

مقاله پژوهشی

اثر دما بر سینتیک استخراج ترکیبات فنولی از ریزوم زنجبیل (*Zingiber officinale*) به کمک حمام فراصوت

الهه مقصود لو^۱، زینب رفتنی امیری^{۲*}

۱. دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲. دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

تاریخ دریافت: ۹۸/۴/۱۶، تاریخ آخرین بازنگری: ۹۸/۷/۹، تاریخ پذیرش: ۹۸/۷/۱۵

چکیده

در پژوهش حاضر تاثیر دماها ۴۰-۶۰°C و زمان‌های مختلف ۵-۶۰ min بر سینتیک استخراج ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی ریزوم زنجبیل تحت شرایط حمام فراصوت بررسی و مقادیر IC₅₀ آزمون مهار رادیکال DPPH و قدرت احیاکنندگی عصاره‌ها محاسبه شد. نتایج نشان داد با افزایش دما، بازده استخراج ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی افزایش یافت. بیشترین بازده این ترکیبات در ۱۵ دقیقه اول دوره استخراج به دست آمد و بعد از آن شیب استخراج کاهش یافت. همچنین بیشترین مقدار ترکیبات فنولی (۱۶۵/۷۵±۴۷/۶۹) و در انتهای مرحله استخراج سریع حدود ۱۵ min، در دماهای ۵۰ و ۶۰°C بدون تفاوت معنی دار به دست آمد. بنابراین، فرایند استخراج را می‌توان به دو مرحله استخراج سریع و استخراج آهسته تقسیم کرد. نتایج نشان داد، با استفاده از نمودارهای سینتیک می‌توان بیشینه استخراج ترکیبات آنتی‌اکسیدانی ریزوم زنجبیل را با کمترین زمان و دمای موثر به دست آورد. علاوه بر این نتایج نشان داد روش فراصوت دارای کارایی قابل ملاحظه‌ای در استخراج ترکیبات زیست‌فعال از ریزوم زنجبیل و تکنولوژی موثرتری نسبت به روش سنتی است.

واژه‌های کلیدی: حمام فراصوت، دمای استخراج، زمان استخراج، زنجبیل، ترکیبات فنولی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی.

* نویسنده مسئول: z.raftani@sanru.ac.ir

۱. مقدمه

تکنیک‌های استخراج حلالی یا تقطیر با بخار استخراج می‌گردند. روش‌های سنتی هزینه‌بر و زمان‌بر بوده و نیاز به حجم بالای حلال دارند، بنابراین تکنیک‌های استخراج نوین از جمله استخراج به کمک فراصوت، سیال فوق بحرانی، آب زیر بحرانی و استخراج به کمک مایکروویو امکان استخراج ترکیبات زیست فعال را از منابع طبیعی فراهم کرده‌اند. روش فراصوت به علت راندمان بالا، زمان کوتاه، مصرف حلال کمتر و آسان و ارزان بودن، بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. تأثیرات مکانیکی امواج فراصوت طی پدیده کاویتاسیون باعث نفوذ بیشتر حلال به درون سلول‌ها می‌شود و انتقال جرم را بهبود می‌دهد. بنابراین تخریب سلولی کارآمد و انتقال جرم مؤثر، دو فاکتور اصلی افزایش استخراج با فراصوت می‌شوند. عوامل زیادی شامل دما، زمان، شدت امواج و نوع ترکیب حلال، ماهیت مواد گیاهی و نسبت حلال به نمونه ساز و کار عمل فراصوت را تحت تأثیر قرار می‌دهند [۵].

در مطالعات گسترده‌ای اثر شرایط مختلف برای بهبود استخراج ترکیبات به کمک فراصوت بررسی شده است، از جمله: استخراج پلی فنول‌ها از میوه کنار هندی، *Zizyphus lotus* [۶]، استخراج ترکیبات فنولی از رزماری [۷] و عصاره انگور قرمز [۸] و استخراج ملاتونین از برنج قرمز [۹]. هم‌چنین تحقیقات مختلفی جهت بررسی محتوای فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی اجزای مختلف گیاه زنجبیل انجام شده که در آن‌ها استخراج عصاره گیاه به روش سنتی با حلال‌های مختلف صورت می‌گرفته است [۴، ۱۰]. در مطالعه‌ای بارتی و ری [۱۱] به مقایسه دو روش استخراج سنتی و فراصوت در 40°C به مدت ۶۰ min پرداختند که روش سنتی بازده استخراج بالاتری را نشان داد. بنابراین برای به دست آوردن حداکثر راندمان استخراج ترکیبات مؤثره و مقایسه تأثیر روش‌های مختلف نیاز به تعیین بهترین شرایط فرایند است [۶، ۷].

با توجه به زیان‌های حاصل از مصرف ترکیبات ضد اکسایش مصنوعی در صنعت غذا، مطالعه و پژوهش برای یافتن جایگزین سالم و طبیعی افزایش یافته و هم‌چنین مطالعه جهت یافتن بهترین و کارآمدترین روش استخراج، از بین روش‌های مختلف استخراج ضروری است. امروزه یکی از فناوری‌های مورد استفاده در صنایع فراوری مواد غذایی رسیدن به بیشترین بازده با صرف کمترین زمان، هزینه و انرژی است. تاکنون اثر دماهای مختلف بر سینتیک استخراج ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی ریزوم زنجبیل بررسی نشده است. هدف از تحقیق

آنتی‌اکسیدان‌ها به ترکیباتی گفته می‌شود که اکسیداسیون لیپیدها یا دیگر ملکول‌ها را از طریق مهار مرحله آغازی یا انتشار واکنش‌های زنجیره‌ای اکسیداسیون ممانعت کرده یا به تاخیر می‌اندازند. در سال‌های اخیر بسیاری از گیاهان دارویی به‌عنوان منابع مهم ترکیبات فنولی و آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی شناخته شده‌اند. عصاره‌های این گیاهان به دلیل فعالیت آنتی‌اکسیدانی و آنتی‌میکروبی بالا، می‌توانند به‌عنوان جایگزینی برای نگه‌دارنده‌های سنتزی متداول مواد غذایی در صنعت غذا به کار روند [۱، ۲]. در این منابع گیاهی، سه گروه ترکیب شیمیایی عمده شامل ترپنوئیدها، متابولیت‌های فنولی و آلکالوئیدها وجود دارد. که در میان آن‌ها متابولیت‌های فنولی به‌عنوان مهم‌ترین ترکیبات در رژیم مصرف‌کننده به شمار می‌روند.

