

نوع مقاله: پژوهشی

استخراج عصاره مرزنجوش (*Origanum vulgare L.*) به کمک فراصوت و درون پوشانی عصاره: تأثیر بر خواص فیزیکوشیمیایی ماست

هلیا اکبرلو^۱، مرجانه صداقتی^{۲*} و علیرضا شهاب لواسانی^۳^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران^{۲*} استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران^۳ دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، واحد ورامین-پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین-پیشوا، تهران، ایران

تاریخ ارسال: ۱۴۰۳/۱۰/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۸/۱۳

چکیده

مرزنجوش (*Origanum vulgare L.*) به عنوان گیاه دارویی بومی، به علت فعالیت ضدباکتریایی، ضد قارچی، ضد ویروسی و آنتی اکسیدانی مورد توجه است. در این تحقیق برای استخراج عصاره مرزنجوش از حلال‌های آب، آب/اتانل و اتانل با و بدون فراصوت (در فرکانس ۳۷ کیلوهرتز در دمای ۳۵°C به مدت ۳۵ دقیقه) بهره‌گیری شد. راندمان استخراج فنل کل، فلاونوئید و آنتوسیانین با حلال‌های آب/اتانل بیشتر از آب خالص و اتانل خالص بود. میزان IC_{50} به عنوان شاخص فعالیت آنتی اکسیدانی در عصاره مرزنجوش استخراج شده با فراصوت کاهش معنی‌دار در مقایسه با نمونه‌های شاهد داشت ($p < 0.05$). از مخلوط مالتودکسترین/صمغ عربی در سیستم حلال کلروفرم/متانل به عنوان پوشش برای درون پوشانی عصاره مرزنجوش استفاده شد. با توجه به تفاوت محتوی آنتوسیانین قبل و بعد از درون پوشانی راندمان ۸۶/۷۱ درصد برای فرآیند درون پوشانی مشاهده شد. جهت تولید ماست غنی شده از میکروکپسول‌های عصاره مرزنجوش با غلظت ۰/۳٪، ۰/۶٪ و ۰/۹٪ استفاده شد. طبق نتایج حاصل افزودن عصاره میکروکپسوله مرزنجوش سبب کاهش معنی‌دار pH و سینرسیس و افزایش معنی‌دار شمارش باکتری‌های لاکتیکی گردید ($p < 0.05$). تصاویر میکروسکوپ الکترونی مشخص کرد استفاده از عصاره مرزنجوش میکروکپسوله شده در فرمولاسیون ماست منجر به ساختار فشرده‌تر و منسجم‌تر در نمونه‌های ماست حاوی عصاره مرزنجوش به صورت میکروکپسوله شده در مقایسه با نمونه شاهد مشاهده می‌شود. با توجه به اثرات مثبت فیزیکوشیمیایی و میکروبی تأثیر ۰/۹٪ از میکروکپسول‌های حاوی عصاره مرزنجوش بر ماست و با توجه به استفاده از حلال‌های غیرخوراکی در این مطالعه، تحقیقات آتی باید از حلال‌های ایمن جهت درون پوشانی برای تولید تجاری استفاده گردد.

واژه‌های کلیدی: خصوصیات فیزیکوشیمیایی، درون پوشانی، فراصوت، ماست، مرزنجوش

مقدمه

آنه‌است و می‌توانند جایگزین فرمول‌های مصنوعی به عنوان افزودنی در محصولات غذایی شوند. لذا، تلاش زیادی برای استخراج، جداسازی، آنالیز و کاربرد عصاره‌های گیاهی در صنایع غذایی صورت گرفته است. با این حال، بسیاری از عصاره‌های گیاهی به دلیل ناپایداری شیمیایی، حالیت ضعیف یا اثرات نامطلوب بر کیفیت غذا (مانند طعم، ظاهر، بافت و غیره) نمی‌توانند مستقیماً در محصولات غذایی یا

در سال‌های اخیر، عصاره‌های گیاهی به دلیل خواص عملکردی و در برداشتن ترکیبات زیست‌فعال مورد توجه مصرف‌کنندگان مواد غذایی قرار گرفته‌اند. با افزودن این ترکیبات به مواد غذایی، می‌توان محصولات غذایی عملکردی با خواص تغذیه‌ای و سلامتی‌بخش منحصر به فرد تولید کرد. مزیت بزرگ عصاره‌های گیاهی منشا طبیعی و گیاهی

حتی مواد بسته‌بندی استفاده شوند (Cauduro et al., 2023). با این حال، برخی از مشکلات هنگام افزودن عصاره‌های گیاهی به محصولات غذایی به دلیل عدم سازگاری با ماتریکس غذایی یا حساسیت به محیط خارجی رخ می‌دهد که منجر به کاهش و از دست رفتن عملکرد آنها می‌شود. به منظور افزایش ماندگاری این ترکیبات و محافظت در برابر تخریب، بکارگیری یک پوشش فیزیکی بین عصاره‌های گیاهی و ماتریکس مواد غذایی مزایای بسیاری از جمله بهبود پایداری شیمیایی، قابلیت پخش شدن در آب و سازگاری با محیط غذایی را به همراه دارد. لذا، بسیاری از روش‌های درون‌پوشانی مانند خشک کردن پاششی و امولسیون‌سازی جهت حفظ عصاره‌های گیاهی توسعه یافته‌اند (McClements et al., 2021).

استفاده از روش‌های نوین در صنایع غذایی نظیر بکارگیری امواج فراصوت به منظور تشدید و تسریع فرآوری مواد غذایی مورد توجه تولیدکنندگان است. استفاده از فراصوت راندمان بالاتر، زمان واکنش کمتر و استفاده از شرایط واکنش ملایم‌تر را ممکن می‌سازد. بکارگیری فراصوت در صنعت غذا رشد مداومی داشته و به طور گسترده در فرآوری مواد غذایی برای خشک کردن، کریستالیزاسیون، استخراج، غیرفعال‌سازی میکروبی، امولسیون‌سازی و سایر فرآیندها استفاده می‌شود. لذا، این منبع انرژی را می‌توان جایگزین مناسبی برای تکنیک‌های مرسوم برای استخراج عصاره‌های گیاهی دانست که به عنوان یک روش مستقل یا همراه با روش‌های دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد (Munir et al., 2019).

در تحقیقات پیشین تلاش‌هایی برای بکارگیری عصاره‌های گیاهی به صورت آزاد و درون‌پوشانی شده در ماست به منظور تولید مواد غذایی عملگرا صورت گرفته است. در گزارشی تاثیر افزودن عصاره بره موم درون‌پوشانی شده بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی ماست مورد ارزیابی قرار گرفت (Taşdemir and Gölge, 2024). در مطالعه‌ای در زمینه تاثیر عصاره درون‌پوشانی‌شده چغندر قند بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی ماست، کاهش سینرسیس و افزایش ویسکوزیته را گزارش کردند (Yousefi et al., 2022). در تحقیقی در زمینه تاثیر غنی سازی ماست با عصاره شنگ وحشی درون‌پوشانی‌شده تاثیر مثبت کیسولاسیون بر زنده-مانی لاکتوباسیلوس کازئی و لاکتوباسیلوس پلانتروم گزارش شد (Maleki et al., 2022).

