



مقایسه روش‌های مختلف استخراج ترکیب‌های فنولی و فالفونوئیدی از دانه بالنگو

سارا تیموری^۱، مرضیه بلندی^{۱*}، فریبرز ناهیدی^۱

۱- گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دامغان، دامغان، ایران.

چکیده

اطلاعات مقاله

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۸/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۲

کلمات کلیدی:

بالنگو،

فراصوت،

مایکروویو،

آنتی اکسیدان،

ترکیبات فنولی

DOI: 10.22034/FSCT.20.144.96

DOR:20.1001.1.20088787.1402.20.144.6.0

* مسئول مکاتبات:

bolandi75@gmail.com

بالنگو گیاهی از خانواده نعنائیان بوده که علاوه بر تولید صمغ از دانه‌های آن، دارای ترکیبات فنولی و خواص آنتی اکسیدانی می‌باشد. هدف از این تحقیق بررسی تأثیر روش‌های استخراج سنتی، استخراج به کمک فراصوت و استخراج به کمک مایکروویو بر میزان استخراج ترکیب‌های فنولی و فالفونوئیدی از دانه بالنگو بود. متغیرهای این پژوهش شامل نوع حلال (آب، استون و اتانول)، زمان استخراج (۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۱ و ۲۴ ساعت) و نوع تیمار (سنتی یا غرقابی، فراصوت و مایکروویو) بودند. آزمون‌های انجام شده شامل اندازه‌گیری ترکیبات فنولی به روش فولین سیوکالتو، اندازه‌گیری فعالیت آنتی اکسیدانی به روش قدرت احیاکنندگی و ظرفیت آنتی اکسیدانی کل بود. نتایج نشان داد که همانند روش استخراج سنتی، استفاده از حلال استون در روش مایکروویو نیز در تمامی زمان‌های استخراج، ترکیبات فنولی بیشتری از میوه بالنگو نسبت به حلال‌های دیگر استخراج شد و با افزایش زمان استخراج تا ۱۲ دقیقه در تمامی حلال‌های مورد استفاده میزان ترکیبات فنولی افزایش یافت. بیشینه و کمینه فعالیت مهار رادیکال‌های آزاد DPPH به ترتیب به عصاره حاصل از حلال استون با ۲۴ ساعت استخراج و آب با ۳ ساعت استخراج تعلق داشت. با افزایش زمان فراصوت میزان قدرت احیاکنندگی آهن در عصاره‌ها کاهش یافت و عصاره‌های حاصل از حلال استون در هر زمان دارای قدرت احیاکنندگی آهن بیشتری نسبت به حلال‌های دیگر بودند. در هر سه فرایند استخراج مورد استفاده بهترین حلال، استون و بهترین زمان فرایند برای روش سنتی، مایکروویو و فراصوت به ترتیب برابر با ۲۴ ساعت، ۱۲ دقیقه و ۳۰ دقیقه بود. بیشترین میزان فنول کل مربوط به فرایند برای استخراج عصاره از میوه بالنگو، فرایند فراصوت انتخاب شد.

۱- مقدمه

بالنگو گیاهی با نام علمی *Lallemantia royleana* متعلق به خانواده نعناعیان بوده و دانه‌های تیره‌رنگ و به شکل بیضی کشیده‌ای دارد. در میان گونه‌های شناخته شده از جنس *Lallemantia* ۵ گونه بومی ایران هستند و تعداد بسیار کمی از گونه‌ها تاکنون بررسی شده‌اند. نام‌های ایرانی این گیاه "بالنگو" و "بالنگوی شیرازی" هستند. دانه بالنگو منبع خوب کربوهیدرات (۴۵/۲۵ درصد)، فیبر خام (۳۰/۶۷ درصد)، خاکستر (۳/۶۳ درصد)، روغن (۳۰ درصد روغن)، پروتئین (۲۵/۶۰ درصد) و یک سری ترکیبات با خاصیت‌های دارویی و تغذیه‌ای است. این گیاه گونه‌های متفاوتی دارد که در ایران نیز به‌وفور یافت می‌شود. دانه‌های بالنگو بلافاصله پس از قرار گرفتن در داخل آب، آن را جذب کرده و صمغی چسبناک و بدون مزه‌ای را تولید می‌کنند. این صمغ نیز خواص دارویی، صنعتی و غذایی فراوانی دارد (۱) به علت تولید مقادیر بالای موسیلاژ، این دانه می‌تواند به‌عنوان منبع جدید هیدروکلوئید در فرمولاسیون مواد غذایی به کار رود. مهم‌ترین ترکیبات بذری بالنگو علاوه بر روغن، وجود موسیلاژ است. همچنین دارای ترکیب فیتوشیمیایی توکروفرول است که توکروفرول‌ها ترکیباتی فنولی با اثر آنتی‌اکسیدانی می‌باشند (۲).

استخراج سنتی (غرقابی) یکی از روش‌های کلاسیک متداول در استخراج ترکیبات فنولی از گیاهان می‌باشد که طی آن ترکیبات فنولی بر اساس فرایند انتشار از ماتریکس جامد (نمونه گیاهی) وارد ماتریکس مایع (حلال) می‌شوند. این روش، می‌تواند بدون نیاز به تجهیزات پیچیده جهت استخراج ترکیبات فنولی از مقادیر زیادی ماده اولیه مورد استفاده قرار گیرد اما بازده استخراج ترکیبات فنولی در این روش نسبتاً کم است و این روش زمان بر بوده و نیاز به مقدار زیادی حلال آلی دارد بنابراین روش‌های مدرن

استخراج مانند مایکروویو و فراصوت به عنوان به عنوان جایگزینی مناسب و اقتصادی مطرح می‌شوند (۳).

امواج فراصوت با فرکانس بالا موجب ایجاد چرخه انقباضی و انبساطی شده و دیواره سلول‌های گیاهان را به دلیل وقوع پدیده کاویتاسیون از بین می‌برند و با این شیوه به نفوذ حلال کمک می‌کنند. همچنین ابعاد گیاهان به شدت کاهش یافته که موجب افزایش سطح جامد و نفوذ بهتر حلال و افزایش بهره‌وری می‌شود. علاوه بر این در استخراج‌های مرسوم کاهش غلظت ترکیبات استخراجی با زمان نیز مشاهده می‌شود که دلیل وقوع آن قرارگرفتن طولانی مدت ترکیبات حساس به دما در دمای بالا است. همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهد نوع حلال، توان امواج فراصوت و نیز زمان کمیت‌های مهمی هستند که برای افزایش بازده باید به دقت تعیین شوند (۴).

در سال‌های اخیر استفاده از امواج مایکروویو در استخراج نتایج ارزنده‌ای داشته است. این روش باعث افزایش بازده استخراج در زمان کمتر و با استفاده از حلال کمتر، افزایش مقدار ترکیب‌های استخراج‌شده و آسیب کمتر به محیط‌زیست می‌گردد. تأثیر بهتر امواج مایکروویو را می‌توان مرتبط با اثرات مکانیکی گرم شدن داخلی دانست که بر مبنای هدایت و قطبش‌پذیری دی‌الکتریک در اثر تابش‌دهی با مایکروویو می‌باشد. در نتیجه فشار ایجادشده درون سلول‌های نمونه منجر به انتقال مؤثر و کارایی این انرژی به مواد گیاهی می‌گردد که این انتقال از طریق برهمکنش مولکولی با میدان الکترومغناطیسی و انتقال سریع انرژی به حلال و مواد گیاهی خام می‌باشد. استخراج به کمک مایکروویو ویژگی‌های تخلخل‌مویری و ظرفیت جذب آب مواد گیاهی را افزایش داده که این تغییرات فرصتی برای بهبود عملکرد استخراج مولکول‌های هدف از مواد گیاهی را فراهم می‌سازند (۵).