ترکیبات فنولی شامل اسیدهای فنولی مانند هیدروکسی بنزوئیک و هیدروکسی سینامیک اسیدها، پلی فنول‌های قابل هیدرولیز شدن و تانن‌های متراکم، فلاونوئیدها و لیگنین می‌باشد. این ترکیبات میوه‌ها و سبزیجات را از صدمات اکسیداتیو محافظت کرده و برای انسان به‌عنوان آنتی‌اکسیدان عمل می‌کنند [۲]. فعالیت آنتی‌اکسیدانی ترکیبات فنولی گیاهان به‌طور عمده به دلیل خواص کاهندگی و ساختار شیمیایی آن‌ها است که می‌تواند نقش مهمی را در خنثی کردن رادیکال‌های آزاد، چنگالی-کردن فلزات انتقالی و خاموش کردن اکسیژن یگانه و سه‌گانه از طریق تخریب پراکسیدها داشته باشند [۳].

زنجبیل (*Zingiber officinale*) نه تنها یکی از ادویه‌جات پرمصرف برای بهبود طعم و مزه غذاها در بیشتر نقاط جهان است، بلکه همچنین تعداد بی‌شماری ترکیبات زیست‌فعال با اثرات دارویی و بیولوژیکی دارد. ریزوم‌های زنجبیل یکی از گسترده‌ترین ادویه‌جات و چاشنی‌های مورد استفاده هستند. مصرف زنجبیل در بسیاری از استرس‌های اکسیداتیو مرتبط با پزشکی از جمله فشار خون، دیابت پانکراسیک، صدمات کلیوی و بیماری آلزایمر مفید است. در طب سنتی برای درمان سر درد، حالت تهوع، تب، سرماخوردگی، آرتریت، اختلالات رماتیسمی و دردهای عضلانی مورد استفاده قرار می‌گرفته است. همچنین زنجبیل دارای اثرات ضد التهاب، ضد سرطان، محافظ کبد و کلیه و نیز اثرات آنتی-اکسیدانی می‌باشد [۴].

ترکیبات فنولی از منابع گیاهی به‌طور سنتی با استفاده از

۲.۳. اندازه‌گیری ترکیبات فنولی کل

محتوای فنول کل به روش رنگ سنجی فولین سیوکالچو طبق روش اسفلان و همکاران [۱۴] اندازه‌گیری شد. به‌طور خلاصه، ۲/۵ ml معرف فولین سیوکالچوی ده برابر رقیق شده با آب مقطر، ۲ ml سدیم کربنات ۷/۵٪ و ۵۰ μl از عصاره به خوبی مخلوط شدند. پس از ۱۵ min حرارت‌دهی در ۴۵ °C جذب نمونه‌ها با استفاده از اسپکتروفتومتر دو پرتویی ماوراء بنفش - مرئی مدل اسپکول ۲۰۰۰ شرکت آنالیتیکا جنا ساخت کشور آلمان در طول موج ۷۶۵ nm اندازه‌گیری و مخلوط آب و معرف به‌عنوان شاهد و اسیدگالیک ۷۰۰ mg/ml - ۰ برای رسم منحنی استاندارد استفاده شد. محتوای فنولی کل نمونه‌ها بر اساس معادله خط به‌دست آمده از منحنی استاندارد گالیک‌اسید ($y=0.8085x+0.0471$, $R^2=0.98$) به‌صورت اکی والانت اسید گالیک - GAE در هر گرم عصاره محاسبه گردید [۱۴].

۲.۴. تعیین محتوای فلاونوئیدی کل

سنجش میزان فلاونوئید کل به روش رنگ‌سنجی آلومینیوم کلرید به روش مقصدلو و همکاران [۱۳] انجام شد. به‌طور خلاصه، ۰/۵ ml محلول هر یک از عصاره‌ها ۱ mg/ml به‌طور جداگانه در ۰/۵ ml متانول، ۰/۱ ml آلومینیوم کلرید ۱۰٪ در اتانول، ۰/۱ ml استات پتاسیم یک مولار و ۲/۸ ml آب مقطر مخلوط و به‌مدت نیم ساعت در دمای اتاق در تاریکی قرار داده شد. جذب مخلوط واکنش در طول موج ۴۱۵ nm توسط دستگاه اسپکتروفتومتر دو پرتویی ماوراء بنفش - مرئی مدل اسپکول ۲۰۰۰ شرکت آنالیتیکا جنا ساخت کشور آلمان خوانده شد. از متانول خالص به‌عنوان شاهد و از کوئرستین ۱۰۰ mg/ml - ۱۲/۵ برای رسم منحنی کالیبراسیون استفاده شد. محتوای فلاونوئید کل براساس معادله خط به‌دست آمده از منحنی استاندارد کوئرستین ($y=0.0064x-0.0124$, $R^2=0.99$) به‌صورت اکی والانت کوئرستین در هر گرم عصاره محاسبه گردید [۱۳].

۲.۵. اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها

۲.۵.۱. آزمون جذب رادیکال‌های آزاد DPPH

فعالیت مهارکنندگی رادیکال آزاد عصاره‌ها با استفاده از ۲ و ۲' - دی فنیل - ۱ - پیکریل هیدرازیل - DPPH بر اساس روش توضیح داده شده توسط ابراهیم‌زاده و همکاران [۱۵] مطالعه شد.

حاضر، بررسی سینتیک استخراج ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی ریزوم زنجبیل تحت شرایط مختلف دما و زمان در معرض قرارگیری فراصوت و مقایسه با روش استخراج سنتی حلالی می‌باشد. لذا، ضمن مقایسه روش‌های استخراج فراصوت و سنتی از نظر بازده و سرعت استخراج ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی - اکسیدانی، با بررسی سینتیک استخراج ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی عصاره ریزوم زنجبیل، می‌توان به کمترین زمان لازم در مرحله استخراج برای رسیدن به بیشترین میزان ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی و فعالیت آنتی اکسیدانی دست یافت.