مرزنجوش (*Origanum vulgare* L) به عنوان گیاه دارویی بومی، ادویه و طعم‌دهنده در ایران مورد توجه است. این گیاه به علت دربرداشتن کارواکرول، تیمول و برخی ترکیبات فنلی، دارای فعالیت ضدباکتریایی، ضدقارچی، ضدویروسی و آنتی‌اکسیدانی است (Goyal et al., 2021). راندمان استخراج مرزنجوش با روش‌های مرسوم پایین است لذا، می‌توان از فراصوت جهت بهبود راندمان استخراج استفاده کرد. افزودن عصاره مرزنجوش به ماست به دلیل ناپایداری شیمیایی دشوار بوده در صورت تجزیه به کیفیت و ایمنی محصول آسیب می‌رساند. لذا، این تحقیق از تکنیک درون‌پوشانی برای محافظت از ترکیبات زیست‌فعال عصاره مرزنجوش و حفظ کیفیت ماست استفاده می‌کند. بنابراین هدف مطالعه اخیر، تولید عصاره مرزنجوش با کمک فراصوت، در ادامه درون‌پوشانی عصاره و بررسی چگونگی تاثیر غلظت‌های مختلف عصاره مرزنجوش درون‌پوشانی‌شده بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و میکروبی ماست می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مواد مورد نیاز

این پژوهش در سال ۱۴۰۲ در دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال (آزمایشگاه تحقیقاتی گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی) انجام شد. به منظور انجام این پژوهش، مرزنجوش (*Origanum vulgare* L) از عطاری گیاهینه و شیر خام (۲/۵٪ چربی، ۳/۲٪ پروتئین و ۴/۷٪ لاکتوز) از

کلروفرم/متانل (۵۰/۵۰) حل شد تا یک محلول پلیمری همگن ایجاد شود و در ادامه در روتاری خلاً (Buchi، سوئیس) تبخیر شد. برای تهیه محلول هسته، عصاره مرزنجوش ابتدا در مخلوط کلروفرم/متانل با نسبت ۱:۲ پراکنده شد تا سازگاری آن با محلول پوسته آلی افزایش یابد. سپس محلول هسته به صورت قطره‌ای به محلول پوسته که به طور مداوم همزده می‌شد اضافه گردید و نسبت ماده هسته به پوسته ۴:۱ حفظ شد. همه حلال‌ها توسط گاز N_2 تبخیر شدند و ترکیبات زیست‌فعال حاصله (بقایای جامد) در ۲ میلی‌لیتر از بافر فسفات (pH برابر ۷/۴) حل و با مخلوط کردن یکنواخت و به مدت ۲ ساعت در مکان تاریک نگهداری شدند. در نهایت در ۱۸۸۰ g در $4^{\circ}C$ سانتریفیوژ شدند و میکروکپسول‌های حاصل با خشک‌کن انجمادی (Telestar، آلمان) خشک شدند (Mahmoudi et al., 2020).

تعیین خصوصیات عصاره مرزنجوش

تعیین مقادیر ترکیبات فنلی، آنتوسیانین‌ها و فلاونوئیدها عصاره مرزنجوش

برای تعیین محتوای فنلی کل در عصاره‌های مختلف از روش فولین سیوکالتیو استفاده شد. به طور خلاصه، ۱۲۵ میکرولیتر عصاره با ۰/۵ میلی لیتر آب دیونیزه رقیق شد و با ۱۲۵ میلی‌لیتر از معرف ۰/۵ نرمال فولین سیوکالتیو مخلوط شد. در ادامه با ۱/۲۵ میلی‌لیتر محلول کربنات سدیم مخلوط و در دمای $23.8^{\circ}C$ به مدت ۱۲۰ دقیقه گرمخانه‌گذاری شد و میزان جذب هر نمونه در طول موج ۷۶۰ نانومتر و از منحنی کالیبراسیون اسید گالیک برای گزارش محتوای فنلی استفاده شد (Mahmoudi et al., 2020). برای تعیین محتوای آنتوسیانین از مخلوط متانل، آب و اسیدکلریدریک (۱:۲۰:۸۰) به عنوان بافر استفاده شد. ۱۲۰ میکرولیتر بافر و ۲۰۰ میکرولیتر کلروفرم به عصاره مرزنجوش افزوده و در یخچال با دمای $4^{\circ}C$ به مدت ۴۸ ساعت در تاریکی

شرکت پگاه تهران تهیه شد. باکتری‌های آغازگر (لاکتوباسیلوس بولگاریکوس و استرپتوکوکوس ترموفیلوس) از شرکت کریستین هانسن و متانول، سدیم هیدروکسید، مالتودکستین، صمغ عربی، معرف فولین سیوکالتیو، متانل، اتانل، $DPPH^1$ ، MRS^2 ، براث و MRS^3 آگار از شرکت مرک خریداری گردید.

روش‌ها

استخراج عصاره گیاه مرزنجوش

برگ گیاه مرزنجوش پس از تهیه در دمای اتاق در معرض هوا خشک و تا زمان ترد شدن از نور محافظت شدند. در ادامه برگ‌های خشک با آسیاب آزمایشگاهی (اسمارت، تایوان) پودر شد. سپس پودر حاصل (۱۰۰ میلی گرم در لیتر) با حلال‌های آب خالص، اتانل خالص و آب/اتانل (۵۰/۵۰) مخلوط و در یک محفظه تاریک به مدت ۴۸ ساعت نگهداری شدند و هر ۱۲ ساعت یکبار به صورت دستی تکان داده شدند. سپس برای نمونه‌های تیمار از حمام فراصوت (Bandelin، آلمان) مجهز به ترموستات در توان ۸۰ وات، فرکانس ۳۷ کیلوهرتز در دمای $35^{\circ}C$ به مدت ۳۵ دقیقه استفاده شد. نمونه استخراج شده در ۴۰۰۰ g به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ و در ادامه با کاغذ صافی واتمن شماره ۴۰ فیلتر شدند. سپس عصاره‌های استخراجی در بطری‌های تیره جداگانه قرار داده شد و در دمای $4^{\circ}C$ نگهداری شد (Maleki et al., 2016).

تهیه میکروکپسول‌های عصاره مرزنجوش

برای درون پوشانی، از عصاره اتانل/آب گیاه مرزنجوش با غلظت ۷۰۰ میلی‌گرم در لیتر استفاده شد که پیش از آن با کمک امواج فراصوت استخراج شده بود. برای تهیه محلول پوسته ترکیبی از مالتودکستین/صمغ عربی با نسبت (وزنی/وزنی) ۱:۳ تهیه شد. این مخلوط در سیستم حلال

³ De Man, Rogosa, and Sharpe Agar

¹ 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl

² De Man, Rogosa, and Sharpe Broth

افزودن ۰/۰۲٪ استارتر ماست (حاوی باکتری‌های لاکتوباسیلوس بولگاریکوس و استرپتوکوکوس ترموفیلوس) نیز به شیر اضافه شد. در ادامه شیر تلقیح یافته با ۰ (w/v)، ۰/۳٪، ۰/۶٪ و ۰/۹٪ عصاره میکروکپسوله شده مرزنجوش مخلوط و در دمای ۴۲ درجه سانتیگراد به مدت ۴ ساعت گرمخانه‌گذاری شد تا pH آن به ۴/۶ برسد. در نهایت نمونه‌ها تا دمای یخچال ۴ درجه سانتیگراد خنک شد و تا زمان آزمون‌های بعدی (روزهای ۱، ۷، ۱۴ و ۲۱) در یخچال نگهداری شد. در ادامه از pH متر دیجیتالی (Milwaukee، ایتالیا) برای اندازه‌گیری pH نمونه‌های ماست استفاده شد. برای ارزیابی سینرسیس نمونه‌های ماست با دستگاه سانتریفوژ (Hettich، آلمان) در ۲۸۰۰ g به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفوژ و نسبت وزن سوپرناتانت به وزن نمونه اولیه ارزیابی شد. برای شمارش کلی باکتری‌های لاکتیکی پس از تهیه سریال رقت، نمونه‌های ماست با استفاده از روش پورپلیت، در محیط کشت MRS آگار کشت داده شدند. پلیت‌ها به مدت ۷۲ ساعت در انکوباتور CO₂ دار در دمای ۳۷ درجه سانتیگراد گرمخانه‌گذاری و نتایج شمارش به صورت Log CFU/g گزارش شدند (Moradi et al., 2023; Vasheghani Farahani et al., 2022).