Lianfu و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی بهینه‌سازی و مقایسه استخراج به کمک اولتراسوند/مایکروویو و استخراج به کمک

۲-۲-۱- روش سنتی (غرقابی)

۱۰ گرم پودر بالنگو با نسبت ۱:۱۰ با حلال (آب، استون ۸۰ درصد و اتانول ۸۰ درصد) مخلوط و در انکوباتور شیکردار با دمای ۲۵ درجه سانتیگراد قرار گرفت. بعد از طی مدت زمان استخراج (۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۱ و ۲۴ ساعت) عصاره‌ها با کاغذ صافی واتمن شماره یک فیلتر شدند. عصاره‌های الکلی ابتدا در تبخیرکننده چرخشی تا خروج کامل حلال استخراجی تغلیظ و سپس با خشک‌کن انجمادی و عصاره‌های آبی فقط با خشک‌کن انجمادی خشک گردیدند. (۵).

۲-۲-۲- روش مایکروویو

در این روش همانند روش غرقابی، ۵ گرم پودر بالنگو و حلال (آب، استون ۸۰ درصد و اتانول ۸۰ درصد) با نسبت ۱:۲۰ در داخل بالن استخراج ریخته شد. هم‌زمان با هم خوردن محتویات داخل بالن به کمک همزن مغناطیسی، اشعه دهی در طی زمان‌های مختلف (۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲ و ۱۵ دقیقه) صورت گرفت (سامسونگ، B-12). بعد از پایان اشعه‌دهی و سرد شدن بالن، عصاره حاصل با کاغذ صافی واتمن شماره ۱ صاف شد. عصاره‌های الکلی ابتدا در تبخیرکننده چرخشی تا خروج کامل حلال استخراجی تغلیظ و سپس با خشک‌کن انجمادی و عصاره‌های آبی فقط با خشک‌کن انجمادی خشک گردیدند. سپس میزان ترکیبات فنولی موجود در عصاره بلافاصله اندازه‌گیری شد. در این روش حداکثر توان ۹۰۰ وات بوده و دستگاه به طور خودکار قطع و وصل می‌شد (۱۳، ۱۴).

۲-۲-۳- روش فراصوت

۲۰ گرم پودر با نسبت ۱:۶ با حلال (آب، اتانول ۸۰ درصد و استون ۸۰ درصد) مخلوط و سپس در یک حمام اولتراسونیک برای زمان‌های مختلف (۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه) در معرض امواج فراصوت (فرکانس ۳۱ کیلوهرتز) قرار گرفت.

اولتراسونیک لیکوپن از گوجه فرنگی پرداختند و گزارش دادند که شرایط بهینه برای استخراج به کمک مایکروویو توان مایکروویو ۹۸ وات همراه با فرآیند اولتراسونیک ۴۰ کیلوهرتز، نسبت حلال‌ها به رب گوجه‌فرنگی ۱:۶:۱۰ (V/W) و زمان استخراج باید ۳۶۷ ثانیه باشد (۶). همچنین باقریان و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی مقایسه بین روش‌های مرسوم، مایکروویو و اولتراسوند برای استخراج پکتین از گریپ فروت پرداختند. بیشترین مقدار کل عملکرد پکتین ۲۷،۸۱ درصد (وزنی/وزنی) برای ۶ دقیقه استخراج در ۹۰۰ وات بود. علاوه بر این، اثرات دما و زمان بر کیفیت و کمیت پکتین استخراج شده مورد بررسی قرار گرفت. بیشترین بازده برای زمان فراصوت ۲۵ دقیقه (۱۷/۹۲ درصد) در دمای ثابت ۷۰ درجه سانتیگراد بود و به طور کلی استخراج با فراصوت نتایج بهتری نسبت به مایکروویو داشت (۷).

تحقیقات مختلفی بر روی مقایسه روش‌های مختلف استخراج ترکیبات گیاهی مختلف انجام شده است (۸-۱۲) با این وجود تاکنون مطالعه‌ای در خصوص مقایسه روش‌های مختلف استخراج بالنگو صورت نگرفته است. بنابراین هدف از این مطالعه، استخراج با روش‌های متفاوت بالنگو و بررسی ویژگی‌های عصاره حاصله می‌باشد.

۱- مواد و روش‌ها

۱-۲- مواد

برای انجام این پژوهش، دانه بالنگو از بازار محلی تهیه شد. سایر مواد شیمیایی با درجه آزمایشگاهی و معتبر خریداری شد.

۲-۲- استخراج عصاره بالنگو

دانه بالنگو پس از تهیه، تمیز و مواد زائد و خارجی آن حذف گردید. سپس توسط آسیاب دستی به آرد تبدیل و از الک با مش ۰/۰۵ میلی‌متر عبور داده شد.

درصد مهار رادیکال آزاد $(A_c - A_s) / A_c \times 100$ = (رابطه ۳-۱)

که در این رابطه A_c و A_s به ترتیب جذب کنترل و جذب نمونه می‌باشند.

سپس عصاره استخراج‌شده با استفاده از کاغذ صافی از مواد جامد گیاهی جدا گردید. عصاره‌های الکلی ابتدا در تبخیرکننده چرخشی تا خروج کامل حلال استخراجی تغلیظ و سپس با خشک‌کن انجمادی و عصاره‌های آبی فقط با خشک‌کن انجمادی خشک شدند. (۱۴).

۳-۲- آزمون‌های عصاره‌های استخراج‌شده

۳-۲-۱- اندازه‌گیری مقدار ترکیبات فنولی

۳-۲-۳- ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها به روش قدرت احیاکنندگی

توانایی عصاره‌ها برای احیای آهن سه ظرفیتی توسط روش عربشاهی و عروج (۲۰۰۷)، تعیین گردید. در این روش، محلول‌هایی از عصاره‌های پودر شده در حلال‌های استخراجی تهیه شد. ۱ میلی‌لیتر از محلول عصاره با ۲/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات ($pH=6/6$ و $M=0/2$) و ۲/۵ میلی‌لیتر پتاسیم فری‌سیانید (۱۰ گرم در لیتر) مخلوط و به مدت نیم ساعت در حمام آب با دمای $50^\circ C$ قرار گرفت. سپس ۲/۵ میلی‌لیتر تری کلرواستیک اسید ۱۰ درصد (وزنی: حجمی) به نمونه‌ها اضافه و به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۱۶۵۰ دور بر دقیقه سانتریفوژ شدند. از محلول رویی پس از سانتریفوژ، ۲/۵ میلی‌لیتر به دقت برداشته و پس از افزودن ۲/۵ میلی‌لیتر آب مقطر و ۰/۵ میلی‌لیتر کلرید آهن (III) (۱ گرم در لیتر)، جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۰۰ نانومتر خوانده شد. میزان جذب بالا نشان دهنده قدرت احیاکنندگی بالای عصاره‌ها می‌باشد. (۱۵).