۲. مواد و روش‌ها

۲.۱. مواد اولیه

ریزوم تازه زنجبیل در پاییز ۱۳۹۷ از بازار محلی گرگان تهیه شد. ریزوم‌های تازه زنجبیل بلافاصله پس از تمیز کردن و خرد شدن به سرعت تحت شرایط طبیعی محیط در سایه تا رسیدن به وزن ثابت خشک گردیدند. نمونه‌های خشک‌شده تا مش ۴۰ آسیاب شده و به منظور جلوگیری از نفوذ رطوبت در بسته‌های دو لایه پلی اتیلنی، در دمای ۱۸ °C - نگهداری شدند [۱۲].

۲.۲. آماده سازی عصاره‌ها

برای استخراج ترکیبات آنتی‌اکسیدانی ریزوم زنجبیل در هر یک از تیمارها، مخلوطی از ۱۰ g نمونه در ۱۰۰ ml اتانول: آب (۱:۱) تهیه و کاملاً به هم زده شد. در این مطالعه حمام فراصوت دستگاه حمام اولتراسونیک مدل S30H شرکت الماسونیک ساخت کشور آلمان با فرکانس ۳۷ KHz و توان ۲۸۰ w استفاده شد. مخلوط نمونه‌ها تحت امواج حمام فراصوت در دمای ۴۰ و ۵۰ °C و زمان ۵، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ min و ۶۰ قرار گرفتند. در این روش دما از طریق سیرکولاسیون آب، کنترل و حفظ شد. همچنین برای مقایسه تکنولوژی فراصوت با روش استخراج سنتی در دمای ۳۰ °C و زمان ۵، ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ min استخراج انجام شد. در روش استخراج سنتی برای استخراج بهتر ترکیبات آنتی اکسیدانی، مخلوط‌های نمونه در شرایط تاریکی مخلوط و سپس سوسپانسیون حاصل از استخراج روش فراصوت و حلالی با کاغذ صافی واتمن شماره ۱ صاف و حلال‌ها در دمای ۴۰ °C در آون به‌مدت ۱۸ h تبخیر و عصاره‌های حاصل تا زمان آزمایش در دمای ۱۸ °C - نگهداری شدند [۱۳].

ها با استفاده از آزمون دانکن و در سطح اطمینان ۹۵٪ توسط نرم افزار SPSS21 صورت گرفت. همچنین نمودارها با نرم افزار Microsoft Excel ترسیم شدند.

۳. نتایج و بحث

۳.۱. سینتیک استخراج ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی در دماهای مختلف

طبق نتایج آنالیز واریانس در جدول (۱)، اثر تیمارهای مختلف فراصوت بر محتوای ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی معنی‌دار بود. اثر دما بر میزان استخراج ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی در طول زمان تحت شرایط حمام فراصوت به ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. به‌طور کلی، بازده استخراج ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی با افزایش درجه حرارت از ۴۰ تا ۶۰ °C افزایش یافت. به‌طوری‌که بعد از گذشت ۱۵ min از زمان استخراج به ترتیب در دماهای ۵۰ و ۶۰ °C، بازده ترکیبات فنولی به‌دست آمده $47/69 \pm 165/75$ و $36/56 \pm 236/56$ $\mu\text{g GA/g of DW of extract}$ و بازده ترکیبات فلاونوئیدی $173/13$ و $9/43 \pm 0/80$ $\mu\text{g QE/g of DW of extract}$ بود. قابل ذکر است مقادیر فنول و فلاونوئید عصاره ریزوم زنجبیل به‌دست آمده در مطالعه حاضر نسبت به مقادیر مشابه در سایر مطالعات بالاتر بود [۴، ۱۰ و ۱۱].

بالاترین میزان این ترکیبات در ۱۵ دقیقه اول استخراج بدون تفاوت معنی‌داری در دمای ۵۰ و ۶۰ °C حاصل شد که با افزایش زمان استخراج به تدریج کاهش یافت. با این حال، روند افزایش بازده ترکیبات زیست فعال زنجبیل در ۴۰ و ۵۰ °C تا حدود زمان ۳۰ min قابل مشاهده است، اما در ۶۰ °C از ۱۵ تا ۶۰ min روند کاهشی نشان داد. در بازه زمانی ۶۰-۳۰ min از زمان استخراج، کمترین بازده ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی در دمای ۴۰ و ۶۰ °C و بیشترین آن در دمای ۵۰ °C به‌دست آمد. به‌طور کلی، افزایش دما می‌تواند تورم مواد خام و نرم شدن و پارگی بافت گیاهی را تسریع و برهمکنش‌های فنول- پروتئین و فنول- پلی‌ساکارید را تضعیف کند، حلالیت ترکیبات استخراج شده و سرعت انتشار حلال را افزایش دهد و ویسکوزیته و کشش سطحی حلال را کاهش دهد. در نتیجه با افزایش تدریجی دما، انتقال جرم ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی از بافت گیاه زنجبیل بهبود یافت. این نتیجه با نتایج سیلوا و همکاران [۱۷] مطابقت دارد.

محلول DPPH از طریق حل کردن ۳/۹۴ mg از DPPH در ۱۰۰ ml متانول تهیه و ۲ ml از محلول DPPH به ۲ ml از هر یک از عصاره‌ها $1000-80$ $\mu\text{g/ml}$ اضافه شد. مخلوط به هم زده شد و به مدت ۱۵ min در دمای اتاق در تاریکی قرار گرفت. جذب محلول‌های واکنش در ۵۱۷ nm اندازه‌گیری و از محلول DPPH به‌عنوان نمونه کنترل استفاده شد. درصد مهارکنندگی رادیکالی عصاره‌ها طبق معادله (۱) محاسبه شد:

$$\% \text{Inh} = \left(1 - \frac{\text{Abs}_{\text{sample}}}{\text{Abs}_{\text{control}}} \right) \times 100 \quad (1)$$

که در آن %Inh، درصد مهارکنندگی رادیکال DPPH، $\text{Abs}_{\text{sample}}$ ، میزان جذب نمونه و $\text{Abs}_{\text{control}}$ ، میزان جذب کنترل می‌باشد. IC_{50} فعالیت مهارکنندگی رادیکالی عصاره‌ها که به‌صورت غلظتی از عصاره مورد نیاز برای کاهش ۵۰٪ غلظت اولیه DPPH تعریف می‌شود از طریق درون‌یابی خطی محاسبه شد [۱۵].