ارزیابی نمونه‌های ماست با میکروسکوپ الکترونی

مورفولوژی نمونه‌های ماست حاوی عصاره میکروکپسوله شده مرزنجوش با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی با ولتاژ شتاب‌دار ۲۰ کیلو ولت به دست می‌آید. نمونه‌های ماست حاوی عصاره میکروکپسوله شده مرزنجوش بر روی قطعات آلومینیومی قرار داده شد و با طلا پوشانده شد. میکروگراف‌ها پس از خشک شدن کامل نمونه‌های ماست تهیه شد (Mahmoudi et al., 2020).

تجزیه و تحلیل آماری

در این تحقیق تاثیر حلال‌های مختلف و تیمار فراصوت بر استخراج عصاره و ارزیابی خصوصیات فیزیکیوشیمیایی

گرمخانه‌گذاری و سپس در ۱۵۰۰ g به مدت ۱۵ دقیقه و در دمای ۴°C سانتریفوژ شد (Mahmoudi et al., 2020). جذب نمونه در طول موج ۵۳۰ و ۶۵۷ اندازه‌گیری و با ضرب تفاوت جذب در عدد ثابت ۳۹۲/۵۹۶ محتوی آنتوسیانین (mg/100g) محاسبه شد. برای تعیین محتوی فلاونوئید کل ۰/۲۵ میلی‌لیتر از عصاره با ۱/۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط و ۷۵ میکرولیتر نیتريت سدیم ۵٪ مخلوط و پس از ۶ دقیقه استراحت با ۱۵۰ میکرولیتر کلرید آلومینیوم ۱۰٪ مخلوط و پس از رقیق‌سازی جذب آن در ۵۱۰ نانومتر قرائت شد (Mahmoudi et al., 2020).

تعیین فعالیت آنتی اکسیدانی

برای تعیین فعالیت آنتی اکسیدانی ۱ میلی لیتر از محلول DPPH با غلظت ۰.۱ میلی مولار در اتانول به ۳ میلی لیتر عصاره مرزنجوش (۱۰۰-۱۰۰۰ µg/ml) اضافه شد و مخلوط حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق نگهداری شد. سپس جذب نمونه‌ها (Abs_{sample}) و شاهد (Abs_{DPPH}) در طول موج ۵۱۷ نانومتر اندازه‌گیری شد. فعالیت مهار رادیکال‌های DPPH بر اساس رابطه زیر محاسبه شد (Shariati et al., 2020):

$$\text{Scavenging activity (\%)} = \frac{\text{Abs}_{\text{DPPH}} - \text{Abs}_{\text{sample}}}{\text{Abs}_{\text{DPPH}}} \times 100$$

راندمان میکروکپسولاسیون عصاره مرزنجوش

راندمان میکروکپسولاسیون عصاره مرزنجوش (EE%) طبق روش محمودی و همکاران (۲۰۲۰) با اندازه‌گیری محتوی آنتوسیانین کل قبل از میکروکپسولاسیون عصاره (At) در مقایسه با بعد از میکروکپسولاسیون عصاره (Af) طبق فرمول زیر محاسبه شد (Mahmoudi et al., 2020):

$$EE (\%) = \frac{At - Af}{At} \times 100$$

تولید ماست حاوی عصاره میکروکپسوله شده مرزنجوش و ارزیابی خواص فیزیکیوشیمیایی آن

جهت تولید ماست شیر گاوی (۲/۵٪ چربی) پگاه در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ دقیقه پاستوریزه شد و سپس تا دمای ۴۵ درجه سانتیگراد خنک شد. پس از

ماست حاوی درصدهای مختلف عصاره میکروکپسوله شده مرزنجوش بر اساس فاکتوریل در پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. کلیه داده‌های این پژوهش، با استفاده از آزمون K-S از نظر توزیع نرمال مورد بررسی قرار گرفت. تجزیه و تحلیل واریانس دو طرفه (ANOVA) و آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۹۵٪ توسط نرم افزار SPSS (نسخه ۱۶) انجام شد و رسم نمودارها نیز با نرم افزار اکسل ۲۰۱۰ انجام پذیرفت.

نتایج و بحث

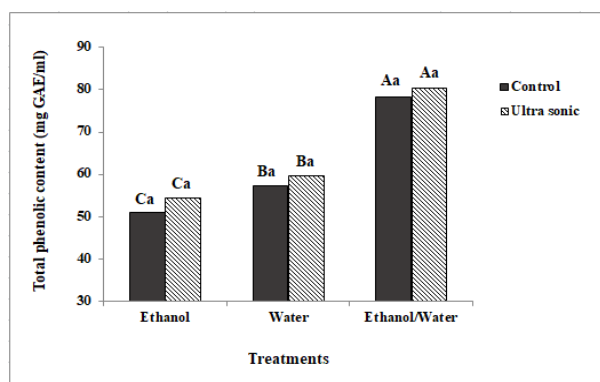
راندمان استخراج فنل کل، فلاونوئید و آنتوسیانین

شکل ۱، ۲ و ۳ راندمان استخراج ترکیبات زیست فعال (فنل کل، فلاونوئید و آنتوسیانین) را بدون استفاده از تیمار فراصوت و با بکارگیری فراصوت نشان می‌دهد. طبق نتایج حاصل بازده استخراج ترکیبات زیست فعال با حلال آب/اتانل افزایش معنی داری در مقایسه با حلال آب خالص و اتانل خالص داشت ($p < 0.05$). در گزارشات پیشین مشخص شده است ترکیبات زیست فعال حلالیت بیشتری در حلال‌ها با قطبیت کمتر (اتانل) در مقایسه با آب دارند (Mahmoudi et al., 2020)، اما در پژوهش اخیر راندمان استخراج ترکیبات زیست فعال با حلال‌های آب/اتانل بیشتر از حلال‌ها با قطبیت کمتر بود. راندمان بالاتر استخراج ترکیبات زیست فعال با حلال آب/اتانل ممکن است به قابلیت تورم ترکیبات با جذب آب باشد که منجر به افزایش سطح تماس ترکیبات حل‌شونده-حلال شده که سبب افزایش حلالیت ترکیبات زیست فعال در آب/الکل در مقایسه با الکل می‌شود (Mahmoudi et al., 2020). طبق نتایج حاصل بازده استخراج ترکیبات زیست فعال با بکارگیری فراصوت افزایش یافت اما این افزایش از نظر آماری غیر معنی دار بود. به نظر

می‌رسد بکارگیری قدرت و زمان بیشتر در فراصوت سبب افزایش معنی دار راندمان استخراج ترکیبات زیست فعال خواهد شد. محمودی و همکاران (۲۰۲۰) نیز در بررسی تأثیر فراصوت بر راندمان استخراج عصاره کوله خاس راندمان بالاتر استخراج فلاونوئیدها با آب/اتانل در مقایسه با آب خالص و اتانل خالص را گزارش کردند (Mahmoudi et al., 2020). مشابه، دلفانیان و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی تأثیر تکنیک استخراج بر ترکیبات زیست فعال میوه ازگیل مشاهده کردند که استخراج با استفاده از مخلوط آب/اتانل در مقایسه با استفاده از حلال‌های آب یا اتانل به تنهایی، راندمان بالاتری را نشان می‌دهد (Delfanian et al., 2015).

