, H. Fallahzadeh, E. Khalili Sadrabad	
Optimization of Effective Factors on the Antioxidant and Antimicrobial Activity of Sesame Meal Protein Hydrolysate with Fermentation by <i>Bacillus subtilis</i>	547
P. Raei, M. Khomeiri, A. Sadeghi Mahoonak, A. Moayedi, M. Kashiri	
Investigation of Ultrasound and Coating with Wild Sage and Xanthan Gums Pretreatments on the Quality, Phenolic Compounds, Antioxidant Activity, and Sensory Properties of Dried Cornelian Cherry by Infrared Method	559
M. Inanloodoghous, F. Salehi, M. Karami, A. Gohari Ardabili	
Effect of Ultrasonication Time on Physical and Chemical Properties of Kilka Fish Oil, Corn Oil and Soybean Oil	573
R. Farahmandfar, S. Forghani	
Evaluation of Persian Gum Effect on Microbial, Physicochemical and Sensory Properties of Brined Ultrafiltered Cheese during Storage	589
A. Gholamhosseinpour, S. Zare	
Antimicrobial and Antioxidant Effects of Sage Seed Gum Film Incorporated with <i>Laurus nobilis</i> Essential Oil Nanoemulsion	607
H. Taghvatalab, D. Jafarpour	

Iranian Food Science and Technology Research Journal

Vol. 20

No. 5

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



Ferdowsi University
of Mashhad

Vol. 20 No. 5

2024

Iranian Food Science and Technology Research Journal



ISSN:1735-4161

Contents

- Influence of *K-Carrageenan* on Whey Protein Isolate Cold-Set Emulsion Filled Gel: A Rheological and Mechanical Study..... 499**
M.R. Salahi, S.M.A. Razavi, M. Mohebbi
- Investigating the Physicochemical Properties of Functional Cheese Sauce Powder Containing Date Kernel Extract and Whey Powde 517**
F. Ghorbanpour, V. Hakimzadeh, H. Rashidi
- Effects of Lavender Essential Oil Addition on Oxidative Stability of Canola Oil under Accelerated Condition 533**
F.S. Khanagaei, F. Akrami Mohajeri, E. Askari, H. Fallahzadeh, E. Khalili Sadrabad
- Optimization of Effective Factors on the Antioxidant and Antimicrobial Activity of Sesame Meal Protein Hydrolysate with Fermentation by *Bacillus subtilis* 547**
P. Raei, M. Khomeiri, A. Sadeghi Mahoonak, A. Moayedi, M. Kashiri
- Investigation of Ultrasound and Coating with Wild Sage and Xanthan Gums Pretreatments on the Quality, Phenolic Compounds, Antioxidant Activity, and Sensory Properties of Dried Cornelian Cherry by Infrared Method 559**
M. Inanloodoghous, F. Salehi, M. Karami, A. Gohari Ardabili
- Effect of Ultrasonication Time on Physical and Chemical Properties of Kilka Fish Oil, Corn Oil and Soybean Oil 573**
R. Farahmandfar, S. Forghani
- Evaluation of Persian Gum Effect on Microbial, Physicochemical and Sensory Properties of Brined Ultra-filtered Cheese during Storage 589**
A. Gholamhosseinpour, S. Zare
- Antimicrobial and Antioxidant Effects of Sage Seed Gum Film Incorporated with *Laurus nobilis* Essential Oil Nanoemulsion 607**
H. Taghvatalab, D. Jafarpour