۲.۵. اندازه‌گیری قدرت احیاکنندگی آهن

این آزمون مطابق روش توضیحی آلتیمی و همکاران [۱۶] انجام شد. در این روش آنتی‌اکسیدان‌ها نقش احیاکنندگی آهن III به آهن II دارند. بسته به قدرت احیاکنندگی عصاره، رنگ زرد محلول آزمایش به رنگ سبز یا آبی تغییر می‌یابد. به‌طور خلاصه، ۲/۵ ml از عصاره‌ها در غلظت‌های $1000-80$ $\mu\text{g/ml}$ با ۲/۵ ml از بافر فسفات سدیم ۲۰۰ mM با pH: ۶/۶ و ۲/۵ ml از پتاسیم فری سیانید 10 g/L $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ ترکیب مخلوط و به مدت ۲۰ min در ۵۰ °C گرمخانه‌گذاری شد. در ادامه ۲/۵ ml از تری-کلرواستیک اسید ۱۰٪ وزنی/حجمی اضافه شد و مخلوط برای ۱۰ min در ۳۰۰۰ rpm سانتریفیوژ گردید. در نهایت ۲/۵ ml از محلول رویی با ۲/۵ ml آب مقطر و ۰/۵ ml از کلریدفریک 1 g/L مخلوط و جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۰۰ nm اندازه‌گیری گردید. غلظتی از عصاره که جذب ۰/۵ را فراهم می‌کند با عنوان IC_{50} از طریق درون‌یابی خطی نموداری که جذب در ۷۰۰ nm را در مقابل غلظت عصاره‌ها نشان می‌دهد، محاسبه شد [۱۶].

۲.۶. تجزیه و تحلیل آماری

در این تحقیق، کلیه آزمایش‌ها در سه تکرار انجام شد. آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از طرح کاملاً تصادفی و مقایسه میانگین-

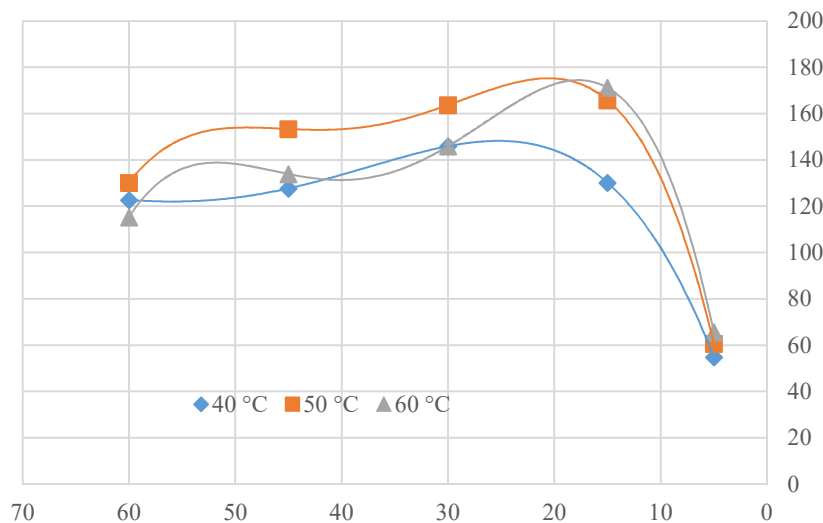
جدول (۱) تجزیه واریانس اثر تیمارهای فراصوت بر محتوای فنولی، فلاونوئیدها و خاصیت آنتی‌اکسیدانی عصاره ریزوم زنجبیل.

Table 1 Variance analysis of ultrasonic treatments on the phenolic content, flavonoids and antioxidant activity of ginger rhizome extract.

میانگین مربعات Mean square				درجه آزادی df	منابع تغییر Source of variation
IC ₅₀ قدرت احیاکنندگی IC ₅₀ of reducing power	IC ₅₀ مهار DPPH IC ₅₀ of DPPH scavenging activity	فلاونوئید کل Total flavonoid	فنول کل Total phenol		
23670.4*	55483.5*	7.33*	4235.8*	14	تیمار Treatment
13.05	21.63	0.237	6.46	30	خطا Error
3.93	6.31	1.41	2.23	-	ضریب تغییرات CV

* اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ را نشان می‌دهد.

* indicates a significant difference at the 0.05 level.

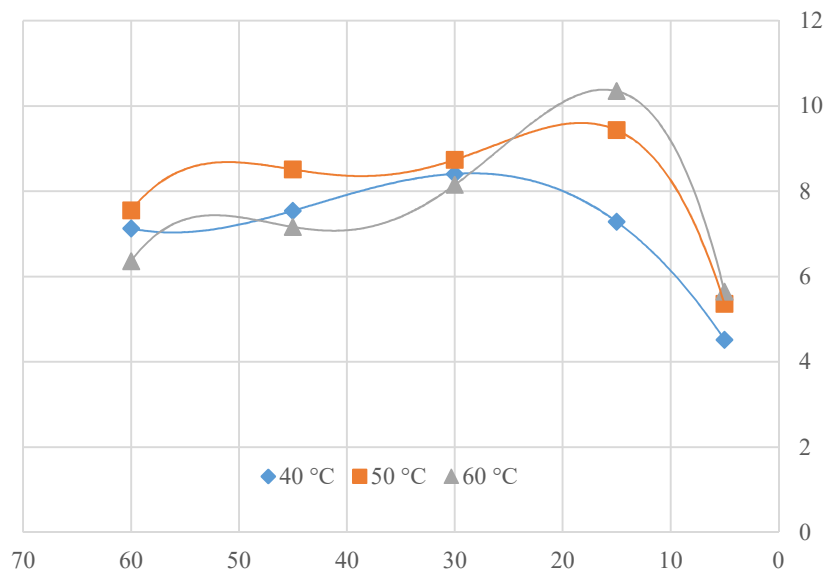


شکل (۱) سینتیک استخراج ترکیبات فنولی عصاره‌های ریزوم زنجبیل به کمک فراصوت

Fig 1. Extraction kinetic of phenolic compounds from ginger rhizome extracts using ultrasound

