



بررسی تاثیر روش های استخراج مایکروویو، فراصوت و ترکیبی مایکروویو- فراصوت بر خواص آنتی اکسیدانی و میزان عناصر معدنی (کلسیم، پتاسیم و آهن) عصاره تفاله انار

مریم ابراهیمی^{۱*}

^۱ - دانش آموخته دکتری علوم و مهندسی صنایع غذایی، گروه تبدیل و نگهداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۱۶

تاریخ داوری: ۱۴۰۴/۱۱/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۰۸

کلمات کلیدی:

تفاله انار،

فراصوت،

مایکروویو،

خواص آنتی اکسیدانی،

عناصر معدنی.

DOI: 10.48311/fsct.2026.118174.82975

* مسئول مکاتبات:

ebrahimi.me@yahoo.com

از آنجا که ائتلاف و ضایعات مواد غذایی تاثیرات زیادی بر جنبه های اقتصادی و اجتماعی دولت ها دارد، این مطالعه با هدف بررسی تاثیر روش های مختلف استخراج بر خواص آنتی اکسیدانی و عناصر معدنی شامل کلسیم، پتاسیم و آهن از تفاله انار صورت پذیرفت. در این مطالعه از ۴ روش استخراج شامل فراصوت به مدت ۳۰ دقیقه، مایکروویو به مدت ۹۰ ثانیه، روش ترکیبی مایکروویو-فراصوت (۹۰ ثانیه مایکروویو و سپس ۳۰ دقیقه فراصوت) و شاهد (روش خیساندن) استفاده گردید. عصاره های به دست آمده از هر روش از نظر راندمان استخراج، فنول کل، توانایی مهار رادیکال های آزاد DPPH آنتی اکسیدانی و غلظت عناصر معدنی آنالیز شدند. نتایج نشان داد که روش های فراصوت و مایکروویو، به ویژه روش ترکیبی، بیشترین راندمان استخراج عصاره (۶/۵۹ درصد)، میزان توانایی مهار رادیکال های آزاد DPPH (۶۴/۵ درصد)، میزان کلسیم (۰/۷۱ ppm)، آهن (۰/۲۳ ppm) و پتاسیم (۲۰۵ ppm) را داشت. از طرفی مشخص گردید که روش ترکیبی مایکروویو-فراصوت، فراصوت و مایکروویو به ترتیب منجر به افزایش ۲۵۶/۳۵، ۸۸/۵۸ و ۲۰۵/۱۶ درصدی فنول کل عصاره نسبت به روش مرسوم استخراج گردید. در پایان نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از روش های نوین استخراج مانند فراصوت و مایکروویو می تواند به عنوان جایگزینی مؤثر برای روش های سنتی در بازیابی ترکیبات مفید و عناصر معدنی از ضایعات میوه ها مورد استفاده قرار گیرد.

۱- مقدمه

اکسایش چربی ها در مواد غذایی، نگهداری آنها را شدیداً کاهش داده و باعث می شود که غذاهایی با کیفیت غیر قابل قبول به مشتری ارائه شود. برای جلوگیری از اکسایش روغن ها در مواد غذایی، روش های متعددی وجود دارد که یکی از این موارد افزودن موادی به نام آنتی اکسیدان ها است. آنتی اکسیدان ها ترکیباتی هستند که گسترش بد طعمی و تندشوندگی را با توسعه زمان پایداری به تأخیر می اندازند. آنتی اکسیدان ها با مکانیسم های مختلفی مانند کنترل سوبستراهای اکسایش، کنترل پرواکسیدان و همچنین غیر فعال نمودن رادیکال های آزاد سبب به تأخیر انداختن اکسایش لیپیدها می شوند. از طرفی استفاده از آنتی اکسیدان های سنتزی نظیر بوتیل هیدروکسی تولوئن، بوتیل هیدروکسی آنیزول و ترشیو بوتیل هیدروکینون در مواد غذایی به دلیل اثرات مخرب آنها بر سلامت انسان ها به مخاطره افتاده است. در سال های اخیر تلاش برای یافتن منابع جدید آنتی اکسیدانی طبیعی به دلیل اثرات سوء ناشی از مصرف آنتی اکسیدان های سنتزی گسترش یافته است [۱ و ۲]. انار با نام علمی (*Punica granatum* L.) از خانواده گیاهان Punicaceae می باشد که به طور گسترده در ایران و سایر کشورهای گرمسیری کشت می شود. فعالیت آنتی اکسیدانی انار به وجود ترکیبات فنولی، فلاونوئیدها، آنتوسیانین ها، تانن ها، اسیدهای آسکوربیک و اسید گالیک نسبت داده می شود. در سال های اخیر، استفاده از محصولات جانبی کشاورزی به دلیل هزینه های پایین تر آنها توسط بسیاری از مطالعات مورد توجه قرار گرفته است. پوست انار به عنوان یک محصول جانبی غیر قابل خوردن در صنعت آبمیوه با فعالیت آنتی اکسیدانی بالا بوده که بیش از ۵۰ درصد از وزن میوه را تشکیل می دهد [۳]. اتلاف و ضایعات مواد غذایی منجر به سوء استفاده از منابع، مانند آب، زمین، انرژی، کود و همچنین افزایش انتشار متان و دی اکسید کربن از تجزیه طبیعی مواد غذایی می شود. علاوه بر این، اتلاف و ضایعات مواد غذایی تاثیرات زیادی بر جنبه های اقتصادی و

اجتماعی دولت ها دارد به گونه ای که یکی از دستور کارهای سازمان توسعه پایدار سازمان ملل متحد کاهش این ضایعات می باشد. از آنجا که محصولات جانبی میوه به عنوان ضایعات مواد غذایی با ارزش اقتصادی کم در نظر گرفته می شوند با این حال، محصولات جانبی انار به عنوان منبعی از ترکیبات زیست فعال، ارزش افزوده بالایی دارند و پتانسیل توسعه افزودنی های غذایی جدید و کاهش ضایعات در صنعت کشاورزی و مواد غذایی را نشان می دهد [۴].