۳-۲-۴- ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها به روش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل

۰/۱ میلی‌لیتر از محلول عصاره با ۱ میلی‌لیتر از معرف (اسید سولفوریک ۰/۶ مولار، فسفات سدیم ۲۸ میلی‌مولار و آمونیوم مولیبدات ۴ میلی‌مولار) در لوله آزمایش مخلوط شد و به مدت ۱/۵ ساعت در حمام آب با دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. پس از سرد کردن، جذب نمونه‌ها در

۲۰ میکرولیتر از محلول عصاره با ۱/۱۶۰ میلی‌لیتر آب مقطر و ۱۰۰ میکرولیتر معرف فولین سیوکالتو مخلوط گردید. بعد از گذشت ۱ تا ۸ دقیقه، ۳۰۰ میکرولیتر محلول کربنات سدیم (۲۰ درصد) به آن‌ها افزوده شد. لوله‌های آزمایش بعد از تکان دادن درون حمام آب با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و پس از گذشت ۳۰ دقیقه جذب آن‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۶۰ نانومتر خوانده شدند. میزان کل ترکیبات فنولی موجود در عصاره بر حسب اسید گالیک و با استفاده از معادله به دست آمده از منحنی استاندارد محاسبه و نتایج بر حسب میلی‌گرم اسید گالیک در هر گرم عصاره خشک بیان شد. آزمایش‌ها در سه تکرار انجام و میانگین آن‌ها گزارش شدند (۵).

۳-۲-۲- ارزیابی فعالیت مهار رادیکال آزاد DPPH

برای این منظور، محلول‌هایی از عصاره‌ها در حلال آماده شدند. یک میلی‌لیتر از محلول DPPH (با غلظت یک میلی‌مولار) به ۳ میلی‌لیتر از عصاره افزوده و مخلوط حاصله به شدت هم زده شد. لوله‌های آزمایش به مدت ۳۰ دقیقه در محل تاریک قرار گرفتند. بعد از این مدت میزان جذب در طول موج ۵۱۷ نانومتر خوانده شد. در نهایت درصد مهار رادیکال‌های DPPH توسط عصاره با فرمول زیر محاسبه گردید (۱).

طول موج ۶۹۵ نانومتر خوانده شد. نحوه آماده سازی معرف به این صورت است که پس از آماده سازی محلول اسید سولفوریک ۰/۶ مولار، مقادیر محاسبه شده از فسفات سدیم و آمونیوم مولیبدات برای رسیدن به غلظت مورد نظر در یک لیتر معرف، به صورت جداگانه در اسید سولفوریک حل شد. سپس، این دو محلول با هم ادغام و مخلوط حاصل با باقی مانده اسید سولفوریک به حجم یک لیتر رسانده شد. (۱۶).

۲-۴- آنالیز آماری

در این پژوهش، از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک-های کاملاً تصادفی استفاده شد. مقایسه میانگین تیمارهای آزمایشی نیز با استفاده از آزمون حداقل میانگین مربعات انجام گرفت. پس از انجام آزمایش در قالب روش پژوهش و جمع آوری داده ها، آنالیز داده ها در قالب طرح های آزمایشی یاد شده و با استفاده از نرم افزار SAS صورت گرفت. رسم نمودارها نیز با استفاده از نرم افزار Excel انجام پذیرفت.

۲- نتایج و بحث

۳-۱- تأثیر نوع حلال و زمان استخراج بر میزان ترکیبات فنولی در روش های مختلف استخراج

نتایج نشان داد که استفاده از حلال استون در تمامی زمان های استخراج، ترکیبات فنولی بیشتری از میوه بالنگو استخراج

شدند و با افزایش زمان استخراج در تمامی حلال های مورد استفاده میزان ترکیبات فنولی افزایش یافت (جدول ۱) بیشترین میزان ترکیبات فنولی استخراج شده از میوه بالنگو زمانی به دست آمد که از حلال استون و ۲۴ ساعت استخراج استفاده شده بود. نتایج نشان داد که همانند روش استخراج سنتی، استفاده از حلال استون در روش مایکروویو نیز در تمامی زمان های استخراج، ترکیبات فنولی بیشتری از میوه بالنگو نسبت به حلال های دیگر استخراج شد و با افزایش زمان استخراج تا ۱۲ دقیقه در تمامی حلال های مورد استفاده میزان ترکیبات فنولی افزایش یافت (جدول ۲) و افزایش بیشتر زمان فرایند (بیشتر از ۱۲ دقیقه) تأثیری بر میزان ترکیبات فنولی کل عصاره نداشت و در استخراج ترکیبات فنولی به کمک مایکروویو از میوه بالنگو از لحاظ کارایی به ترتیب حلال های استون، اتانول و آب قرار داشتند. نتایج آورده شده در جدول ۳، نشان داد که با افزایش زمان استخراج در فرایند استخراج با کمک فراصوت میزان ترکیبات فنولی در هر سه حلال مورد استفاده کاهش یافت. از طرفی مشخص گردید در هر زمان ثابت فرایند استخراج عصاره استفاده از حلال استون منجر به استخراج بیشتر ترکیبات فنولی عصاره شد.

Table 1 - The effect of solvent type and extraction time in the traditional method on phenolic compounds (ppm) of the extract

Extraction time (hours)	Solvents		
	Water	Acetone	Ethanol
3	21.43±0.001 ^{cG}	24.853±0.009 ^{aG}	22.193±0.008 ^{bG}
6	21.406±0.003 ^{cF}	25.573±0.007 ^{aF}	22.673±0.006 ^{bF}
9	21.737±0.007 ^{cE}	25.930±0.005 ^{aE}	23.126±0.004 ^{bE}
12	22.323±0.002 ^{cD}	26.323±0.005 ^{aD}	23.560±0.003 ^{bD}
18	22.683±0.005 ^{cC}	26.773±0.02 ^{aC}	24±0.007 ^{bC}
21	23.020±0.006 ^{cB}	27.310±0.004 ^{aB}	24.716±0.006 ^{bB}

24 23.88±0.005^{cA} 27.947±0.003^{aA} 25.320±0.004^{bA}

The same lowercase and uppercase letters indicate insignificance at the 5% level in each row and column, respectively

Table 2 - The effect of solvent type and extraction time in the microwave extraction method on phenolic compounds (ppm) of the extract

Extraction time (hours)	Solvents		
	Water	Acetone	Ethanol
3	24.680±0.002 ^{cF}	28.110±0.07 ^{aF}	26.323±0.03 ^{bF}
6	25.027±0.002 ^{cE}	28.543±0.06 ^{aE}	26.723±0.04 ^{bE}
9	25.437±0.05 ^{cD}	28.960±0.004 ^{aD}	27.217±0.04 ^{bD}
12	25.960±0.02 ^{cC}	29.420±0.04 ^{aC}	27.627±0.02 ^{bC}
18	26.320±0.03 ^{cB}	29.857±0.03 ^{aB}	28.070±0.05 ^{bB}
21	26.933±0.05 ^{cA}	30.256±0.02 ^{aA}	28.443±0.06 ^{bA}
24	26.917±0.03 ^{cA}	30.243±0.02 ^{aA}	28.433±0.05 ^{bA}