تعیین فعالیت آنتی اکسیدانی (IC_{50}) و راندمان میکروکپسولاسیون

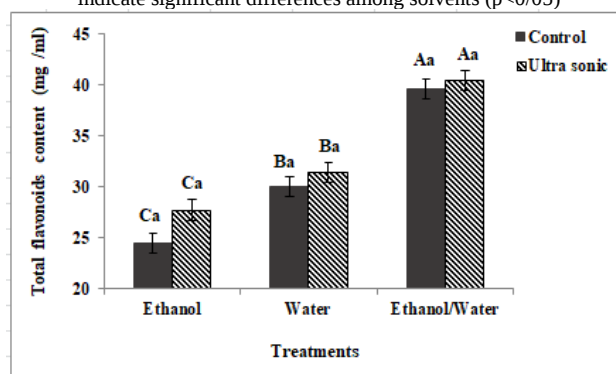
شکل ۴ میزان فعالیت آنتی اکسیدانی (IC_{50}) در عصاره مرزنجوش استخراج شده با حلال‌های مختلف را بدون استفاده از تیمار فراصوت و با بکارگیری فراصوت نشان می‌دهد. IC_{50} پایین تر نشان دهنده فعالیت آنتی اکسیدانی بالاتر است. طبق نتایج حاصل نوع حلال تأثیر معنی داری بر میزان فعالیت آنتی اکسیدانی (IC_{50}) عصاره مرزنجوش استخراج شده داشت به طوریکه میزان فعالیت آنتی اکسیدانی (IC_{50}) در عصاره مرزنجوش استخراج شده با اتانل/آب به صورت معنی داری پایین تر از سایر حلال‌ها بود ($p < 0.05$). همچنین میزان فعالیت آنتی اکسیدانی (IC_{50}) در عصاره مرزنجوش استخراج شده با فراصوت کاهش معنی دار در مقایسه با نمونه-ها بدون استفاده از فراصوت داشت ($p < 0.05$). طبق نتایج حاصل با توجه به تفاوت محتوی آنتوسیانین قبل و بعد از میکروکپسولاسیون راندمان ۸۶/۷۱٪ برای فرآیند میکروکپسولاسیون مشاهده شد.



شکل ۱- محتوی فنل کل (mg GAE/ml) در عصاره حاصل از مرزنجوش با حلال‌های مختلف با و بدون بکارگیری فراصوت
 *حروف کوچک متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارها با و بدون استفاده از فراصوت ($p < 0.05$) است، در حالی که حروف بزرگ نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میان حلال‌های مختلف است ($p < 0.05$)

Figure. 1. Total phenol content (mg GAE/ml) in extract produced from *Origanum vulgare* L. with different solvents with and without using ultrasound

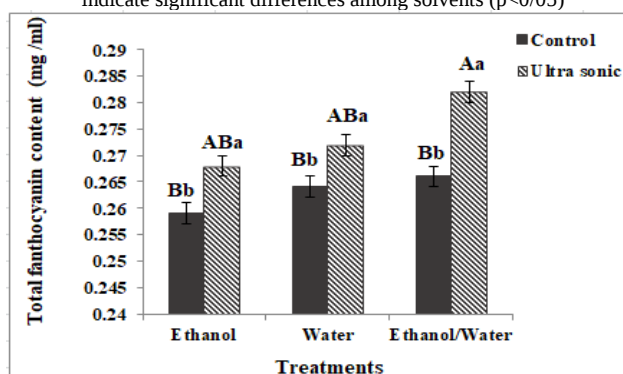
*Lowercase letters indicate significant differences between treatments with and without using ultrasound ($p < 0.05$), while uppercase letters indicate significant differences among solvents ($p < 0.05$)



شکل ۲- محتوی فلاونوئید کل (mg quercetin/ml) در عصاره حاصل از مرزنجوش با حلال‌های مختلف با و بدون بکارگیری فراصوت
 *حروف کوچک متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارها با و بدون استفاده از فراصوت ($p < 0.05$) است، در حالی که حروف بزرگ نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میان حلال‌های مختلف است ($p < 0.05$)

Figure. 2. Total flavonoid content (mg quercetin/ml) in extract produced from *Origanum vulgare* L. with different solvents with and without using ultrasound

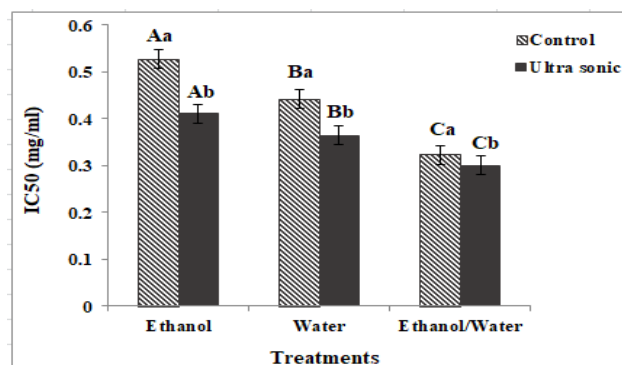
*Lowercase letters indicate significant differences between treatments with and without using ultrasound ($p < 0.05$), while uppercase letters indicate significant differences among solvents ($p < 0.05$)



شکل ۳- تغییرات محتوی آنتوسیانین (mg/ml) در عصاره حاصل از مرزنجوش با حلال‌های مختلف با و بدون بکارگیری فراصوت
 *حروف کوچک متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارها با و بدون استفاده از فراصوت ($p < 0.05$) است، در حالی که حروف بزرگ نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میان حلال‌های مختلف است ($p < 0.05$)

Figure. 3. Changes in anthocyanin content (mg/ml) in extract produced from *Origanum vulgare* L. with different solvents with and without using ultrasound

*Lowercase letters indicate significant differences between treatments with and without using ultrasound ($p < 0.05$), while uppercase letters indicate significant differences among solvents ($p < 0.05$)



شکل ۴- فعالیت آنتی اکسیدانی (IC_{50}) در عصاره حاصل از مرزنجوش با حلال‌های مختلف با و بدون بکارگیری فراصوت
 *حروف کوچک متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارها با و بدون استفاده از ($p < 0/05$) است، در حالی که حروف بزرگ نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میان حلال‌های مختلف است ($p < 0/05$)