روش های استخراج مختلفی برای بازیابی ترکیبات فنولی از منابع گیاهی استفاده می شوند روش های سنتی استخراج مانند خیساندن، سوکسله و غیره اغلب زمان بر بوده و راندمان پایینی دارند و موجب افزایش هزینه های تولید می گردند که در این روش ها معمولاً از آب داغ یا الکل های با وزن مولکولی کم به عنوان حلال استفاده می شود. از دیگر روش های استخراج این ترکیبات می توان به میکروویو، فراصوت، میدان الکتریکی پالسی و استخراج با آب مادون بحرانی نام برد که این روش ها به عنوان روش های جدید شناخته می شوند و این روش ها در مقایسه با روش های مرسوم کارآمدتر، سریع تر و به کمترین میزان حلال نیاز دارند [۱، ۵ و ۶]. میکروویو، امواج الکترومغناطیسی غیریونیزه با فرکانس بین ۳۰۰ مگاهرتز تا ۳۰۰ گیگاهرتز هستند و میان امواج رادیویی و اشعه مادون قرمز در طیف الکترومغناطیسی قرار دارند که از دو میدان عمودی نوسانی یعنی میدان الکتریکی و مغناطیسی ساخته می شوند. حرارت دهی معمولی وابسته به پدیده هدایت- جابجایی بوده و سرانجام مقدار زیادی از انرژی حرارتی از طریق محیط از دست می رود در حالی که با این امواج، حرارت دهی در یک مسیر مشخص و انتخابی و بدون اتلاف حرارت به محیط اتفاق می افتد. این امواج موجب تبخیر آب از ساختار مواد گیاهی و افزایش فشار در محیط داخلی می گردد که این مسئله می تواند سبب تجزیه مواد، گسیختگی غشاء، افزایش کارایی استخراج عصاره از غشاء سلولی گردد [۷]. محققین در مطالعه استخراج ترکیبات فنولی از برگ های درخت اکالیپتوس به کمک امواج میکروویو گزارش کردند که روش های

استخراج جدید همچون مایکروویو، روش‌های سریع و موثر برای استخراج ترکیبات موثر از بافت‌های گیاهی هستند و حداکثر غلظت ترکیبات فنولی با خلوص بالا را از ماده مورد نظر در مقایسه با روش‌های سنتی می‌توان استخراج کرد [۸]. یکی از فناوری‌های سبز که امروزه کاربرد آن در صنایع مختلف رواج یافته است، استخراج به کمک امواج فراصوت می‌باشد. کاربرد این فرایند بر اساس پدیده کاویتاسیون یا حفره‌زایی که از پروپ یا حمام فراصوت که به ترتیب در فرکانس‌های ۲۰ و ۴۰ کیلوهرتز کار می‌کنند، می‌باشد. در طول فرایند فراصوت در محیط مایع، امواج صوتی که توسط دستگاه تولید شده به محیط انتشار می‌یابند و چرخه‌های متناوب فشرده‌سازی (فشار زیاد) و کم فشار (فشار کم) ایجاد می‌کنند در نتیجه پدیده کاویتاسیون مشاهده می‌شود که امکان مخلوط کردن شدید ذرات حلال و جامد را فراهم می‌کند. حباب‌های ناشی از انفجار باعث برخورد شدید ذرات می‌شوند که منجر به افزایش انتشار داخلی و همچنین انتشار گردابی می‌شود که در نتیجه آن دیواره سلولی گیاهی شکسته و انتقال جرم و سرعت استخراج را افزایش می‌دهد [۹]. عناصر معدنی به عنوان ریزمغذی‌های ضروری، نقش‌های حیاتی در عملکردهای بیوشیمیایی، ساختاری و تنظیمی بدن انسان، حیوانات و گیاهان ایفا می‌کنند. کمبود یا مصرف بیش از حد این عناصر می‌تواند منجر به اختلالات سلامتی مانند بیماری‌های قلبی-عروقی، پوکی استخوان، اختلالات ایمنی و بیماری‌های متابولیک شود. منابع غذایی غنی از این عناصر، مانند محصولات لبنی، غلات و سبزیجات، برای حفظ تعادل هموستاتیک ضروری هستند. برای مثال، کلسیم و فسفر حدود ۹۹ درصد در استخوان‌ها و دندان‌ها ذخیره می‌شوند و برای معدنی‌سازی استخوان و عملکرد عضلانی-عصبی حیاتی هستند [۱۰ و ۱۱]. از طرفی حضور آهن در مواد غذایی فراوری‌شده یا مکمل‌ها می‌تواند پایداری اکسایشی روغن‌ها را مختل کند. برای مثال، آهن آزاد یا به‌صورت ترکیب با پروتئین‌ها، می‌تواند با اکسیژن محلول واکنش دهد و منجر به تجزیه لیپیدها شود که این امر در صنایع غذایی چالش‌برانگیز است. مطالعات نشان می‌دهند که غلظت‌های

پایین آهن (حتی در حد میکرومولار) کافی است تا نرخ اکسیداسیون را به‌ویژه در حضور حرارت یا نور دو تا سه برابر افزایش دهد [۱۲]. محققین نشان داده‌اند که استفاده از فراصوت و مایکروویو منجر به افزایش استخراج فلزات از گیاهان می‌گردد [۱۳ و ۱۴]. توجه به اینکه به‌کارگیری روش‌های نوین استخراج از جمله فراصوت و مایکروویو می‌تواند موجب افزایش بازده استخراج ترکیبات فنولی، بهبود ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و ریزمغذی‌های عصاره‌ها شود، اما در عین حال احتمال افزایش استخراج مواد پرواکسیدان را نیز به‌همراه دارد، لذا هدف از این مطالعه بررسی و مقایسه کارایی سه روش استخراج شامل فراصوت، مایکروویو و ترکیب این دو فرایند در استخراج عصاره آنتی‌اکسیدانی و همچنین ارزیابی میزان مواد معدنی موجود در عصاره‌های حاصل بود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

برای این تحقیق تفاله انار از یکی از فروشگاه‌های آبمیوه‌گیری شهرستان همدان ایران، معرف فولین سیو کالچو، کربنات سدیم، بافر فسفات سدیم، محلول DPPH، استاندارد کلسیم، آهن و پتاسیم از شرکت‌های معتبر مرک (آلمان) و سیگما آلدریج (آمریکا) تهیه شدند.