The same lowercase and uppercase letters indicate insignificance at the 5% level in each row and column, respectively

Table 3 - The effect of solvent type and extraction time in the ultrasound extraction method on phenolic compounds (ppm) of the extract

Extraction time (minutes)	Solvents		
	Water	Acetone	Ethanol
30	30.553±0.007 ^{cA}	32.483±0.002 ^{aA}	31.223±0.06 ^{bA}
60	30.523±0.006 ^{cB}	32.453±0.007 ^{aB}	31.015±0.05 ^{bB}
90	29.740±0.05 ^{cC}	31.943±0.06 ^{aC}	30.653±0.04 ^{bC}

The same lowercase and uppercase letters indicate insignificance at the 5% level in each row and column, respectively

ماکروویو، جذب انرژی ماکروویو توسط مولکول‌های قطبی ترکیبات شیمیایی است (۱۸). در زمان‌های بالاتر اشعه‌دهی امواج ماکروویو ممکن است به دلیل تخریب حرارتی، میزان استخراج ترکیبات فنولی کاهش یابد (۱۹). انتخاب حلال برای استخراج به کمک امواج ماکروویو، به حلالیت ترکیب هدف، واکنش متقابل بین حلال و ماده گیاهی و فاکتورهایی مثل ثابت و افت دی‌الکتریک دارد. استفاده از این روش برای استخراج ترکیبات فنولی باعث کاهش استفاده از حلال، افزایش بازده استخراج، افزایش خلوص محصول نهایی و

روش‌های سنتی استخراج ترکیبات طبیعی گیاهی معایبی مانند اتلاف ترکیبات فرار، بازده پایین، طولانی بودن زمان استخراج، تخریب ترکیبات غیر اشباع و باقی ماندن حلال سمی را به دنبال دارند (۱۷). همچنین از آن جا که ترکیبات عصاره نسبت به گرما بسیار حساس هستند، در اثر حرارت مستقیم در روش‌های سنتی تغییرات شیمیایی در آن‌ها صورت می‌گیرد و زمان طولانی استخراج در این روش‌ها سبب پلیمریزاسیون عصاره می‌شود. اساس استخراج با

کاهش مصرف انرژی نسبت به روش‌های دیگر می‌شود. دمای استخراج در این روش به طور مستقیم تابعی از زمان و توان (وات) است، و نسبت عکس با جرم نمونه حلال و ظرفیت حرارتی دارد (۲۰).

علت افزایش میزان استخراج ترکیبات فنولی با افزایش زمان اولتراسونیک را می‌توان به پدیده کاویتاسیون نسبت داد که در واقع در اثر انتشار امواج صوتی در فاز جامد-مایع، چرخه‌های انقباض و انبساطی در محیط ایجاد می‌شود که باعث تشکیل حباب‌هایی شده که این حباب‌ها در ادامه رشد و در نهایت متلاشی می‌شوند. این عمل باعث نوسان ذرات جامد و مایع شده و تحت عمل اولتراسونیک سرعت پیدا می‌کنند. در نتیجه مواد حل شونده به سرعت از فاز جامد به حلال انتشار پیدا می‌کنند. علاوه بر این، دیگر اثرات مانند امولسیفیکاسیون، انتشار و صدمه به بافت نیز به افزایش استخراج اجزای مورد نظر از مواد خام کمک می‌کند. در زمان‌های بالاتر ممکن است به دلیل وقوع اکسیداسیون (به علت قرار گرفتن در معرض امواج فراصوت) میزان استخراج کاهش یابد (۲۱). استفاده از امواج فراصوت موجب افزایش انتقال جرم بین حلال و بافت گیاه، کاهش وابستگی به حلال، استخراج در دمای کمتر، استخراج با سرعت بالا و بازده استخراج بیشتر اشاره کرد. براساس نتایج به دست آمده میزان ترکیبات فنولی استخراج شده با امواج فراصوت بیشتر از سایر روش‌های مورد استفاده است. در راستای این نتایج، ژانگ و همکاران (۲۰۱۷) (۲۲) در پژوهشی با هدف استخراج عصاره زغال اخته با کاربرد امواج فراصوت و ماکروویو، امواج فراصوت را در استخراج ترکیبات فنولی مؤثرتر گزارش کردند. راوی و همکاران (۲۰۱۸) نیز میزان فنول کل عصاره استخراج شده از تفاله گوجه فرنگی با امواج فراصوت را نسبت به میزان فنول کل عصاره استخراج شده با امواج ماکروویو، بیشتر گزارش کردند (۲۳).

۳-۲- تاثیر نوع حلال و زمان استخراج بر فعالیت مهار رادیکال‌های آزاد DPPH در روش‌های مختلف
نتایج نشان داد که بیشینه و کمینه فعالیت مهار رادیکال‌های آزاد DPPH به ترتیب به عصاره حاصل از حلال استون با ۲۴ ساعت استخراج و آب با ۳ ساعت استخراج تعلق داشت. همچنین با افزایش زمان استخراج میزان فعالیت مهار رادیکال‌های آزاد DPPH افزایش یافت و عصاره‌های حاصل از حلال استون در تمامی زمان‌ها، فعالیت مهار رادیکال‌های آزاد DPPH بیشتری نسبت به دو حلال دیگر داشتند (جدول ۴).

نتایج نشان داد که در تمامی حلال‌های مورد استفاده در این مطالعه با افزایش زمان فرایند استخراج عصاره با مایکروویو (تا ۱۲ دقیقه) فعالیت مهار رادیکال‌های آزاد DPPH عصاره‌ها افزایش یافت و فعالیت مهار رادیکال‌های آزاد DPPH عصاره استخراجی با حلال استون بیشتر از عصاره‌های حاصل از حلال اتانول و همچنین آب بود (جدول ۵).

با توجه به نتایج، در استخراج با فرایند فراصوت، عصاره‌های حاصل از حلال استون در هر زمان دارای فعالیت مهار رادیکال‌های آزاد DPPH بیشتری نسبت به حلال‌های دیگر بود و بعد از آن عصاره‌های حاصل از حلال آب بود. همچنین مشخص شد که با افزایش زمان استخراج در فرایند استخراج با کمک فراصوت فعالیت مهار رادیکال‌های آزاد DPPH در هر سه حلال مورد استفاده کاهش یافت (جدول ۶).

مدل به دام اندازی رادیکال DPPH به طور گسترده برای ارزیابی توانایی به دام اندازی رادیکال آزاد در نمونه‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ترکیب یک رادیکال آزاد با اتم مرکزی نیتروژن است که با احیاء شدن و تولید مولکول پایدار می‌کند که از ارغوانی به زرد تغییر رنگ می‌دهد. این رادیکال در ۵۱۵ تا ۵۲۸ نانومتر جذب دارد. آزمون مهار رادیکال DPPH، فعالیت آنتی اکسیدانی فنول‌های محلول در آب را ارزیابی می‌کند، بنابراین قابلیت بیشتر در مهار رادیکال DPPH نشان از مولکول‌های آب دوست بیشتر است، در نتیجه فعالیت آنتی اکسیدانی بیشتری دارند. علاوه بر تعداد گروه‌های هیدروکسیل موجود در ساختار یک مولکول آنتی اکسیدان، موقعیت گروه‌های هیدروکسیل، حضور

خاردار دادند، امواج فراصوت را نسبت به امواج ماکروویو، روشی با کارایی بالا در استخراج ترکیبات آنتی اکسیدانی دانستند (۲۴). در تحقیق حاضر، تغییر روش استخراج تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر قدرت به دام اندازی رادیکال DPPH داشت. در برخی مطالعات قبلی ارتباط خطی خوبی بین فعالیت آنتی اکسیدانی و فنول تام در بسیاری از گیاهان گزارش شده است (۲۵) که در این مطالعه نیز عصاره با میزان بیشتر فنولی، فعالیت آنتی اکسیدانی بالاتری از خود نشان دادند.