بالتر از ۵۰°C پایداری آن‌ها کاهش می‌یابد که اثر چشمگیری بر کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره خواهد داشت [۱۸]. بنابراین، حرارت‌دهی بهبود استخراج آنتی‌اکسیدان‌های مشخصی را به همراه دارد، در حالی که به‌طور هم‌زمان سبب تخریب آنتی‌اکسیدان‌هایی می‌شود که در دماهای پایین‌تر استخراج شده‌اند [۱۹]. در تحقیق حاضر، با افزایش زمان استخراج، بیشترین کاهش در بازده ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی در دمای ۶۰°C مشاهده شد و دمای ۵۰°C به‌عنوان بهترین دمای استخراج این ترکیبات زیست‌فعال از ریزوم زنجبیل بود.

اگرچه دماهای بالای فراصوت می‌تواند استخراج ترکیبات زیست‌فعال از بافت گیاهی را تسهیل کند، اما اثر منفی آن بر شدت کاویتاسیون را نمی‌توان نادیده گرفت. در دماهای بالاتر فراصوت، در نتیجه کشش سطحی پایین‌تر، فشار بخار حلال افزایش می‌یابد و سبب می‌شود بخارات حلال بیشتری وارد تعداد زیادی از حباب‌های کاویتاسیون گردد، که با شدت کمتری متلاشی شده و شدت کاویتاسیون را کاهش می‌دهد. احتمالاً روند کاهشی بازده ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی در دماهای ۵۰°C و ۶۰°C به این موضوع مرتبط می‌باشد. از طرف دیگر، برخی از پلی‌فنول‌ها به‌ویژه فلاونوئیدها حساس به حرارت هستند، بنابراین در دماهای



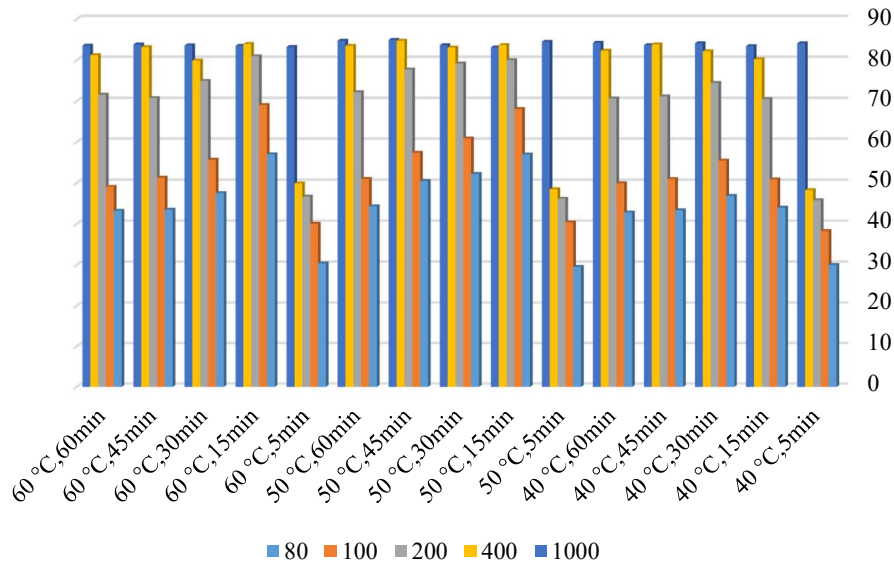
شکل (۲) سینتیک استخراج ترکیبات فلاونوئیدی عصاره‌های ریزوم زنجبیل به کمک فراصوت
 Fig 2. Extraction kinetic of flavonoid compounds from ginger rhizome extracts using ultrasound

به دو مرحله تقسیم کرد؛ یک مرحله استخراج سریع است که حدود ۱۵ min طول می‌کشد و حداکثر ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی حاصل می‌شود، و یک مرحله استخراج آهسته برای ادامه زمان مورد مطالعه است که مقادیر استخراج شده نه تنها رشد معنی‌داری نداشت، بلکه همچنین در برخی موارد در اثر تخریب حرارتی روند کاهشی مشاهده شد. در مطالعات مختلف از جمله سیلوا و همکاران [۱۷] و تائو و همکاران [۲۰] و هرودز و همکاران [۲۱] به‌طور مشابهی نشان دادند پدیده استخراج ترکیبات آنتی‌اکسیدانی فنولی در دو مرحله سریع و آهسته انجام می‌شود. این محققان نشان دادند انتخاب زمان‌های طولانی‌تر منجر به اثرات غیرمعنی‌دار در متغیر زمان می‌گردد.