۲-۲- استخراج عصاره از تفاله انار

در این مطالعه ابتدا تفاله‌های انار در سایه خشک و آسیاب (TS1300، ایران) گردیدند تا پودری با اندازه ذرات ۰/۳ میلی متر بدست آید و نمونه‌های حاصل با ۴ روش مختلف عصاره‌گیری شدند. در روش فراصوت، نمونه‌ها در فراصوت حمام‌دار (VCLEAN-L4، ایران) از جنس استیل ضد زنگ با فرکانس ۵۰ هرتز و در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد (Agilent، آمریکا) و با شدت امواج فراصوت ۷۵ درصد برای مدت زمان ۳۰ دقیقه قرار گرفتند. برای استخراج با مایکروویو، نمونه‌ها در مایکروویو (LG، کره جنوبی) با توان ۵۴۰ وات به مدت ۹۰ ثانیه قرار داده شدند. برای روش ترکیبی مایکروویو-فراصوت، نمونه‌ها ابتدا در مایکروویو برای مدت زمان ۹۰ ثانیه و سپس تحت تاثیر امواج فراصوت

در این روش احیاکنندگی (توانایی هیدروژن دهنده گی یا قدرت رادیکال گیرندگی) عصاره استخراج شده بر رادیکال پایدار DPPH و تغییر رنگ آن از ارغوانی به زرد در طول موج ۵۱۷ نانومتر بررسی شد به این صورت که ۵ میلی لیتر از محلول عصاره استخراج شده با ۱ میلی لیتر محلول متانولی DPPH غلظت (۱ میلی مولار) مخلوط و سپس به مدت ۳۰ دقیقه در دمای محیط و شرایط تاریک نگهداری شد و نهایتاً میزان جذب نمونه ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر قرائت گردید و در نهایت با استفاده از رابطه ۲ توانایی مهار رادیکال های آزاد DPPH محاسبه شد [۱۷].

رابطه (۲)

$$DPPH(\%) = \frac{AC-AS}{AC} \times 100$$

که در رابطه ۲، AC و AS به ترتیب نشان دهنده میزان عدد جذب شاهد و نمونه می باشند.

۲-۶- تعیین میزان کلسیم، پتاسیم و آهن

برای آماده سازی نمونه ها و اندازه گیری فلزات سنگین از روش دوگازک و میرچیک (۲۰۲۴) با کمی تغییرات استفاده شد. در این روش از روش جذب اتمی شعله ای (Shimadzu، ژاپن) استفاده گردید. برای سنجش عناصر در نمونه های استخراجی ابتدا دستگاه توسط محلول های استاندارد راه اندازی شده و سپس نمونه مورد نظر به دستگاه تزریق شد. در پایان میزان کلسیم، پتاسیم و آهن هر نمونه به صورت نمودار توسط نرم افزار دستگاه ارائه گردید [۱۸].

۲-۷- تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام گردید. از نرم افزار SAS (ورژن ۹.۴) برای تجزیه و تحلیل اطلاعات و برای مقایسه میانگین تیمارهای مورد مطالعه در مورد هر ویژگی از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح ۵ درصد استفاده شد و نمودارها توسط نرم افزار اکسل (۲۰۱۶) رسم گردیدند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تاثیر روش استخراج بر راندمان استخراج عصاره

مقایسه میانگین ها به روش آزمون دانکن نشان داد که بیشترین میزان راندمان عصاره (۶/۵۹ درصد) مربوط به روش

برای مدت زمان ۳۰ دقیقه قرار داده شدند و در نهایت برای روش مرسوم استخراج (روش شاهد) از ۲۴ ساعت خیساندن در آب استفاده گردید، لازم به ذکر است که در تمامی نمونه ها، نسبت نمونه به حلال (آب) ۱ به ۱۰ بود. عصاره حاصل از ۴ روش فوق با کاغذ صافی واتمن ۱، صاف گردید و روی این عصاره ها، آزمایشات ذیل صورت پذیرفت [۲، ۱۵ و ۱۶].

۲-۳- راندمان عصاره گیری

راندمان عصاره گیری (EE) با ریختن مقدار ۱۰ میلی لیتر از عصاره ها (m_1) کف پلیت هایی که کاملاً تمیز، خشک و به دقت توزین شده بود و قرار دادن آن ها در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد در آون آزمایشگاهی (Memmert، آلمان) تا رسیدن به وزن ثابت (m_2) تعیین گردید و راندمان عصاره گیری با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد [۱۷].

رابطه (۱)

$$EE = \frac{m_2}{m_1} \times 100$$

۲-۴- اندازه گیری فنول کل

برای اندازه گیری میزان ترکیبات فنولی عصاره های استخراجی، از روش ارائه شده بوسیله دولت آبادی و همکاران (۲۰۲۵) با کمی اصلاحات استفاده شد. در این روش غلظت ثابتی از عصاره های استخراجی به لوله های آزمایش منتقل شده و ۲/۵ میلی لیتر معرف فولین سیو کالچو، ۱۰ بار رقیق شده در آب مقطر، به لوله ها منتقل و در نهایت ۲ میلی لیتر کربنات سدیم ۷/۵ گرم در ۱۰۰ میلی لیتر اضافه و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای محیط نگهداری شد. در پایان جذب نمونه، در سل های ۱ سانتی متری توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (Biochrom، انگلیس) در طول موج ۷۶۵ نانومتر قرائت شد. نمودار استاندارد نیز با استفاده از غلظت های ۱۰ تا ۲۰۰ پی پی ام اسید گالیک رسم شد. مقدار کل ترکیبات فنولی عصاره ها بر مبنای میلی گرم اسید گالیک در ۱۰۰ گرم ماده خشک محاسبه گردید [۵].