گروه‌های عاملی دیگر مانند پیوندهای دوگانه و ترکیب گروه‌های هیدروکسیل و کتونی نقش مهمی در فعالیت آنتی اکسیدانی ترکیبات دارند. فعالیت آنتی اکسیدانی عصاره‌های طبیعی مربوط به توانایی آن‌ها در دادن هیدروژن می‌باشد، در نتیجه فعالیت مهارکنندگی رادیکال آزاد توسط آن‌ها حاکی از این است که عصاره‌ها دارای آنتی اکسیدان‌های اولیه هستند. از طرفی، امواج فراصوت بدون استفاده از فرآیندهای حرارتی باعث تخریب دیواره‌های سلولی، افزایش انتقال جرم، کاهش اندازه ذرات ماده، افزایش تماس با حلال و بهبود انتشار حلال در ماده می‌شود. در این زمینه، Chuyen و همکاران (۲۰۱۸)، در گزارشی که از بررسی خاصیت آنتی اکسیدانی عصاره استخراج شده از پوست کدوی

Table 4 - The effect of solvent type and extraction time in the traditional method on DPPH the extract

Extraction time (hours)	Solvents		
	Water	Acetone	Ethanol
3	48/09±0/ 021 ^{cG}	53/75±0/ 018 ^{aG}	50/13±0/ 078 ^{bG}
6	49/06±0/ 024 ^{cF}	54/37±0/ 032 ^{aF}	51/79±0/ 016 ^{bF}
9	49/86±0/ 016 ^{cE}	55/06±0/ 062 ^{aE}	52/92±0/ 019 ^{bE}
12	50/33±0/ 013 ^{cD}	55/87±0/ 019 ^{aD}	53/45±0/ 021 ^{bD}
18	50/99±0/ 020 ^{cC}	56/41±0/ 025 ^{aC}	54/61±0/ 026 ^{bC}
21	51/63±0/ 017 ^{cB}	57/00±0/ 049 ^{aB}	55/73±0/ 023 ^{bB}
24	52/17±0/ 074 ^{cA}	59/49±0/ 033 ^{aA}	57/06±0/ 046 ^{bA}

The same lowercase and uppercase letters indicate insignificance at the 5% level in each row and column, respectively

Table 5 - The effect of solvent type and extraction time in the microwave extraction method DPPH of the extract

Extraction time (hours)	Solvents		
	Water	Acetone	Ethanol
3	57/267±0/ 002 ^{cF}	59/283±0/ 007 ^{aF}	58/236±0/ 003 ^{bF}
6	57/730±0/ 002 ^{cE}	60/856±0/ 006 ^{aE}	58/853±0/ 004 ^{bE}
9	58/117±0/ 005 ^{cD}	61/367±0/ 004 ^{aD}	59/119±0/ 005 ^{bD}

12	58 ^{cC} /543±0/002	62/637±0/ 004 ^{aC}	60/340±0/ 002 ^{bC}
18	59/210±0/ 003 ^{cB}	65/857±0/ 003 ^{aB}	62/650±0/ 005 ^{bB}
21	59/670±0/ 005 ^{cA}	69/720±0/ 002 ^{aA}	64/123±0/ 006 ^{bA}
24	59/667±0/ 003 ^{cA}	69/719±0/ 002 ^{aA}	64/120±0/ 005 ^{bA}

The same lowercase and uppercase letters indicate insignificance at the 5% level in each row and column, respectively

Table 6 - The effect of solvent type and extraction time in the ultrasound extraction method on DPPH of the extract

Extraction time (minutes)	Solvents		
	Water	Acetone	Ethanol
30	61/170±0/ 007 cA	71/167±0/ 002 ^{aA}	67/693±0/ 006 ^{bA}
60	59/137±0/ 006 cB	67/143±0/ 007 ^{aB}	65/573±0/ 005 ^{bB}
90	57/673±0/ 005 cC	63/740±0/ 006 ^{aC}	63/843±0/ 004 ^{bC}

The same lowercase and uppercase letters indicate insignificance at the 5% level in each row and column, respectively

استفاده شده بود، این ویژگی کاهش یافت (جدول ۷). مقایسه میانگین داده‌های حاصل از قدرت احیاکنندگی آهن عصاره‌های استخراج شده با کمک فراصوت که به روش آزمون دانکن صورت گرفته بود نشان داد که با افزایش زمان فراصوت میزان قدرت احیاکنندگی آهن در عصاره‌ها کاهش یافت و عصاره‌های حاصل از حلال استون در هر زمان دارای قدرت احیاکنندگی آهن بیشتری نسبت به حلال‌های دیگر بودند.

Arkoub-Djermoune و همکاران (۲۰۱۹) با بررسی تاثیر حلال‌های متفاوت (استون، اتانول، متانول و آب) بر محتوای فنولی و قدرت احیاءکنندگی آهن عصاره پوست بادمجان بیان کردند که ارتباط مستقیمی بین مقدار فنول کل موجود در عصاره و قدرت احیاءکنندگی آن وجود دارد (۲۶). ممکن است یک عصاره دارای مقدار ترکیبات فنولی بالایی باشد اما قدرت آنتی اکسیدانی پایینی داشته باشد، این امر می‌تواند به این دلیل باشد که استفاده از حلال‌های مختلف منجر به

۳-۳- تاثیر نوع حلال و زمان استخراج بر قدرت احیاکنندگی آهن در روش‌های مختلف استخراج
عصاره‌های حاصل از حلال استون در زمان‌های یکسان فرایند، دارای قدرت احیاکنندگی آهن بیشتری نسبت به دو حلال دیگر بودند و از طرفی مشخص گردید که با افزایش زمان استخراج میزان قدرت احیاکنندگی آهن عصاره‌ها افزایش یافت. نتایج نشان داد که بیشینه قدرت احیاکنندگی عصاره‌هایی که با روش مایکروویو استخراج شده بودند، متعلق به عصاره حاصل از حلال استون بعد از ۱۲ دقیقه فرایند استخراج بود و کمترین آن متعلق به نمونه حاصل از حلال آب با ۲ دقیقه فرایند استخراج بود. از طرفی مشخص گردید که با افزایش زمان‌های فرایند استخراج با مایکروویو تا ۱۲ دقیقه میزان قدرت احیاکنندگی عصاره‌ها افزایش و بعد از گذشت این مدت در زمانی که از حلال‌های آب و استون

توجهی می‌باشند و با احیای یون آهن سه ظرفیتی جذب محلول را افزایش می‌دهند

استخراج ترکیبات فنولی متفاوتی می‌گردد و میزان فعالیت آنتی اکسیدانی ترکیبات مختلف با توجه به ساختار شیمیایی آن‌ها متفاوت است. علاوه بر این طی فرایند استخراج ترکیبات دیگر (اسید آسکوربیک، پروتئین و توکوفرول) که حلالیت زیادی در آب یا سایر حلال‌ها دارند نیز استخراج می‌شوند، این ترکیبات دارای توانایی احیاءکنندگی قابل