Figure. 4. Antioxidant activity (IC_{50}) in extract produced from *Origanum vulgare L.* with different solvents with and without using ultrasound

*Lowercase letters indicate significant differences between treatments with and without using ultrasound ($p < 0/05$), while uppercase letters indicate significant differences among solvents ($p < 0/05$)

با اعمال فراصوت مشاهده شد، قدرت و مدت زمان انتخاب شده با هدف جلوگیری از تخریب ترکیبات زیست‌فعال انجام شد و در نتیجه، تأثیر فراصوت تحت این شرایط افزایشی اما از نظر آماری معنی‌دار نبودند. محمودی و همکاران (۲۰۲۰) نیز در بررسی تأثیر فراصوت بر راندمان استخراج عصاره کوله‌خاس ارتباط مستقیم افزایش محتوی فنلی و آنتوسیانین را با افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی گزارش کردند که با تحقیق اخیر هم‌خوانی داشت (Mahmoudi et al., 2020). پولینی و همکاران (۲۰۲۰) تأثیر مثبت بکارگیری تیمار فراصوت را در فعالیت آنتی اکسیدانی عصاره برگ مورینگا ایفرا گزارش کردند (Pollini et al., 2020).

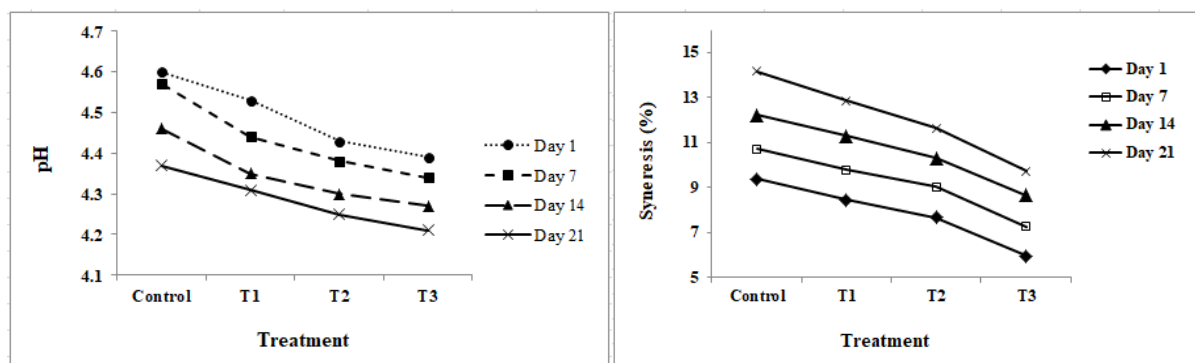
بررسی تأثیر عصاره میکروکپسوله مرزنجوش بر pH و سینرسیس ماست

شکل ۵ تغییرات pH و سینرسیس نمونه‌های ماست حاوی عصاره میکروکپسوله مرزنجوش را در طول زمان نگهداری نشان می‌دهد. طبق نتایج حاصل افزودن عصاره میکروکپسوله مرزنجوش سبب کاهش معنی‌دار pH و سینرسیس در نمونه‌های ماست گردید ($p < 0/05$). نتایج حاصل نشان می‌دهد در طول زمان نگهداری pH نمونه‌های ماست کاهش معنی‌دار داشت اما سینرسیس افزایش معنی‌دار داشت ($p < 0/05$). به نظر می‌رسد مشارکت

به نظر می‌رسد استفاده از آب/اتانل به عنوان حلال باعث افزایش استخراج طیف وسیع‌تری از ترکیبات فنلی و فلاونوئیدها با خاصیت آنتی اکسیدانی می‌شود. اتانل که یک حلال با قطبیت کمتر از آب است، می‌تواند ترکیبات آبریز را استخراج کند که ممکن است به تنهایی در آب حل نشوند و این منجر به استخراج جامع‌تر ترکیبات زیست‌فعال با خاصیت آنتی اکسیدانی در حلال اتانل/آب می‌شود (Delfanian et al., 2015). برخی از ترکیبات آنتی اکسیدانی موجود در عصاره مرزنجوش مانند کارواکرول و تیمول، حلالیت متفاوتی در حلال‌های مختلف دارند و وجود اتانل می‌تواند حلالیت این ترکیبات را افزایش داده و باعث افزایش راندمان استخراج و در نتیجه فعالیت مهارکنندگی بالاتر در عصاره نهایی شود (Butsat and Siriamornpun, 2016). اگرچه تیمار فراصوت سبب ایجاد حباب‌های کاویتاسیون در محیط مایع شده و هنگامی که این حباب‌ها فرو می‌ریزند، دما و فشارهای ایجاد شده سبب تخریب دیواره سلولی گیاهی و آزادسازی ترکیبات زیست‌فعال مانند فنل‌ها و فلاونوئیدها با خواص آنتی اکسیدانی می‌شوند (Gomes et al., 2022)، میزان تأثیر فراصوت به شدت به قدرت، زمان، فرکانس و سایر پارامترهای مورد استفاده بستگی دارد. در این مطالعه، در حالی که افزایش راندمان استخراج و فعالیت آنتی اکسیدانی

پنیر روی سطح ماست و جمع شدن ساختار سه‌بعدی شبکه پروتئینی می‌شود. سینرسیس در ماست به دلیل تغییراتی است که باعث کاهش قدرت اتصال به آب پروتئین‌های آب پنیر و خروج رطوبت می‌شود. اغلب عصاره‌های میکروکپسوله‌شده به دلیل وجود هیدروکلوئیدها در دیواره افزایش خاصیت اتصال به آب را نشان می‌دهند. لذا عصاره رطوبت را در ماتریس ماست حفظ کرده و مقدار آب آزاد را که از ساختار ژل جدا شده و سبب سینرسیس می‌شود را کاهش می‌دهد، که به نوبه خود سینرسیس را به حداقل می‌رساند.

عصاره‌های میکروکپسوله شده می‌تواند فعالیت باکتری‌های اسید لاکتیک (LAB) مورد استفاده در تخمیر ماست مانند گونه‌های لاکتوباسیلوس و استرپتوکوک را افزایش دهد. این باکتری‌ها با متابولیسم قندها در طی تخمیر، اسیدلاکتیک تولید می‌کنند که منجر به کاهش pH می‌شود. وجود ترکیبات زیست‌فعال در عصاره ممکن است باعث تحریک رشد و فعالیت متابولیکی این کشت‌های آغازگر شود که در نتیجه باعث افزایش تولید اسیدلاکتیک و در نتیجه کاهش pH می‌شود (Yousefi et al., 2023). یکی از معایب عمده ماست سینرسیس است که منجر به ظاهر شدن سرم یا آب



شکل ۵- میزان pH و سینرسیس (%) نمونه‌های ماست (شاهد)، T1 (۰/۳ درصد)، T2 (۰/۶ درصد) و T3 (۰/۹ درصد) عصاره مرزنجوش میکروکپسوله در طول زمان نگهداری