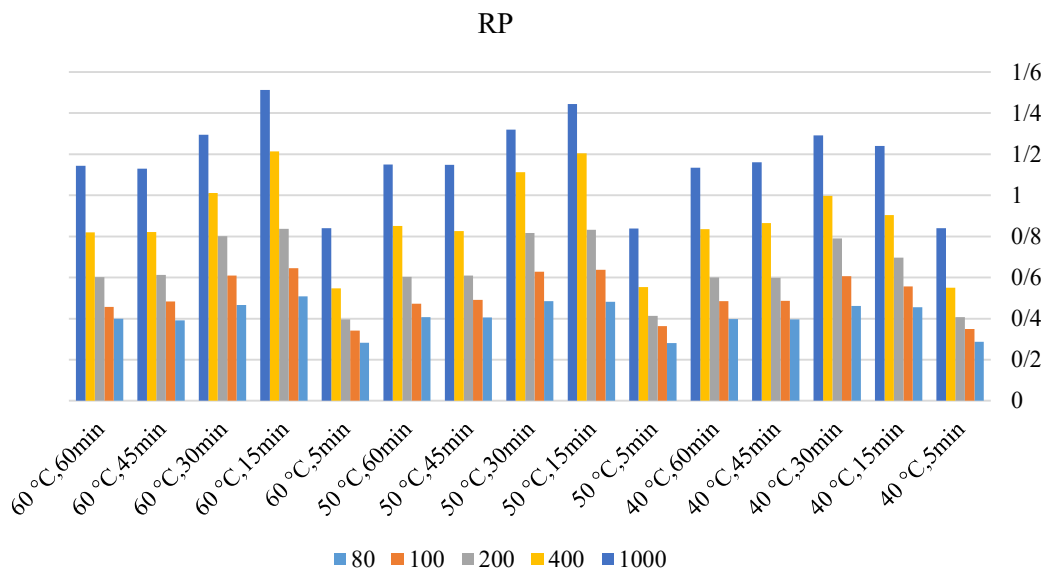
همچنین در این مطالعه اثر دما و زمان فراصوت بر سینتیک فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره زنجبیل تحت آزمون مهار رادیکال آزاد DPPH و همچنین قدرت احیاکنندگی اتم آهن بررسی شد. آزمون مهار رادیکال DPPH به‌طور گسترده‌ای برای ارزیابی ترکیباتی که رادیکال‌های آزاد را مهار می‌کنند یا دهنده هیدروژن هستند، استفاده می‌شود [۲۲] و روش قدرت احیاکنندگی روش حساسی برای تعیین نیمه کمی غلظت پلی‌فنول‌های موجود در واکنش اکسیداسیون-احیاء شناخته شده است [۲۳]. اثر دما بر سینتیک فعالیت مهارکنندگی رادیکالی و قدرت احیاکنندگی عصاره‌های زنجبیل در شکل‌های ۳ و ۴ و مقادیر IC_{50} آن‌ها در

تائو و همکاران [۲۰] در هنگام بررسی سینتیک استخراج ترکیبات فنولی و استرهای تارتاریک از تفاله انگور نشان دادند که افزایش دما از ۲۰ تا ۵۰°C منجر به افزایش بازده استخراج به کمک حمام فراصوت شد. این محققان تخریب حرارتی ترکیبات فنولیک در بازه دمایی مورد بررسی گزارش نکردند، زیرا بهترین دمای استخراج ترکیبات فنولی از تفاله انگور ۵۰°C است. در تحقیقی دیگر، در بررسی اثر وارپته بر بازیابی ترکیبات فنولی عصاره اسفناج توسط حمام فراصوت در بازه ۵۰°C - ۳۰°C، بازده استخراج تا دمای ۴۰°C افزایش و سپس با افزایش دما کاهش یافت. این محققان توضیح دادند که دماهای بالاتر فراصوت می‌تواند برخی از ترکیبات فنولی که در محیط استخراج پراکنده شده‌اند و پایداری حرارتی کمتری دارند را تخریب کند [۱۶].

سینتیک استخراج پلی‌فنول‌ها به منظور بررسی سرعت استخراج و انتخاب محدوده مناسب تجربی انجام می‌شود. به عبارت دیگر، مهم‌ترین هدف بررسی سینتیک استخراج دستیابی به داده‌هایی است که از کاربرد محدوده‌های زمانی بالا با تفاوت غیرمعنی‌دار نسبت به زمان‌های پایین‌تر جلوگیری می‌کند. در نتیجه صرفه‌جویی در انرژی و زمان و همچنین عدم تخریب حرارتی ترکیبات را به همراه دارد. همان‌طور که در شکل‌های ۱ و ۲ مشاهده می‌شود برای هر سه دمای مورد مطالعه، یک ناحیه با شیب تند به‌دست آمد. بنابراین سینتیک استخراج را می‌توان



شکل (۳) درصد مهار رادیکال DPPH عصاره‌های ریزوم زنجبیل در تیمارهای مختلف فراصوت
 Fig 3. DPPH radical scavenging activity of ginger rhizome extracts in various ultrasound treatment



شکل (۴) قدرت احیاکنندگی عصاره‌های ریزوم زنجبیل در تیمارهای مختلف فراصوت
 Fig 4. Reducing power of ginger rhizome extracts in various ultrasound treatment

بالاتری را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود درصد مهار رادیکال DPPH در شکل (۳) و قدرت احیاکنندگی اتم آهن در شکل ۴ در اکثر موارد با افزایش دما از ۴۰ تا ۶۰ °C افزایش و مقادیر IC₅₀ در هر دو روش کاهش یافت. بررسی خاصیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌های ریزوم زنجبیل در غلظت‌های مختلف ۸۰ تا ۱۰۰۰ µg/ml نشان

جدول (۲) گزارش شده است. مقادیر IC₅₀ در آزمون مهار رادیکال DPPH به غلظتی از عصاره آنتی‌اکسیدانی اطلاق می‌شود که می‌تواند ۵۰٪ از رادیکال‌های آزاد اولیه را مهار کند و در روش قدرت احیاکنندگی غلظتی از عصاره آنتی‌اکسیدانی است که در طول موج ۷۰۰ nm جذب ۰/۵ داشته باشد. بنابراین در هر دو روش مقادیر IC₅₀ پایین‌تر در نمونه‌ها، فعالیت آنتی‌اکسیدانی

دمای ۴۰ و ۵۰ °C ثابت ماند یا به میزان جزئی کاهش یافت و در دمای ۶۰°C افزایش قابل ملاحظه‌ای در مقادیر IC₅₀ و در نتیجه کاهش توانایی مهار رادیکالی و قدرت احیاکنندگی عصاره‌های زنجبیل مشاهده شد. دو پدیده مهم و موثر در فراصوت اثر کاویتاسیون و اثر حرارت هستند. اثر کاویتاسیون از طریق انفجار حباب‌ها یا حفره‌های کاویتاسیون عمل می‌کند و اثر حرارت توسط تورم و تخریب ساختار سلولی عمل می‌کند و در نتیجه سبب افزایش انتقال جرم مواد داخل سلولی به حلال می‌گردند. در این مطالعه در ۱۵ دقیقه اول در دماهای پایین‌تر، اثر حرارت ناچیز و در نتیجه عملکرد استخراج کمتر بود. به تدریج با افزایش دما هر دو اثر به‌طور مساوی غالب و اثر ترکیبی مفید آن‌ها سبب عملکرد نسبتاً بالاتر استخراج شد. اما با افزایش زمان استخراج به ویژه در حرارت بالاتر نه تنها عملکرد استخراج افزایش نیافت، بلکه به دلیل حرارت بالا برخی از ترکیبات استخراج شده حساس به حرارت تخریب شدند [۲۴].