Table 7 - The effect of solvent type and extraction time in the traditional method on ferric reducing antioxidant power assay in the extract

Extraction time (hours)	Solvents		
	Water	Acetone	Ethanol
3	0/221±0/ 002 ^{cG}	0/482±0/ 002 ^{aG}	0/303±0/ 001 ^{bG}
6	0/253±0/ 004 ^{cF}	0/511±0/ 003 ^{aF}	0/322±0/ 003 ^{bF}
9	0/282±0/ 001 ^{cE}	0/551±0/ 003 ^{aE}	0/351±0/ 001 ^{bE}
12	0/312±0/ 004 ^{cD}	0 ^{aD} /603±0/002	0/371±0/ 003 ^{bD}
18	0/363±0/ 003 ^{cC}	0/641±0/ 004 ^{aC}	0/411±0/ 002 ^{bC}
21	0/381±0/ 001 ^{cB}	0/662±0/ 003 ^{aB}	0/452±0/ 003 ^{bB}
24	0/412±0/ 002 ^{cA}	0/701±0/ 001 ^{aA}	0/501±0/ 002 ^{bA}

The same lowercase and uppercase letters indicate insignificance at the 5% level in each row and column, respectively

Table 8 - The effect of solvent type and extraction time in the microwave extraction method ferric reducing antioxidant power assay in the extract

Extraction time (hours)	Solvents		
	Water	Acetone	Ethanol
3	0/620±0/ 003 ^{cG}	0/821±0/ 002 ^{aF}	0/731±0/ 001 ^{bF}
6	0/663±0/ 001 ^{cF}	0/850±0/ 003 ^{aE}	0/753±0/ 002 ^{bE}
9	0/692±0/ 004 ^{cE}	0/871±0/ 006 ^{aD}	0/770±0/ 003 ^{bD}
12	0/720±0/ 003 ^{cD}	0/917±0/ 005 ^{aC}	0/812±0/ 003 ^{bC}
18	0/751±0/ 002 ^{cC}	0/920±0/ 004 ^{aC}	0/842±0/ 004 ^{bB}

21	0/792±0/ 003 ^{cA}	0/972±0/ 003 ^{aA}	0/872±0/ 004 ^{bA}
24	0/782±0/ 002 ^{cB}	0/963±0/ 001 ^{aB}	0/871±0/ 004 ^{bA}

The same lowercase and uppercase letters indicate insignificance at the 5% level in each row and column, respectively

Table 9 - The effect of solvent type and extraction time in the ultrasound extraction method on ferric reducing antioxidant power assay of the extract

Extraction time (minutes)	Solvents		
	Water	Acetone	Ethanol
30	0/952±0/ 007 ^{cA}	1/213±0/ 002 ^{aA}	1/120±0/ 006 ^{bA}
60	0/932±0/ 006 ^{cB}	1/001±0/ 007 ^{aB}	0/976±0/ 005 ^{bB}
90	0/821±0/ 005 ^{cC}	0/913±0/ 006 ^{aC}	0/888±0/ 004 ^{bC}

The same lowercase and uppercase letters indicate insignificance at the 5% level in each row and column, respectively

فرایند استخراج با میکروویو میزان قدرت آنتی اکسیدانی کل عصاره‌ها افزایش یافت و بعد از این زمان تغییر معنی داری در سطح ۵ درصد بر میزان قدرت آنتی اکسیدانی کل عصاره‌ها روی نداد. عصاره‌های حاصل از حلال استون در هر زمان فرایندی دارای قدرت آنتی اکسیدانی کل بیشتری نسبت به دو حلال دیگر بودند و با افزایش زمان فرایند فراصوت میزان قدرت آنتی اکسیدانی کل عصاره‌ها کاهش یافت.

نتایج گزارش شده از مطالعات قبلی نیز روش استخراج با امواج فراصوت، در مقایسه با سایر روش‌های استخراج را روشی کارآمد برای استخراج ترکیبات آنتی اکسیدانی، دانسته-اند (۲۷). Li و همکاران (۲۰۰۵) با بررسی فعالیت آنتی اکسیدانی پنج گونه عناب گزارش کردند که علت تفاوت در فعالیت آنتی اکسیدانی به این دلیل است که فعالیت آنتی اکسیدانی تنها منحصر به ترکیبات فنولی نیست بلکه سایر ترکیبات مانند اسید آسکوربیک و توکوفرول‌ها و همچنین اثرات سینرژیستی آن‌ها منجر به بروز فعالیت آنتی اکسیدانی می‌گردد (۸).

۳-۴- تاثیر نوع حلال و زمان استخراج بر قدرت آنتی اکسیدانی کل در روش‌های مختلف استخراج
عصاره‌های حاصل از حلال استون در تمامی زمان‌ها دارای قدرت آنتی اکسیدانی کل بیشتری نسبت به دو حلال دیگر بودند و از طرفی مشخص گردید که با افزایش زمان استخراج میزان قدرت آنتی اکسیدانی کل عصاره‌ها افزایش یافت. تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از قدرت آنتی اکسیدانی کل عصاره‌های حاصل از میکروویو نشان داد که نوع حلال، زمان استخراج و اثر متقابل نوع حلال با زمان استخراج بر قدرت آنتی اکسیدانی کل عصاره‌ها تاثیر کملا معنی دار داشتند ($p < 0/01$).

در تمامی زمان‌ها، عصاره‌های حاصل از حلال استون دارای قدرت آنتی اکسیدانی کل بیشتری نسبت به دو حلال دیگر بودند و بعد از آن‌ها عصاره‌های استخراجی با حلال اتانول قرار داشت و از طرفی نشان داده شد که تا ۱۲ دقیقه

Table 10 - The effect of solvent type and extraction time in the traditional method on total antioxidant power in the extract

Extraction time (hours)	Solvents		
	Water	Acetone	Ethanol
3	0/097±0/ 001 ^{cG}	0/140±0/ 001 ^{aG}	0/131±0/ 001 ^{bG}
6	0/109±0/ 002 ^{cF}	0/161±0/ 002 ^{aF}	0/149±0/ 002 ^{bF}
9	0/119±0/ 003 ^{cE}	0/180±0/ 002 ^{aE}	0/160±0/ 003 ^{bE}
12	0/139±0/ 003 ^{cD}	0/191±0/ 001 ^{aD}	0/171±0/ 002 ^{bD}
18	0/150±0/ 002 ^{cC}	0/2083±0/ 003 ^{aC}	0/181±0/ 003 ^{bC}
21	0/169±0/ 002 ^{cB}	0/230±0/ 002 ^{aB}	0/197±0/ 002 ^{bB}
24	0/187±0/ 001 ^{cA}	0/252±0/ 003 ^{aA}	0/219±0/ 003 ^{bA}

The same lowercase and uppercase letters indicate insignificance at the 5% level in each row and column, respectively

Table 11 - The effect of solvent type and extraction time in the microwave extraction total antioxidant power in the extract