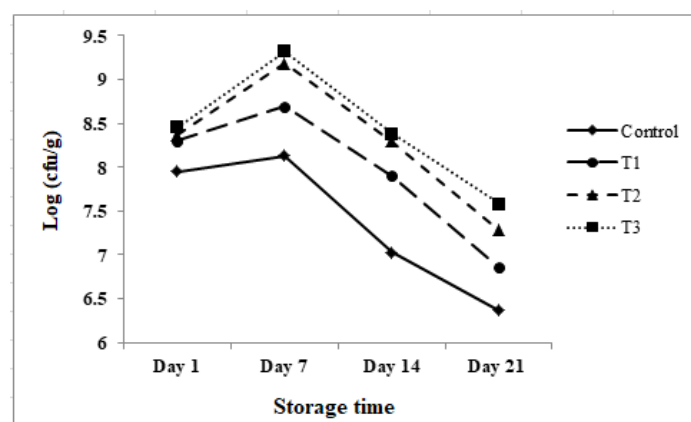
Figure. 5. pH and syneresis (%) of yogurt samples (control (0%), T1 (0/3%), T2 (0/6%) and T3 (0/9% microencapsulated *Origanum vulgare* L. extract) during storage time

بررسی تاثیر عصاره میکروکپسوله مرزنجوش بر شمارش کلی باکتری‌های لاکتیکی ماست

شکل ۶ تغییرات محتوی باکتری‌های لاکتیکی را در نمونه‌های ماست در طول دوره نگهداری نشان می‌دهد. طبق نتایج شمارش باکتری‌های لاکتیکی با افزودن میکروکپسول‌های حاوی عصاره مرزنجوش افزایش معنی‌دار داشت ($p < 0.05$). شمارش کلی باکتری‌های لاکتیکی تا روز هفتم نگهداری افزایش معنی‌دار داشت اما از روز هفتم تا روز بیست و یکم نگهداری کاهش معنی‌دار داشت ($p < 0.05$). در روز بیست و یکم نگهداری، شمارش کلی باکتری‌های لاکتیکی نمونه‌های ماست حاوی ۰/۹٪ میکروکپسول‌های حاوی

بعلاوه، عصاره ممکن است با پروتئین‌های شیر برهمکنش داشته و توانایی آنها را برای تشکیل شبکه‌ای پایدار که آب را به طور موثرتری حفظ می‌کند، افزایش داده و در نتیجه سینرسیس را کاهش می‌دهد (Maleki et al., 2021). مالکی و همکاران (۲۰۲۱) کاهش سینرسیس در نمونه‌های ماست پروبیوتیک حاوی عصاره میکروکپسوله شنگ‌وحشی (*Tragopogon Collinus*) گزارش کردند (Maleki et al., 2021). مقدم و همکاران (۲۰۲۱) در بررسی خواص فیزیکوشیمیایی ماست پروبیوتیک حاوی عصاره میکروکپسوله پونه کاهش pH و سینرسیس نمونه‌های ماست را مشاهده کردند (Moghadam et al., 2021).

عصاره مرزنجوش برابر 7.58 Log(CFU/g) در مقایسه با 6.37 در نمونه شاهد بود. به نظر می رسد عصاره مرزنجوش حاوی ترکیبات فعال زیستی مانند تیمول و کارواکرول است که خواص ضد میکروبی قوی از خود نشان می دهند. این ترکیبات می توانند رشد باکتری های بیماری زا را مهار و در به سویه های پروبیوتیک مفید اجازه رشد دهند. با کاهش رقابت با میکروارگانیسم های مضر، عصاره مرزنجوش می تواند محیط مساعدتری برای باکتری های لاکتیکی ایجاد و زندهمانی و رشد آن ها را افزایش دهد. همچنین، درون پوشانی که مقاومت باکتری های اسید لاکتیک را در برابر تنش های محیطی نظیر pH و فعالیت آبی افزایش می دهد در افزایش بقا باکتری پروبیوتیک موثرند (Idir et al., 2022). همچنین، کاهش بقای باکتری های لاکتیکی در طول ذخیره سازی ماست تحت تأثیر دمای ذخیره سازی، اسیدی شدن، کاهش مواد مغذی، کاهش فشار اکسیژن، و مدت زمان نگهداری است (Vasheghani Farahani et al., 2022).

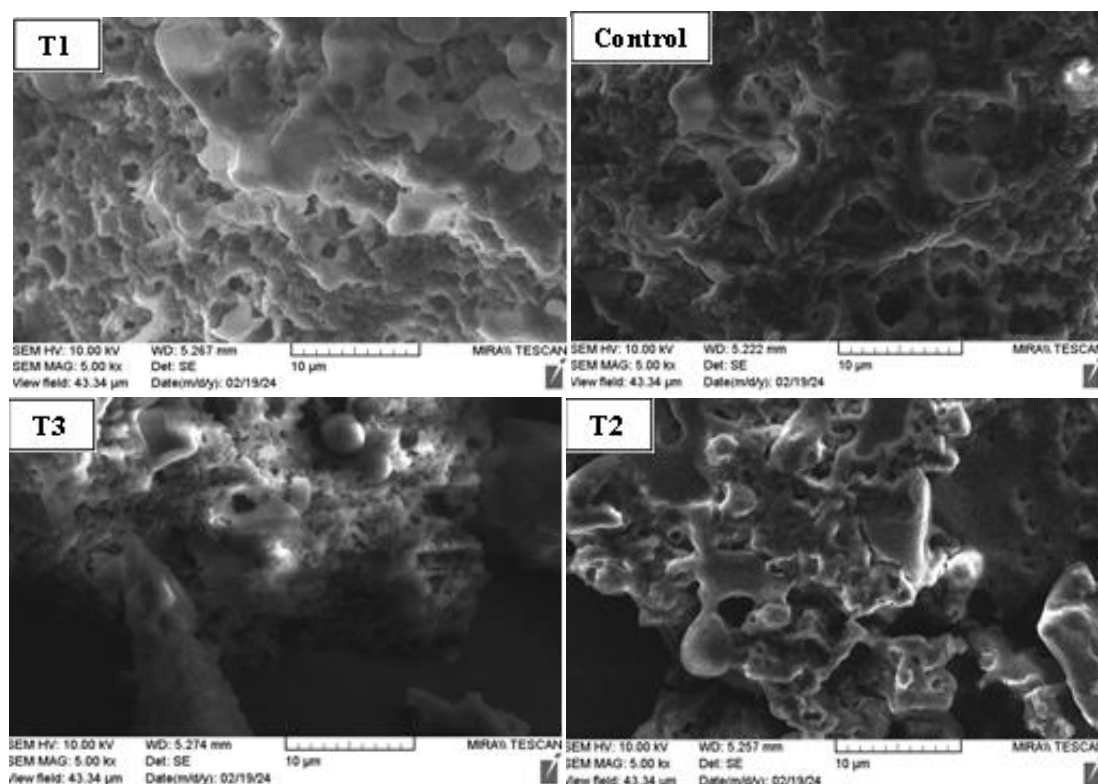


شکل ۶- میزان زندهمانی باکتری های لاکتیکی (cfu/g) نمونه های ماست (شاهد (۰ درصد)، T1 (۰/۳ درصد)، T2 (۰/۶ درصد) و T3 (۰/۹ درصد) عصاره مرزنجوش میکروکپسوله) در طول زمان نگهداری

Figure. 6. Lactic acid bacteria viability (cfu/g) of yogurt samples (control (0%), T1 (0/3%), T2 (0/6%) and T3 (0/9% microencapsulated *Origanum vulgare L.* extract) during storage time

بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی نمونه های ماست تجمع میسل های کازئین و دناتوره شدن پروتئین های آب پنیر در طی فرآیند تخمیر، منجر به تشکیل یک شبکه سه بعدی در ماست می شود. از طرفی تغییرات در فرمولاسیون ماست می تواند منجر به تغییراتی در ریز ساختار ژل ماست شود که می تواند با استفاده از ابزارهایی مانند میکروسکوپ الکترونی روبشی قابل مشاهده باشد (Qu et al., 2021). تجزیه و تحلیل تصاویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) به منظور ارزیابی تغییرات مورفولوژی نمونه های ماست انجام شد.