۲-۵- اندازه گیری توانایی مهار رادیکال های آزاد DPPH

تبخیر آب از ساختار مواد گیاهی و افزایش فشار در محیط داخلی می‌گردد که این مسئله می‌تواند سبب تجزیه مواد، گسیختگی غشا، افزایش کارایی استخراج گردد [۲۰]. تان رئون و همکاران (۲۰۲۵) نشان دادند که استفاده از مایکروویو منجر به افزایش راندمان استخراج عصاره از گیاه دارچین می‌گردد که همراستا با نتایج این بخش بود [۲۱]. از طرفی نتایج این بخش با نتایج کریمی و همکاران (۲۰۲۰) که بیان داشته بودند، استفاده از روش ترکیبی مایکروویو-فراصوت منجر به افزایش راندمان استخراج عصاره از گیاه آویشن شیرازی می‌گردد، مطابقت داشت [۲۲].

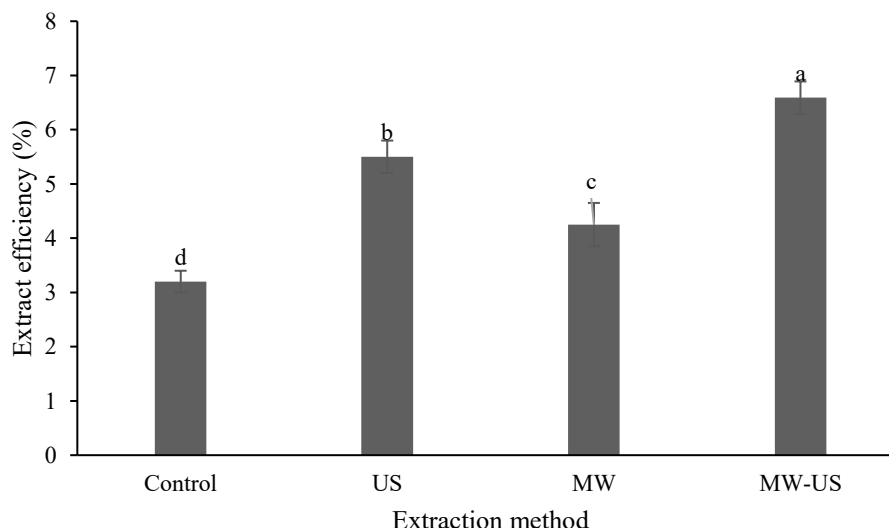


Figure 1- Effect of extraction method on extraction efficiency

زیست فعال را با تکیه بر عملکرد مکانیکی فراصوت بر روی دیواره‌های سلول گیاهی استخراج می‌کند [۲۴]. عملکرد مکانیکی فراصوت، تماس سطحی بین مولکول‌های حلال و ماتریس نمونه گیاهی را افزایش می‌دهد. بنابراین، این امواج ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مواد گیاهی را تغییر داده و مختل می‌کند، آزادسازی مواد شیمیایی گیاهی را تسریع می‌کند و حرکت جرمی سیستم حلال را به سلول‌های گیاهی بیشتر تقویت می‌کند [۲۵]. استفاده از این روش مصرف انرژی را کاهش می‌دهد و بازایی مواد شیمیایی گیاهی را از گیاهان افزایش می‌دهد [۲۶]. در طول فرآیند استخراج، مایکروویوها حلال و بافت گیاه را گرم می‌کنند و سینتیک

ترکیبی مایکروویو - فراصوت بود و بعد از آن روش فراصوت قرار داشت (شکل ۱) از طرفی مشخص گردید که تمامی روش‌های مورد مطالعه میزان راندمان عصاره را نسبت به روش شاهد افزایش دادند. مکانیسم اصلی امواج فراصوت فروپاشی و انفجار حباب‌های کاویتاسیون (حفره‌زایی) است که نیروی حاصله از انفجار این حباب‌ها، باعث افزایش تخریب دیواره سلولی و در نتیجه انتقال جرم بیشتر از گیاه به حلال می‌شود [۹]. فراصوت همچنین سبب کاهش اندازه ذرات می‌شود که سطح تماس را افزایش داده و در نتیجه انتشار حلال در بافت افزایش می‌یابد که در نتیجه آن ترکیبات بیشتری استخراج می‌شود [۱۹]. امواج مایکروویو نیز موجب

۳-۲- تاثیر روش استخراج بر فنول کل عصاره

ترکیبات فنولی به‌عنوان گروه وسیعی از ترکیبات طبیعی با ساختارهای متنوع، شامل اسیدهای فنولیک، فلاونوئیدها، تانن‌ها و لیگنان‌ها تعریف شده‌اند. این ترکیبات نه تنها در استخراج از گیاهان اهمیت دارند، بلکه به عنوان مواد مؤثره در محصولات طبیعی برای درمان بیماری‌ها و سنتز داروها استفاده می‌شوند [۲۳]. نتایج آورده شده در شکل ۲، نشان داد که به ترتیب روش ترکیبی مایکروویو-فراصوت، فراصوت و مایکروویو منجر به افزایش ۲۵۶/۳۵، ۸۸/۵۸ و ۲۰۵/۱۶ درصدی ترکیبات فنولی نسبت به روش مرسوم استخراج گردید. روش استخراج با کمک فراصوت، ترکیبات

استخراج شامل انتشار حلال ها به داخل نمونه، جداسازی بعدی حل شونده از محل عملکردی و در نهایت آزادسازی حل شونده ها به حلال ها است. این تکنیک در حفظ فعالیت های بیولوژیکی عصاره ها خوب است. به عنوان مثال، بهینه سازی مایکروویو در استخراج چای سبز، بهبود فعالیت آنتی اکسیدانی ترکیبات گیاهی را تأیید کرد و محتوای فنول کل و کیفیت عصاره ها را بهبود بخشید [۲۹].