Extraction time (hours)	Solvents		
	Water	Acetone	Ethanol
3	0/257±0/ 002 ^{cF}	0/390±0/ 003 ^{aF}	0/311±0/ 002 ^{bF}
6	0/285±0/ 002 ^{cE}	0/414±0/ 001 ^{aE}	0/342±0/ 003 ^{bE}
9	0/303±0/ 001 ^{cD}	0/448±0/ 002 ^{aD}	0/362±0/ 002 ^{bD}
12	0/322±0/ 002 ^{cC}	0/473±0/ 004 ^{aC}	0/393±0/ 001 ^{bC}
18	0/352±0/ 003 ^{cB}	0/493±0/ 001 ^{aB}	0/422±0/ 002 ^{bB}
21	0/380±0/ 002 ^{cA}	0/512±0/ 002 ^{aA}	0/451±0/ 003 ^{bA}
24	0/380±0/ 001 ^{cA}	0/512±0/ 002 ^{aA}	0/451±0/ 002 ^{bA}

The same lowercase and uppercase letters indicate insignificance at the 5% level in each row and column, respectively

Table 12 - The effect of solvent type and extraction time in the ultrasound extraction method on total antioxidant power of the extract

Extraction time (minutes)	Solvents		
	Water	Acetone	Ethanol
30	0/550±0/ 003 ^{cA}	0/651±0/ 003 ^{aA}	0/604±0/ 003 ^{bA}
60	0/531±0/ 001 ^{cB}	0/631±0/ 002 ^{aB}	0/589±0/ 002 ^{bB}
90	0/502±0/ 002 ^{cC}	0/601±0/ 001 ^{aC}	0/561±0/ 002 ^{bC}

The same lowercase and uppercase letters indicate insignificance at the 5% level in each row and column, respectively

سه فرایند در جدول ۱۳، آورده شده است که این یافته‌ها نشان داد که در تمامی ویژگی‌های مورد اندازه‌گیری عصاره حاصل از فرایند فراصوت دارای بالاترین مقدار بود به عبارت دیگر بهترین فرایند برای استخراج عصاره از میوه بالنگو، فرایند فراصوت بود.

۳-۵- استخراج عصاره میوه بالنگو

نتایج نشان داد که در هر سه فرایند استخراج مورد استفاده (روش سنتی، مایکروویو و فراصوت) بهترین حلال، استون بود و از طرفی بهترین زمان فرایند برای روش سنتی، مایکروویو و فراصوت به ترتیب برابر بود با ۲۴ ساعت، ۱۲ دقیقه و ۳۰ دقیقه. مقایسه داده‌های حاصل از نقاط بهینه این

Table 13 - Comparison of extracts obtained from optimal conditions of different extraction methods

Characteristics	Extraction methods		
	Traditional	Microwave	Ultrasound
Phenolic compound	003 ^c / 0±947/27	002 ^b / 0±256/30	002 ^a / 0±483/32
DPPH	033 ^c / 0±49/59	002 ^b / 0±720/69	002 ^a / 0±167/71
Fe reducing power	001 ^c / 0±701/0	003 ^b / 0±972/0	002 ^a / 0±213/1
Total antioxidant poewer	003 ^c / 0±252/0	002 ^b / 0±512/0	003 ^a / 0±651/0

می‌شود. در مطالعه‌ای که توسط ابراهیم زاده و همکاران انجام شد، اثرات روش‌های مختلف عصاره‌گیری روی محتوای تام فنولی و فلاونویدی گیاه *salicaria Lythrum* مورد بررسی قرار گرفت. برگ خشک و گل *salicaria. L* با روش‌های مختلف عصاره‌گیری شد (از جمله ماسیراسیون و فراصوت). عصاره‌ها فعالیت آنتی اکسیدانی خوبی در همه تست‌ها نشان دادند. این تحقیق نشان داد که در این گیاه، محتوای تام فنولی در عصاره اولتراسونیک بیشتر از عصاره ماسیراسیون بوده اما محتوای تام فلاونویدی در عصاره

عرضه روش‌های جدید استخراج ترکیبات فعال بیولوژیکی از گیاهان، به خصوص در صنایع دارویی افزایش یافته است. دلیل این موضوع نیاز به روش ایده‌آل استخراج بوده که بتواند بیشترین مقدار ترکیبات فعال بیولوژیک را در کوتاه‌ترین زمان ممکن با پایین‌ترین قیمت به دست آورد (۲۸). در گزارشات بسیاری محققین توانستند نشان دهند که روش فراصوت به طور قابل ملاحظه‌ای موجب افزایش کارایی استخراج، کاهش زمان و کاهش حجم حلال مصرفی

بود و از طرفی بهترین زمان فرایند برای روش سنتی، میکروویو و فراصوت به ترتیب برابر با ۲۴ ساعت، ۱۲ دقیقه و ۳۰ دقیقه بود. در تمامی ویژگی‌های مورد اندازه‌گیری عصاره حاصل از فرایند فراصوت دارای بالاترین مقدار بود، به عبارت دیگر بهترین فرایند برای استخراج عصاره از میوه بالنگو، فرایند فراصوت می‌باشد.

۵- منابع

[1]. Liu, X., Yu, W. (2006). Evaluating the Thermal
[1] Hosseinalhashemi M, Tavakoli J, Rafati A, Ahmadi F. The application of Pistacia khinjuk extract nanoemulsion in a biopolymeric coating to improve the shelf life extension of sunflower oil. Food Science & Nutrition. 2021;9(2):920-8.
[2] Abdulrasool AA, Naseer AA, Rahi FA. Application of seed mucilage extracted from Lallelantia royleana as a suspending agent. Iraqi Journal of Pharmaceutical Sciences (P-ISSN: 1683-3597, E-ISSN: 2521-3512). 2011;20(1):8-13.
[3] Bhattacharya S. Conventional and advanced food processing technologies: John Wiley & Sons; 2014.
[4] Tzia C, Liadakis G. Extraction optimization in food engineering: CRC Press; 2003.
[5] Azmir J, Zaidul ISM, Rahman MM, Sharif K, Mohamed A, Sahena F, et al. Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. Journal of food engineering. 2013;117(4):426-36.
[6] ianfu Z, Zelong L. Optimization and comparison of ultrasound/microwave assisted extraction (UMAE) and ultrasonic assisted extraction (UAE) of lycopene from tomatoes. Ultrasonics sonochemistry. 2008;15(5):731-7.
[7] Bagherian H, Ashtiani FZ, Fouladitajar A, Mohtashamy M. Comparisons between conventional, microwave-and ultrasound-assisted methods for extraction of pectin from grapefruit. Chemical engineering and processing :Process Intensification. 2011;50(11-12):1237-43.
[8] Li B, Smith B, Hossain MM. Extraction of phenolics from citrus peels: I. Solvent extraction method. Separation and Purification Technology. 2006;48(2):182-8.
[9] Dhanani T, Singh R, Shah S, Kumari P, Kumar S. Comparison of green extraction methods with conventional extraction method for extract yield, L-DOPA concentration and antioxidant activity of Mucuna pruriens seed. Green Chemistry Letters and Reviews. 2015;8(2):43-8.

ماسیراسیون بیشتر از عصاره اولتراسونیک بوده است. عصاره اولتراسونیک در تست‌های به دام اندازی رادیکال آزاد DPPH، نیتریک اکساید و H_2O_2 بهتر از عصاره ماسیراسیون گزارش شده است (۲۹).