داد با افزایش غلظت عصاره، درصد مهار رادیکال DPPH و قدرت احیاکنندگی اتم آهن افزایش یافت. در غلظت‌های بالای ۲۰۰ µg/ml عصاره‌های حاصل از تیمارهای مختلف فراصوت تفاوت معنی‌داری نشان ندادند (p < ۰/۰۵). اما در سایر غلظت‌ها اثر دما بر سینتیک فعالیت آنتی‌اکسیدانی در شکل‌های ۳ و ۴ معنی‌دار بود. به‌طور کلی، در ۱۵ دقیقه اولیه استخراج در هر یک از دماهای مورد مطالعه، درصد مهار رادیکال DPPH و قدرت احیاکنندگی اتم آهن با شیب تندی افزایش و مقادیر IC₅₀ در هر دو روش کاهش یافت. به‌طوری‌که کمترین مقدار IC₅₀ و در نتیجه بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها به ترتیب در دماهای ۴۰، ۵۰ و ۶۰°C در آزمون فعالیت مهارکنندگی رادیکالی DPPH ۴/۳۶ ± ۹۴/۹۲، ۶/۰۹ ± ۶۸/۰۱، ۲/۷۹ ± ۶۶/۶۰ و در آزمون قدرت احیاکنندگی اتم آهن ۴/۱۶ ± ۸۹/۰۵، ۲/۸۳ ± ۸۰/۴۲ و ۳/۰۶ ± ۷۸/۰۶ بود. اما با افزایش زمان استخراج، از ۱۵ تا ۶۰ min فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌های زنجبیل در

جدول (۲) مقادیر IC₅₀ عصاره‌های ریزوم زنجبیل آزمون مهار رادیکال DPPH و قدرت احیاکنندگی آهن.
Table 2 IC₅₀ values of ginger rhizome extracts of DPPH scavenging activity and reducing power tests.

IC ₅₀ قدرت احیاکنندگی IC ₅₀ of reducing power (µg/ml)	IC ₅₀ مهار رادیکال‌های DPPH IC ₅₀ of DPPH scavenging activity (µg/ml)	تیمار Treatment
^c 10.75 ± 313.29	^c 27.46 ± 528.92	40 °C, 5min
^a 4.16 ± 89.05	^a 4.36 ± 94.92	40 °C, 15min
^a 5.61 ± 84.43	^a 2.57 ± 87.96	40 °C, 30min
^b 23.91 ± 127.83	^a 20.21 ± 104.80	40 °C, 45min
^b 25.39 ± 128.55	^a 21.01 ± 106.75	40 °C, 60min
^c 17.45 ± 310.88	^b 29.94 ± 339.19	50 °C, 5min
^a 2.83 ± 80.42	^a 6.09 ± 68.01	50 °C, 15min
^a 4.55 ± 80.95	^a 4.12 ± 73.55	50 °C, 30min
^b 21.26 ± 124.17	^a 5.26 ± 78.26	50 °C, 45min
^b 4.03 ± 139.48	^a 18.31 ± 103.87	50 °C, 60min
^c 16.72 ± 318.14	^b 28.34 ± 337.12	60 °C, 5min
^a 3.06 ± 78.06	^a 2.79 ± 66.60	60 °C, 15min
^a 5.07 ± 83.79	^a 1.52 ± 87.17	60 °C, 30min
^b 23.73 ± 123.38	^a 22.64 ± 106.12	60 °C, 45min
1.81 ^b ± 141.61	^a 19.30 ± 115.02	60 °C, 60min

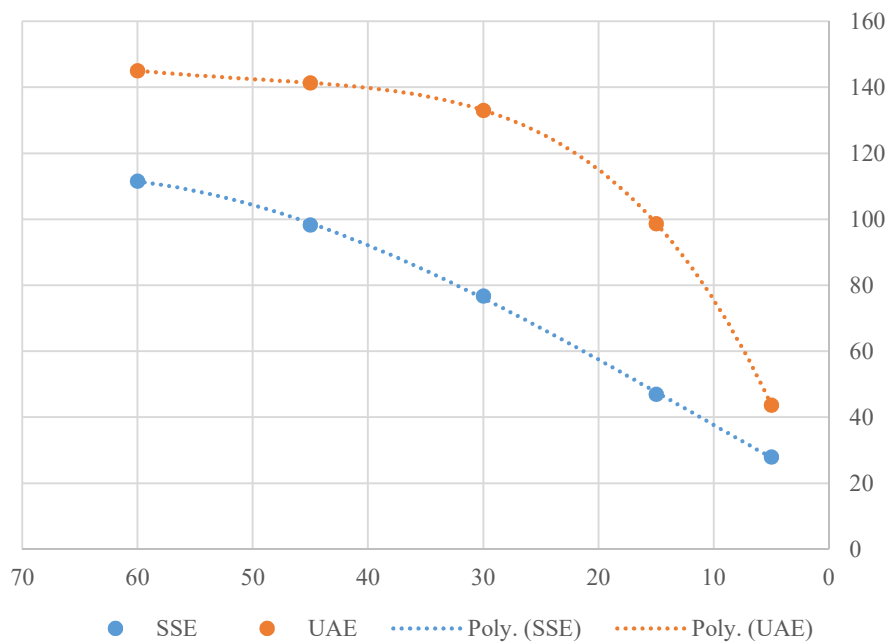
حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ است.

Values with different letters within column indicate significance difference at P < 0.05.