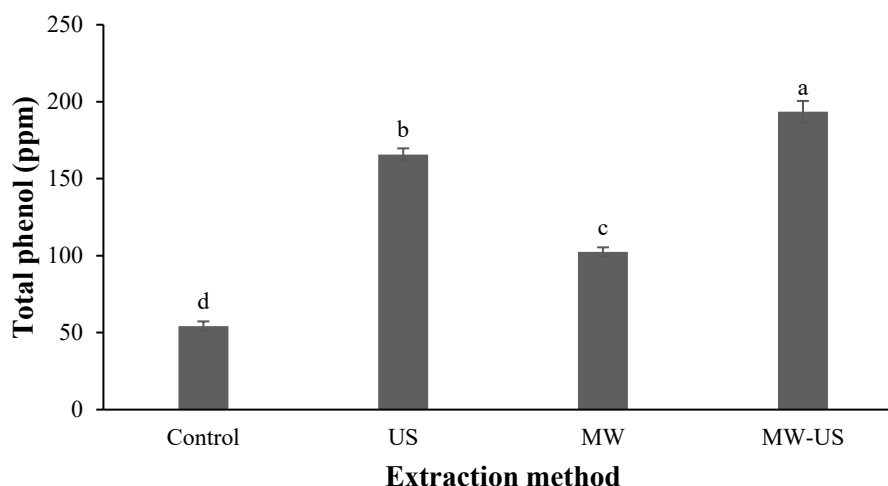


Figure 2- Effect of extraction method on total phenol

داشته اند که ظرفیت آنتی اکسیدانی عمدتاً توسط پپتیدهای با وزن مولکولی کم تعیین می شود و کاویتاسیون فراصوت منجر به آزادسازی پپتیدهای با وزن مولکولی کم می شود که احتمال بیشتری برای تعامل با رادیکال های آزاد دارند. افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانی همچنین ممکن است به دلیل واپاشی پروتئین توسط فراصوت باشد که باقیمانده های اسید آمینه و زنجیره های جانبی موجود در عصاره، ظرفیت آنتی اکسیدانی را افزایش می دهد [۳۰]. رازقندی و همکاران (۲۰۲۴) افزایش توانایی مهار رادیکال های آزاد DPPH عصاره گیاه بومادران در هنگام فراصوت را به آزادسازی بیشتر ترکیبات آنتی اکسیدانی از قبیل توکوفرول ها به درون عصاره نسبت دادند [۱]. افزایش توانایی مهار رادیکال های آزاد DPPH در عصاره حاصل از روش مایکروویو نسبت به روش مرسوم را نیز می توان به اثرات مستقیم انرژی مایکروویو روی فیتومولکول ها از طریق هدایت یونی و چرخش دوقطبی نسبت داد که منجر به تخریب دیواره سلولی مواد گیاهی شده

استخراج را افزایش می دهند. مایکروویو ها با تاثیر مستقیم بر مولکول های قطبی، نمونه را گرم می کنند. تبدیل انرژی از مایکروویو به گرما شامل چرخش های دوقطبی است. گرمایش مستقیماً با ثابت دی الکتریک حلال ها متناسب است [۲۷]. ویسکوزیته حلال به طور قابل توجهی بر فرآیند استخراج تاثیر می گذارد زیرا ویسکوزیته پایین تر، پراکندگی یون ها و در نتیجه حلالیت را تسهیل می کند [۲۸]. فرآیند

۳-۳- تاثیر روش استخراج بر توانایی مهار رادیکال های

آزاد DPPH

DPPH (۲،۲-دی فنیل-۱-پیکریل هیدرازیل) یک رادیکال آزاد پایدار است که به طور گسترده به عنوان معرف در آزمون های آنتی اکسیدانی برای اندازه گیری فعالیت خنثی سازی رادیکال های آزاد توسط ترکیبات زیست فعال مانند فنولیک ها استفاده می شود. این روش بر اساس کاهش رنگ بنفش به صورت زرد کم رنگ توسط آنتی اکسیدان ها عمل می کند [۲۳]. شکل ۳، نشان داد که عصاره حاصل از روش ترکیبی مایکروویو- فراصوت دارای بیشترین میزان توانایی مهار رادیکال های آزاد DPPH (۶۴/۵ درصد) می باشد و بعد از آن عصاره حاصل از روش فراصوت قرار داشت. از طرفی مشخص گردید که نتایج این بخش همبستگی بالایی با نتایج حاصل از میزان فنول کل نمونه ها داشتند به گونه ای که نمونه دارای فنول بیشتر، توانایی مهار رادیکال های آزاد DPPH بیشتری داشت. محققین بیان

DPPH عصاره پوست نارنگی می گردد که همراستا با نتایج این بخش بود [۳۲].

و در نتیجه آن ترکیبات فنولی و آنتی اکسیدانی افزایش می یابد [۳۱]. ژوریک و همکاران (۲۰۲۵) نیز نشان دادند که استفاده از مایکروویو منجر به افزایش توانایی مهار رادیکال های آزاد

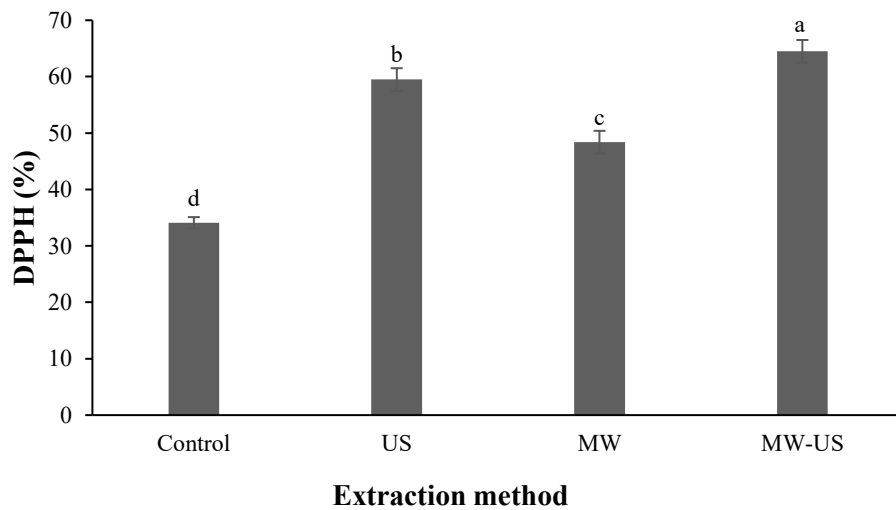
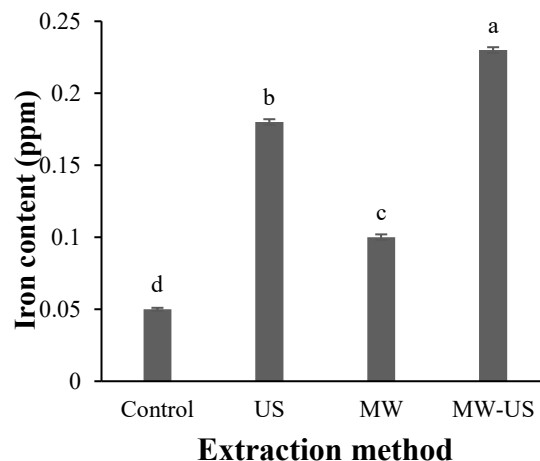
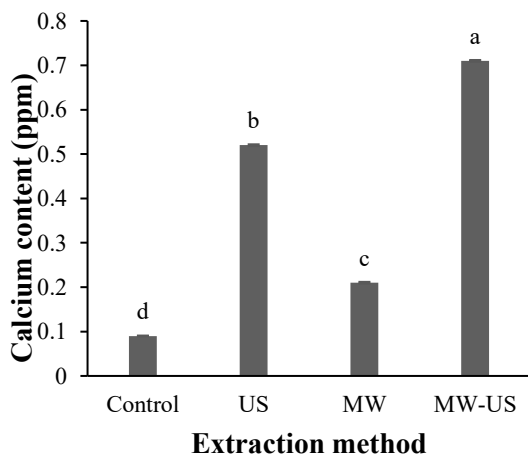