۴- نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که در هر سه فرایند استخراج مورد استفاده (روش سنتی، میکروویو و فراصوت) بهترین حلال، استون

[10] Li X, Wang L. Effect of extraction method on structure and antioxidant activity of Hohenbuehelia serotina polysaccharides. International journal of biological macromolecules. 2016;83:270-6.
[11] Setyaningsih W, Saputro IE, Carrera CA, Palma M. Optimisation of an ultrasound-assisted extraction method for the simultaneous determination of phenolics in rice grains. Food Chemistry. 2019;288:221-7.
[12] Cvitković D, Dragović-Uzelac V, Dobrinčić A, Čož-Rakovac R, Balbino S. The effect of solvent and extraction method on the recovery of lipid fraction from Adriatic Sea macroalgae. Algal Research. 2021;56:102291.
[13] Flórez N, Conde E, Domínguez H. Microwave assisted water extraction of plant compounds. Journal of Chemical Technology & Biotechnology. 2015;90(4):590-607.
[14] Aydar AY. Utilization of response surface methodology in optimization of extraction of plant materials. Statistical approaches with emphasis on design of experiments applied to chemical processes. 2018:157-69.
[15] Arabshahi-Delouee S, Urooj A. Antioxidant properties of various solvent extracts of mulberry (Morus indica L.) leaves. Food chemistry. 2007;102(4):1233-40.
[16] Dzah CS, Duan Y, Zhang H, Wen C, Zhang J, Chen G, et al. The effects of ultrasound assisted extraction on yield, antioxidant, anticancer and antimicrobial activity of polyphenol extracts: A review. Food Bioscience. 2020;35:100547.
[17] Alonso-Carrillo N, de los Ángeles Aguilar-Santamaría M, Vernon-Carter EJ, Jiménez-Alvarado R, Cruz-Sosa F, Román-Guerrero A. Extraction of phenolic compounds from Satureja macrostema using microwave-ultrasound assisted and reflux methods and evaluation of their antioxidant activity and cytotoxicity. Industrial Crops and Products. 2017;103:213-21.

- [18] Hu B, Xi X, Li H, Qin Y, Li C, Zhang Z, et al. A comparison of extraction yield, quality and thermal properties from *Sapindus mukorossi* seed oil between microwave assisted extraction and Soxhlet extraction. *Industrial Crops and Products*. 2021;161:113185.
- [19] Traversier M, Gaslonde T, Lecso M, Michel S, Delannay E. Comparison of extraction methods for chemical composition, antibacterial, depigmenting and antioxidant activities of *Eryngium maritimum*. *International Journal of Cosmetic Science*. 2020;42(2):127-35.
- [20] Sillero L, Prado R, Labidi J. Simultaneous microwave-ultrasound assisted extraction of bioactive compounds from bark. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*. 2020;156:108100.
- [21] Chutia H, Mahanta CL. Green ultrasound and microwave extraction of carotenoids from passion fruit peel using vegetable oils as a solvent: Optimization, comparison, kinetics, and thermodynamic studies. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2021;67:102547.
- [22] Zhang H, Tchabo W, Ma Y. Quality of extracts from blueberry pomace by high hydrostatic pressure, ultrasonic, microwave and heating extraction: A comparison study. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 2017:815-9.
- [23] Ravi HK, Breil C, Vian MA, Chemat F, Venskutonis PR. Biorefining of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) pomace using microwave hydrodiffusion and gravity, ultrasound-assisted, and bead-milling extraction. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. 2018;6(3):4185-93.
- [24] Chuyen HV, Nguyen MH, Roach PD, Golding JB, Parks SE. Microwave-assisted extraction and ultrasound-assisted extraction for recovering carotenoids from Gac peel and their effects on antioxidant capacity of the extracts. *Food Science & Nutrition*. 2018;6(1):189-96.
- [25] Ghasemi K, Ghasemi Y, Ebrahimzadeh MA. Antioxidant activity, phenol and flavonoid contents of 13 citrus species peels and tissues. *Pak J Pharm Sci*. 2009;22(3):277-81.
- [26] Arkoub-Djermoune L, Benmeziane F, Madani K, Boulekbache-Makhlouf L. Optimization of phenolic compounds recovery and in vitro antioxidant activity of Algerian eggplant (*Solanum melongena* L.). *Advances in Horticultural Science*. 2020;33(4):567.
- [27] Dhanani T, Shah S, Gajbhiye N, Kumar S. Effect of extraction methods on yield, phytochemical constituents and antioxidant activity of *Withania somnifera*. *Arabian Journal of Chemistry*. 2017;10:S1193-S9.
- [28] He C, Ji X, Pan Y, Wang H, Wang K, Liang M, et al. Antioxidant activity of alcoholic extract of *Agrimonia pilosa* Ledeb. *Medicinal chemistry research*. 2010;19(5):448-61.
- [29] Ebrahimzadeh M, Nabavi S, Nabavi S, Eslami B. Free radical scavenging ability of methanolic extract of *Hyoscyamus squarrosus* leaves. *Pharmacologyonline*. 2009;2:796-802.

Journal of Food Science and Technology (Iran)Homepage: www.fsct.modares.ir**Scientific Research**

Comparison of different methods for extracting phenolic and flavonoid compounds from
Balangu (royleana Lallemantia) seeds

Sara Teimoury¹, Marzieh Bolandi^{*1}, Fariborz Nahidi¹

1- Department of Food Science and Technology, Damghan Branch, Islamic Azad University, Damghan, Iran.

ABSTRACT

Balangu is a plant from the mint family that, in addition to producing gum from its seeds, has phenolic compounds and antioxidant properties. The aim of this study was to investigate the effect of traditional extraction methods, ultrasound extraction and microwave extraction on the extraction of phenolic and flavonoid compounds from Balangu seeds. The treatments studied included water, acetone and ethanol solvents and different extraction times. The highest amount of phenolic compounds extracted from balangu fruit was obtained when acetone solvent was used for 24 hours. The tests performed included the measurement of phenolic compounds by the Folin-Ciocalteu method, and the measurement of antioxidant activity by the method of reducing power and total antioxidant capacity. The results showed that like the traditional extraction method, the use of acetone solvent in the microwave method in all extraction times, more phenolic compounds were extracted from balangu fruit than other solvents and with increasing the extraction time up to 12 minutes in all solvents used the amount of phenolic compounds increased. . The maximum and minimum free radical scavenging activity of DPPH belonged to acetone solvent extract with 24 hours of extraction and water with 3 hours of extraction, respectively. With increasing ultrasound time, the amount of iron-reducing power in the extracts decreased and the extracts obtained from acetone solvent had more iron reducing power than other solvents at any time. In all three extraction processes, the best solvent, acetone and the best process time for the traditional method, microwave and ultrasound were 24 hours, 12 minutes and 30 minutes, respectively. The highest amount of total phenol related to the process for extracting the extract from Balangu fruit was selected by ultrasound.

ARTICLE INFO**Article History:**

Received: 2022/11/12

Accepted: 2023/2/1

Keywords:

Balangu,
extraction,
antioxidants,
phenolic compounds

DOI: 10.22034/FSCT.20.144.96**DOR:** 20.1001.1.20088787.1402.20.144.6.0

*Corresponding Author E-Mail:
bolandi75@gmail.com