مشابه، غوثی و همکاران (۲۰۲۲) در بررسی خصوصیات کیفی دوغ حاوی کتیرا و رازیانه اثر محرک عصاره رازیانه بر رشد و بقا باکتری های لاکتیکی را گزارش کردند (Ghosi et al., 2022). حاجی غفارلو و همکاران (۲۰۲۲) افزایش بقا بیفیدوباکتریوم بیفیدوم را در حضور عصاره زنجبیل در نمونه دوغ سین بیوتیک گزارش کردند (Haji Ghafarloo et al., 2022). همچنین واشقانی فراهانی و همکاران در سال (۲۰۲۲) کاهش بقا باکتری پروبیوتیک لاکتوباسیلوس کازئی را در طول زمان نگهداری در دوغ سین بیوتیک گزارش کردند (Vasheghani Farahani et al., 2022).



شکل ۷- تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه های ماست (شاهد ۰ درصد)، T1 (۰/۳ درصد)، T2 (۰/۶ درصد) و T3 (۰/۹ درصد) عصاره مرزنجوش میکروکپسوله در روز اول نگهداری

Figure. 7. Electron microscopic image (SEM) of yogurt samples (Control (0%), T1 (0/3%), T2 (0/6%) and T3 (0/9% microencapsulated *Origanum vulgare* L. extract) on the first day of storage

پلی ساکراید-پروتئین می تواند پایداری شبکه ژله ای ماست را افزایش دهد و منجر به تشکیل ساختار پیوسته تر و فشرده تر با منافذ کوچک تر شود. همبستگی بالای ریزساختار و بافت ماست، این استدلال را تقویت می کند که عصاره مرزنجوش میکروکپسوله شده با اصلاح فیزیکی ریزساختار و خواص نگهداری آب، به افزایش عملکرد شبکه ژل ماست کمک می کند (Li et al., 2021). مشابه صابری و همکاران (۲۰۲۱) در بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی ماست همزده حاوی میکروکپسول های تفاله انگور و روغن کتان ایجاد ساختار فشرده تر و منافذ کمتر در بافت ماست را گزارش کردند (Saber et al., 2021).

نتیجه گیری

در این تحقیق مشخص شد استخراج عصاره مرزنجوش با استفاده از حلال اتانل/آب و کمک فراصوت به طور موثری

استفاده از عصاره مرزنجوش به صورت میکروکپسوله شده در فرمولاسیون ماست منجر به برخی تفاوت ها در ظاهر شبکه ژلی ماست شد. با توجه به میکروگراف های حاصل، ساختار فشرده تر و منسجم تر در نمونه های ماست حاوی عصاره مرزنجوش به صورت میکروکپسوله شده در مقایسه با نمونه شاهد مشاهده شد. بدیهی است که اندازه منافذ شبکه در ماست های غنی شده با عصاره مرزنجوش به صورت میکروکپسوله شده به تدریج کاهش می یابد که منجر به ساختار ویسکوزتر و سفت تر با کاهش سینرسیس می شود. پلی ساکرایدهای مورد استفاده به عنوان مواد پوششی دیواره برای تشکیل میکروکپسول ها توانایی پیوند با مولکول های آب در ساختار ماست را دارند و می توانند قوام و پایداری ساختار ژل را در نمونه های ماست غنی شده با میکرو کپسول های عصاره مرزنجوش را افزایش دهند. به نظر می رسد برهمکنش

سبب افزایش راندمان استخراج عصاره و ترکیبات زیست فعال نظیر فنل ها، فلاونوئیدها و آنتوسیانین ها می شود. بکارگیری مالتودکسترین/صمغ عربی جهت میکروکپسولاسون عصاره سبب تولید میکروکپسول ها با راندمان بالا حدود ۸۷/۷۱ درصد شد. افزودن میکروکپسول های عصاره مرزنجوش به ماست، با کاهش pH و سینرزیس، خواص عملکردی آن را بهبود بخشید و در نتیجه پایداری محصول را افزایش داد.

علاوه بر این، میکروکپسولاسیون عصاره مرزنجوش زنده مانی باکتری های لاکتیکی را افزایش داد و طبق میکروگراف های میکروسکوپ الکترونی به ایجاد ساختار فشرده تر با منافذ کمتر در بافت ماست کمک کرد. با این حال، برای کاربرد خوراکی، لازم است فرآیند با استفاده از حلال های خوراکی دوباره طراحی شود، باقیمانده حلال به طور دقیق پایش گردد، آزمون های حسی و ارزیابی های ایمنی صورت پذیرد.

مراجع

- Butsat, S., & Siriamornpun, S. (2016). *Effect of solvent types and extraction times on phenolic and flavonoid contents and antioxidant activity in leaf extracts of Amomum chinense C.* International Food Research Journal, 23, 180–187.
- Cauduro, V. H., Cui, J., Flores, E. M. M., & Ashokkumar, M. (2023). *Ultrasound-Assisted Encapsulation of Phytochemicals for Food Applications: A Review.* Foods, 12, 3859. <https://doi.org/10.3390/foods12203859>.
- Delfanian, M., Esmaeilzadeh Kenari, R., & Sahari, M. A. (2015). *Influence of extraction techniques on antioxidant properties and bioactive compounds of loquat fruit (Eriobotrya japonica Lindl.) skin and pulp extracts.* Food Science & Nutrition, 3, 179–187. <https://doi.org/10.1002/fsn3.201>.
- Ghosi Hoojaghan, S., Sedaghati, M., & Mooraki, N. (2022). *Characterization of Iranian Doogh enriched with gum Tragacanth and fennel extract (Foeniculum Vulgare).* Journal of Agricultural Science and Technology, 24(6), 1345–1356. <https://doi.org/10.52547/jast.24.6.1345>.
- Gomes, N. R., Parreiras, P. M., Menezes, C. C., Falco, T. S., Vieira, M. C., Passos, M. C., & Cunha, L. R. (2022). *Impact of ultrasound treatment on viability of Staphylococcus aureus and the human milk antioxidant activity.* Food Science and Technology, 42, 2–7. <https://doi.org/10.1590/fst.40220>.
- Goyal, S., Tewari, G., Pandey, H. K., & Kumari, A. (2021). *Exploration of productivity, chemical composition, and antioxidant potential of (Origanum vulgare L.) grown at different geographical locations of Western Himalaya.* Indian Journal of Chemistry, 1, 1-12. <https://doi.org/10.1155/2021/6683300>.
- Haji Ghafarloo, M., Jouki, M., & Tabari, M. (2020). *Production and characterization of synbiotic Doogh, a yogurt-based Iranian drink by gum Arabic, ginger extract and B. bifidum.* Journal of Food Science and Technology, 57, 1158–66.
- Idir, F., Van Ginneken, S., Coppola, G. A., Grenier, D., Steenackers, H. P., Bendali, F. (2022). *Origanum vulgare ethanolic extracts as a promising source of compounds with antimicrobial, anti-biofilm, and anti-virulence activity against dental plaque bacteria.* Frontiers in Microbiology, 13, 4256. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.999839>.
- Li, H., Liu, T., Yang, J., Wang, R., Li, Y., Feng, Y., Liu, D., Li, H., & Yu, J. (2021). *Effect of a microencapsulated synbiotic product on microbiology, microstructure, textural and rheological properties of stirred yogurt.* LWT, 152, 112302. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112302>.
- Mahmoudi, L., Tavakoli-pour, H., Roozbeh-Nasiraie, L., & Kalbasi-Ashtari, A. (2020). *Ultrasonication and encapsulation of Butcher broom (Ruscus Hyrcanus L.) extract and its bioactive effects on qualitative*