Figure 3- Effect of extraction method on DPPH radical scavenging activity

مایکروویو و فراصوت را می توان به تخریب کمپلکس های حاوی این ترکیبات توسط امواج فراصوت و مایکروویو نسبت داد [۳۳]. شاید افزایش این ترکیبات را بتوان به افزایش راندمان استخراج توسط روش های فراصوت و مایکروویو که در بخش ۳-۱ به طور کامل توضیح داده شده بود، نیز نسبت داد. نبابی و همکاران (۲۰۲۵) نیز بیان کردند که استفاده از فراصوت منجر به افزایش عناصر معدنی در عصاره استخراج شده از گیاهان می گردد [۳۴]. نتایج این بخش با نتایج اورادا و همکاران (۲۰۰۳) که نشان داده بودند استفاده از مایکروویو و فراصوت منجر به استخراج بیشتر عناصر معدنی از گیاهان می شود، مطابقت داشت [۳۵].

۳-۴- تاثیر روش استخراج بر میزان عناصر معدنی (کلسیم، پتاسیم و آهن) عصاره

نتایج نشان داد که بیشینه میزان کلسیم (۰/۷۱ ppm)، آهن (۰/۲۳ ppm) و پتاسیم (۲۰۵ ppm) نمونه ها زمانی به دست آمد که از روش ترکیبی مایکروویو-فراصوت برای استخراج عصاره استفاده شده بود. از طرفی مشخص گردید که هر سه روش مورد استفاده در استخراج عصاره (فراصوت، مایکروویو و ترکیب این دو) منجر به افزایش عناصر معدنی در عصاره نسبت به روش مرسوم می شوند (شکل ۴). علت افزایش عناصر معدنی در عصاره در هنگام استفاده از



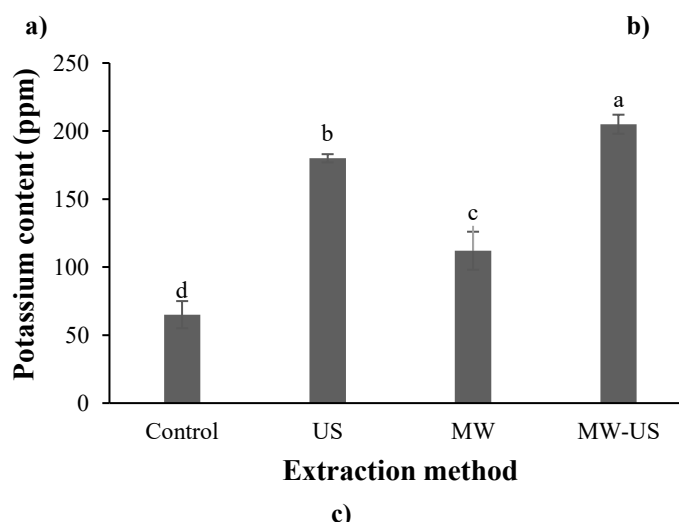


Figure 4- The effect of extraction method on the content of a) calcium, b) iron, and c) potassium in pomegranate pulp extract

۴- نتیجه گیری

دسترس به داده ها

داده هایی که از یافته های این مطالعه پشتیبانی می کنند، در صورت درخواست منطقی، از طریق نویسنده مسئول در دسترس هستند.

تضاد منافع

نویسنده اعلام می دارد که هیچ گونه تعارض منافع مالی یا روابط شخصی شناخته شده ای که بتواند بر کار گزارش شده در این مقاله تأثیر گذاشته باشد، وجود ندارد.

بیانیه تأمین مالی

این پژوهش هیچ گونه کمک مالی ویژه ای از سازمان های تأمین مالی در بخش های دولتی، تجاری یا غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

مریم ابراهیمی: ایده پردازی (مفهوم سازی)، روش شناسی، تحقیق، تحلیل رسمی، نگارش پیش نویس اولیه.

۵- منابع

نتایج این مطالعه نشان داد که روش استخراج مورد استفاده نقش مهمی در خواص آنتی اکسیدانی و عناصر معدنی شامل کلسیم، پتاسیم و آهن عصاره دارد. روش های نوین استخراج مانند فراصوت و مایکروویو، به ویژه روش ترکیبی مایکروویو-فراصوت، عملکرد بالاتری نسبت به روش سنتی خیساندن در آزادسازی این ترکیبات ارائه دادند. فراصوت با ایجاد کاویتاسیون و شکستن ساختار سلولی، و مایکروویو با افزایش نفوذ حلال و دمای سریع محلول، موجب آزادسازی مؤثرتر عناصر معدنی و ترکیبات فنولی شدند. روش ترکیبی با بهره گیری از مزایای هر دو تکنیک بیشترین بازده استخراج عناصر کلسیم، پتاسیم و آهن و بالاترین فعالیت آنتی اکسیدانی را فراهم کرد. این نتایج نشان می دهند که استفاده از روش های نوین استخراج می تواند راهکاری مؤثر و سریع برای بازیابی مواد مفید و عناصر معدنی از ضایعات میوه ها مانند تفاله انار باشد و جایگزین مناسبی برای روش های سنتی در صنایع غذایی و فرآوری میوه ها محسوب شود.

- [1] Razghandi, E., Elhami Rad, A. H., Jafari, S. M., Saiedi Asl, M. R., & Bakhshabadi, H. (2024). Application of pulsed electric field-ultrasound technique for antioxidant extraction from yarrow: ANFIS modeling and evaluation of antioxidant activity. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2024(1), 2951718.
- [2] Razghandi, E., Elhami-Rad, A. H., Jafari, S. M., Saiedi-Asl, M. R., & Bakhshabadi, H.

(2024). Combined pulsed electric field-ultrasound assisted extraction of yarrow phenolic-rich ingredients and their nanoliposomal encapsulation for improving the oxidative stability of sesame oil. *Ultrasonics Sonochemistry*, 110, 107042.

- [3] Ghasemi, R., Akrami Mohajeri, F., Heydari, A., Yasini, S. A., Dehghani Tafti, A., & Khalili Sadrabad, E. (2023). Application of pomegranate peel extract, a waste

- agricultural product, as a natural preservative in tahini. *International Journal of Food Science*, 2023(1), 8860476.
- [4] García, P., Fredes, C., Cea, I., Lozano-Sánchez, J., Leyva-Jiménez, F. J., Robert, P., & Jimenez, P. (2021). Recovery of bioactive compounds from pomegranate (*Punica granatum* L.) peel using pressurized liquid extraction. *Foods*, 10(2), 203.
- [5] Dolatabadi, Z., Rad, A. H. E., Feizabad, S. H. A., Farzaneh, V., & Bakhshabadi, H. (2025). Utilizing subcritical fluid for extracting lycopene and phenolic compounds from tomato pomace, and incorporating the extract obtained to extend the shelf life of mayonnaise. *Journal of Food Science and Technology*, 1-11.
- [6] Gharekhani, M., Ghorbani, M., Rasoulnejad, N., Jabrayili, SH., Novel extraction methods of nutraceuticals from medicinal plants: ultrasound-assisted extraction, microwave-assisted extraction and accelerated solvent extraction. *Iranian Chemical Engineering Journal*, 10(59), 24-36.
- [7] Bakhshabadi, H., Ganje, M., Gharekhani, M., Mohammadi-Moghaddam, T., Aulestia, C., & Morshedi, A. (2025). A review of new methods for extracting oil from plants to enhance the efficiency and physicochemical properties of the extracted oils. *Processes*, 13(4), 1124.
- [8] Gharekhani, M., Dehghani, A.A., Gharekhani, A., Jabrayili, SH., Ghorbani, M. (2012). Extraction of phenolic compounds from eucalyptus leaves (*Eucalyptus camaldulensis* Dehn.) using microwave and process prediction Extraction using artificial neural networks. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 7(4), 70-80.
- [9] Mansuri, S., Bakhshabadi, H., Moghimi, M., Tahmasebi, A., & Gharekhani, M. (2025). Evaluating the physicochemical properties of camelina (*Camelina sativa*) seed oil obtained through optimized ultrasonic-assisted extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 118, 107371.
- [10] Awuchi, C. G., Igwe, V. S., Amagwula, I. O., & Echeta, C. K. (2020). Health benefits of micronutrients (vitamins and minerals) and their associated deficiency diseases: A systematic review. *International Journal of Food Sciences*, 3(1), 1-32.
- [11] Stipanuk, M. H., & Caudill, M. A. (2018). *Biochemical, Physiological, and Molecular Aspects of Human Nutrition-E-Book*. Biochemical, Physiological, and Molecular Aspects of Human Nutrition-E-Book. Elsevier health sciences.
- [12] Clarkson, P. M., & Haymes, E. M. (1995). Exercise and mineral status of athletes: calcium, magnesium, phosphorus, and iron. *Medicine and science in sports and exercise*, 27(6), 831-843.
- [13] Chen, J., Li, X., Gao, L., Guo, S., & He, F. (2024). Microwave treatment of minerals and ores: Heating behaviors, applications, and future directions. *Minerals*, 14(3), 219.
- [14] Milić, P. S., Rajković, K. M., Stamenković, O. S., Bekrić, D. M., Arsić-Arsenijević, V., Jovanović, P. D., & Veljković, V. B. (2018). Statistical modeling and optimization of classical and ultrasound-assisted extraction of the minerals from *Galium mollugo* L. by response surface methodology and genetic algorithm. *Journal of food processing and preservation*, 42(3), e13552.
- [15] 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), 18.
- [16] Sharma, M., & Dash, K. K. (2022). Microwave and ultrasound assisted extraction of phytochemicals from black jamun pulp: Kinetic and thermodynamics characteristics. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 75, 102913.
- [17] Hosseini, S. M., Bojmehrani, A., Zare, E., Zare, Z., Hosseini, S. M., & Bakhshabadi, H. (2021). Optimization of antioxidant extraction process from corn meal using pulsed electric field-subcritical water. *Journal of food processing and preservation*, 45(6), e15458.
- [18] Długaszek, M., & Mierczyk, J. (2024). Elemental composition of green tea infusions depending on the method of their brewing. *European Food Research and Technology*, 250(1), 301-309.
- [19] Rashidi, H., Hosseinzadeh, E., Ghods Rohani, M., & Einafshar. (2023). The effect of ultrasound extraction conditions on extraction efficiency phenolic compounds and antioxidant properties of *Eryngium* extract. *Technology of Medicinal and Aromatic Plants of Iran*, 5(1), 44-34.
- [20] Bakhshabadi, H., Mirzaei, H., Ghodsvai, A., Jafari, S. M., Ziaifar, A. M., & Farzaneh, V. (2017). The effect of microwave pretreatment on some physico-chemical properties and bioactivity of Black cumin seeds' oil. *Industrial crops and products*, 97, 1-9.