- properties, oxidative stability and shelf life of cake*. Sustainable Chemistry and Pharmacy, 17, 100295. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2020.100295>.
- Maleki, M., Ariaii, P., & Sharifi, S. M. (2022). *Fortifying of probiotic yogurt with free and microencapsulated extract of Tragopogon Collinus and its effect on the viability of Lactobacillus casei and Lactobacillus plantarum*. Food Science & Nutrition, 9, 3436–48. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2250>.
- Maleki, M., Ariaii, P., & Fallah, H. (2016). *Effects of celery extracts on the oxidative stability of canola oil under thermal condition*. Journal of Food Processing and Preservation, 40, 531–540. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12632>.
- McClements, D. J., Das, A. K., Dhar, P., Nanda, P. K., & Chatterjee, N. (2021). *Nanoemulsion-Based Technologies for Delivering Natural Plant-Based Antimicrobials in Foods*. Frontiers in Sustainable Food Systems, 5, 64308. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.643208>.
- Moghadam, R. M., Ariaii, P., & Ahmady, M. (2021). *The effect of microencapsulated extract of pennyroyal (mentha pulegium. L) on the physicochemical, sensory, and viability of probiotic bacteria in yogurt*. Journal of Food Measurement and Characterization, 15(3), 2625–2636. <https://doi.org/10.1007/s11694-021-00849-2>.
- Moradi, H., Sedaghati, M., & Jahanbakhshian, N. (2023). *Evaluation and improvement of antioxidant activity and physicochemical properties of yogurt enriched with persian gum (Amygdalus scoparia Spach) and fennel (Foeniculum Vulgare) extract*. Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria, 22(4), 431-440. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.2023.1163>
- Munir, M., Nadeem, M., Qureshi, T. M., Leong, T. S. H., Gamlath, C. J., Martin, G. J. O., & Ashokkumar, M. (2019). *Effects of high pressure, microwave and ultrasound processing on proteins and enzyme activity in dairy systems—A review*. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 57, 102192. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102192>.
- Pollini, L., Tringaniello, C., Ianni, F., Blasi, F., Manes, J., & Cossignani, L. (2020). *Impact of ultrasound extraction parameters on the antioxidant properties of Moringa oleifera leaves*. Antioxidants, 9, 277. <https://doi.org/10.3390/antiox9040277>.
- Saberi, M., Saremnezhad, S., Soltani, M., & Faraji, A. (2023). *Functional stirred yogurt manufactured using co-microencapsulated or free forms of grape pomace and flaxseed oil as bioactive ingredients: Physicochemical, antioxidant, rheological, microstructural, and sensory properties*. Food Science & Nutrition, 11, 3989–4001. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3385>.
- Shariati, Z., Jouki, M., & Rafiei, F. (2020) *Flavored functional drinking yogurt (Doogh) formulated with Lactobacillus plantarum LS5, cress seed gum, and coriander leaves extract*. Food Science & Nutrition, 8, 894–902. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1367>.
- Taşdemir, Y., & Gölge, E. (2024). *Application of microencapsulated propolis extract in yoghurt production*. Italian Journal of Food Science, 36 (1), 157-164. <https://doi.org/10.15586/ijfs.v36i1.2482>.
- Qu, X., Nazarenko, Y., Yang, W., Nie, Y., Zhang, Y., & Li, B. (2021). *Effect of oat β -glucan on the rheological characteristics and microstructure of set-type yogurt*. Molecules, 26(16), 4752. <https://doi.org/10.3390/molecules26164752>
- Vasheghani Farahani, M., Sedaghati, M., & Mooraki N. (2022). *Production and characterization of synbiotic Doogh by Gum Tragacanth, Date Seed Powder, and L.casei*. Journal of Food Processing and Preservation, 46:e16946. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16946>.
- Yousefi, S., Kavyanirad, M., Aminifar, M., Weisany, W., & Mousavi Khaneghah, A. (2022). *Yogurt fortification by microencapsulation of beetroot extract (Beta vulgaris L.) using maltodextrin, gum*

arabic, and whey protein isolate. Food Science and Nutrition, 10 (6), 1875–1887. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2804>.

Yousefi, M., Khanniri, E., Sohrabvandi, S., Khorshidian, N., & Mortazavian, A. M. (2023). *Encapsulation of Heracleum persicum essential oil in chitosan nanoparticles and its application in yogurt*. Frontiers in Nutrition, 10, 1130425. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1130425>.

*Original Research***Production of marjoram (*Origanum vulgare* L.) extract using ultrasound and extract capsulation: Effect on physicochemical properties of yogurt****Heliya Akbarlou¹, Marjaneh Sedaghati^{2*}, Alireza Shahab Lavasani³*****Corresponding Author:** Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Nt.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.**Email:** marjanehsedaghati@yahoo.com**Received:** 16 January 2025 **Accepted:** 4 November 2025**http://doi:** 10.22092/FOODER.2026.368326.1412**Abstract**

Origanum vulgare L. is a native medicinal plant of interest due to antibacterial, antifungal, antiviral and antioxidant activities. In this study, water, water/ethanol and ethanol solvents with and without ultrasound (at a frequency of 37 kHz at a temperature of 35°C for 35 minutes) were used to extract marjoram extract. The extraction efficiency of total phenols, flavonoids and anthocyanins with water/ethanol solvents was higher than pure water and pure ethanol. The IC₅₀ value as an index of antioxidant activity in the ultrasonically extracted marjoram extract was significantly 0/05 reduced compared to the control samples ($p < 0.05$). A mixture of maltodextrin/gum arabic in a chloroform/methanol solvent system was used as a coating for encapsulating the marjoram extract. Considering the difference in anthocyanin content before and after encapsulation, the efficiency of the encapsulation process was $86.71\% \pm 0.93\%$. To produce enriched yogurt, marjoram extract microcapsules with concentrations of 0.3%, 0.6% and 0.9% were used. According to the results, the addition of microencapsulated marjoram extract caused a significant decrease in pH and syneresis and a significant increase 0/05 in the number of lactic acid bacteria ($p < 0.05$). Electron microscope images showed that the use of microencapsulated marjoram extract in yogurt formulation resulted in a more compact and cohesive structure in yogurt samples containing microencapsulated marjoram extract compared to the control sample. Considering the positive physicochemical and microbial effects of 0.9% microcapsules containing marjoram extract on yogurt and considering the use of non-edible solvents in this study, future research should use safe solvents for coating for commercial production.

Keywords: Microencapsulation, *Origanum vulgare* L., Physicochemical properties, Ultrasound, Yogurt