- [21] Tanruean, K., Luangkamin, S., Srisurat, T., Bunmusik, W., & Suttiarporn, P. (2025). Optimization of Microwave-Assisted Extraction Process for Production of Polyphenol-Rich Crude Extract from *Cinnamomum iners* Leaves. *Applied Sciences* (2076-3417), 15(3).
- [22] Karimi, S., Sharifzadeh, S., & Abbasi, H. (2020). Sequential ultrasound-microwave assisted extraction as a green method to extract essential oil from *Zataria multiflora*. *Journal of Food and Bioprocess Engineering*, 3(2), 101-109.
- [23] Bitwell, C., Indra, S. S., Luke, C., & Kakoma, M. K. (2023). A review of modern and conventional extraction techniques and their applications for extracting phytochemicals from plants. *Scientific African*, 19, e01585.
- [24] Bimakr, M., Ganjloo, A., Zarringhalami, S., & Ansarian, E. (2017). Ultrasound-assisted extraction of bioactive compounds from *Malva sylvestris* leaves and its comparison with agitated bed extraction technique. *Food Science and Biotechnology*, 26(6), 1481-1490.
- [25] Quintero Quiroz, J., Naranjo Duran, A. M., Silva Garcia, M., Ciro Gomez, G. L., & Rojas Camargo, J. J. (2019). Ultrasound-assisted extraction of bioactive compounds from annatto seeds, evaluation of their antimicrobial and antioxidant activity, and identification of main compounds by LC/ESI-MS analysis. *International journal of food science*, 2019(1), 3721828.
- [26] Herrera, M. C., & Luque de Castro, M. D. (2004). Ultrasound-assisted extraction for the analysis of phenolic compounds in strawberries. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 379(7), 1106-1112.
- [27] Bagade, S. B., & Patil, M. (2021). Recent advances in microwave assisted extraction of bioactive compounds from complex herbal samples: a review. *Critical reviews in analytical chemistry*, 51(2), 138-149.
- [28] Kaufmann, B., & Christen, P. (2002). Recent extraction techniques for natural products: microwave-assisted extraction and pressurised solvent extraction. *Phytochemical Analysis: An International Journal of Plant Chemical and Biochemical Techniques*, 13(2), 105-113.
- [29] Taşkın, B., & Aksoylu Özbek, Z. (2020). Optimisation of microwave effect on bioactives contents and colour attributes of aqueous green tea extracts by central composite design. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14(4), 2240-2252.
- [30] Hu, A., & Li, L. (2022). Effects of ultrasound pretreatment on functional property, antioxidant activity, and digestibility of soy protein isolate nanofibrils. *Ultrasonics Sonochemistry*, 90, 106193.
- [31] Alara, O. R., Abdurahman, N. H., Abdul Mudalip, S. K., & Olalere, O. A. (2019). Effects of microwave-assisted extraction parameters on the recovery yield and total phenolic content of *Vernonia amygdalina* leaf extracts with different methods of drying. *Jundishapur Journal of Natural Pharmaceutical Products*, 14(1), 1-11.
- [32] Jurić, M., Golub, N., Galić, E., Radić, K., Maslov Bandić, L., & Vitali Čepo, D. (2025). Microwave-Assisted Extraction of Bioactive Compounds from Mandarin Peel: A Comprehensive Biorefinery Strategy. *Antioxidants*, 14(6), 722.
- [33] Kowaluk, A., Guédon, J., Kryska, N., Rabiej-Kozioł, D., Strzelec, M., & Szydłowska-Czerniak, A. (2025). Ultrasound-Assisted Extraction of Inorganic Elements and Antioxidants from Gingerbread Cookies Using Natural Deep Eutectic Solvents. *Foods*, 14(18), 3165.
- [34] Nababi, J., Kamanula, J. F., Alunga, G. L., Wanjala, F. P., Agnandji, P., Nakawoombe, M., ... & Wanda, E. M. M. (2025). Optimization of ultrasound-assisted extraction of nutritional elements from *Eichhornia crassipes* (water hyacinth) and comparison with maceration method. *Bioresource Technology Reports*, 102370.
- [35] Arruda, S. C., Rodriguez, A. P., & Arruda, M. A. (2003). Ultrasound-assisted extraction of Ca, K and Mg from in vitro citrus culture. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 14, 470-474.



Scientific Research

Investigation of the Effects of Microwave, Ultrasound, and Combined Microwave–Ultrasound Extraction on Antioxidant Properties and Mineral Content (Calcium, Potassium, and Iron) of Pomegranate Pomace Extract

Maryam Ebrahimi¹

1- PhD Graduate in Food Science and Engineering, Department of Food Processing and Preservation, Faculty of Agriculture, Malayer University, Malayer, Iran

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:

Received: 2025/12/07

Review: 2026/02/14

Accepted: 2026/04/28

Keywords:

Pomegranate pomace,

Ultrasound,

Microwave,

Antioxidant properties,

Mineral elements

DOI: 10.48311/fsct.2026.118174.82975

*Corresponding Author E-

ebrahimi.me@yahoo.com

Considering the significant economic and social impacts of food waste, this study aimed to investigate the effects of different extraction methods on the antioxidant properties and mineral content (calcium, potassium, and iron) of pomegranate pomace. Four extraction methods were applied, including ultrasound (30 min), microwave (90 s), a combined microwave–ultrasound method (90 s microwave followed by 30 min ultrasound), and conventional maceration as a control. The obtained extracts were analyzed for extraction yield, total phenolic content, DPPH radical scavenging activity, and mineral concentrations. The results demonstrated that ultrasound and microwave methods, particularly the combined method, achieved the highest extraction yield (6.59%), DPPH radical scavenging activity (64.5%), and mineral contents of calcium (0.71 ppm), iron (0.23 ppm), and potassium (205 ppm). Moreover, the combined microwave–ultrasound, ultrasound, and microwave methods increased the total phenolic content by 256.35%, 88.58%, and 205.15%, respectively, compared to conventional maceration. These findings indicate that modern extraction techniques such as ultrasound and microwave can serve as effective alternatives to traditional methods for recovering bioactive compounds and mineral elements from fruit residues.