۲.۳. اثر زمان استخراج به کمک فراصوت

زمان استخراج، فاکتور مهمی است که بازده استخراج ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی و بنابراین فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره زنجبیل را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در این تحقیق، محتوای فنول و فلاونوئیدها در همه دماهای مورد بررسی با افزایش زمان به طور تقریبی تا ۱۵ min به حداکثر بازده رسید. اما با افزایش زمان استخراج از ۱۵ تا ۶۰ min در دماهای ۴۰ و ۵۰°C بازده استخراج ترکیبات کاهش اندکی یافت و در دمای ۶۰°C کاهش چشمگیری در میزان ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی مشاهده شد. یافته‌های وگی و همکاران [۲۵] و تائو و همکاران [۲۰] این نتایج را تایید می‌کند. وگی و همکاران [۲۵] با بررسی استخراج پلی‌فنول‌ها از پوست درخت *Jatoba* (*Jatoba Bark*) به کمک فراصوت در دمای ثابت ۵۰°C نشان دادند در ۱۵ دقیقه اول فرایند استخراج به دلیل اثر شیب غلظت پلی‌فنول‌ها بین حلال و مواد گیاهی، محتوای فنولی بالاتری به دست آمد. علاوه بر این، در شروع استخراج، محتوای فنولی بالا در سطح ذرات در تماس با حلال قرار گرفته و سبب تسریع آزاد شدن این ترکیبات می‌گردد. در حالی که پس از طی این زمان، رهاسازی به دلیل شیب غلظت کمتر، کاهش یافته و همچنین پلی‌فنول‌های باقی-

مانده در قسمت‌های داخلی و عمیق ذرات قرار داشته و کمتر در دسترس حلال قرار می‌گیرند. در آزمون توانایی مهار رادیکال DPPH و قدرت احیاکنندگی اتم آهن نیز کمترین IC₅₀ و در نتیجه بالاترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی در دقیقه پانزدهم دوره استخراج و در ادامه با افزایش زمان استخراج، کاهش ناچیزی مشاهده شد یا ثابت باقی‌ماند. در سیستم فرا صوت حباب‌های تشکیل شده ناشی از کاویتاسیون متلاشی شده و مقدار زیادی انرژی در محیط اطراف ایجاد کرده که سبب اختلال دیواره سلولی می‌گردد. همان‌طور که توضیح داده شد روند افزایشی در زمان‌های اولیه استخراج به دلیل شیب غلظت زیاد ترکیبات آنتی‌اکسیدانی بین حلال و دیواره سلول است که سبب سهولت عمل استخراج می‌گردد. در زمان خاصی بیشترین رهاسازی ترکیبات زیست‌فعال اتفاق می‌افتد و پس از آن در زمان‌های بالاتر به دلیل حضور این ترکیبات در قسمت‌های کمتر در دسترس سلول گیاهی و نیز کاهش شیب غلظت این مواد، میزان خروج ترکیبات کاهش می‌یابد. برخی مطالعات پیشین این روند افزایشی اولیه و سپس کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌های گیاهی را گزارش کردند [۲۶].



شکل (۵) سینتیک استخراج ترکیبات فنولی عصاره‌های ریزوم زنجبیل تحت استخراج به کمک فراصوت (UAE) و استخراج سنتی (SSE) در دمای ۳۰°C
 Fig 5. Extraction kinetic of phenolic compounds from ginger rhizome extracts using ultrasound assisted extraction (UAE) and shaker solvent extraction (SSE) at 30°C

استخراج سنتی

۳.۳. مقایسه عملکرد استخراج به کمک فراصوت و استخراج سنتی

برای درک بهتر سینتیک استخراج به کمک فراصوت، عملکرد آن با روش حلالی سنتی در دمای نزدیک به دمای محیط حدود 30°C به مدت ۶۰ min مقایسه شد. همان‌طور که در شکل (۵) نشان داده شده است، در روش فراصوت در ۳۰ دقیقه اول فرایند، استخراج ترکیبات فنولی با شیب تندتری انجام شد به طوری که مرحله استخراج سریع به خوبی مشخص است و در ادامه فرایند تا ۶۰ min افزایش معنی‌داری در میزان ترکیبات فنولی مشاهده نشد. در حالی که، در روش سنتی روند افزایشی خطی با شیبی کمتر از روش فراصوت تا ۴۵ min مشاهده شد و احتمالاً پس از آن وارد مرحله دوم استخراج یعنی استخراج آهسته می‌شود. در ضمن، روش فراصوت در طول ۶۰ min استخراج همواره بازده ترکیبات فنولی بالاتری داشت. این نتایج به وضوح نشان می‌دهد روش فراصوت از نظر بازده و سرعت استخراج نسبت به روش سنتی کارایی بیشتری دارد. این نتایج با مطالعات نتایج تائو و همکاران [۲۰] مطابقت دارد.

۴. نتیجه گیری

نتایج نشان داد افزایش دما اثر مثبتی بر بازده استخراج ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی و نیز فعالیت مهار رادیکال DPPH و قدرت احیاکنندگی عصاره زنجبیل دارد. محدوده زمانی مناسب برای استخراج بالاترین بازده پلی‌فنول‌ها و فلاونوئیدهای ریزوم زنجبیل تعیین شد. به این ترتیب که بیشترین میزان ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی و بالاترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی در ۱۵ دقیقه اول دوره استخراج در مرحله استخراج سریع به دست آمد که مقدار آن با افزایش زمان استخراج بدون تغییر قابل ملاحظه‌ای ثابت ماند یا در معرض تخریب حرارتی در مرحله استخراج آهسته قرار گرفت. نتایج این مطالعه کارایی بالای روش فراصوت را نسبت به روش سنتی برای استخراج عصاره‌های غنی از پلی‌فنول با فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالا تایید می‌کند. همچنین تحقیق حاضر به خوبی نشان داد عصاره زنجبیل می‌تواند به‌عنوان منبع غنی از آنتی‌اکسیدان طبیعی برای بهبود پایداری اکسیداتیو مواد غذایی مصرفی روزانه و نیز حفظ سلامت مصرف کنندگان مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

antioxidant activity in multi-test systems in vitro. *Food Chem.*, 114(3), 1147-1154.

[6] Hammi, K.M., Jdey, A., Abdelly, C., Majdoub, H. and Ksouri, R. (2015). Optimization of ultrasound-assisted extraction of antioxidant compounds from Tunisian *Zizyphus lotus* fruits using response surface methodology. *Food Chem.*, 184, 80-89.

[7] Hossain, M., Barry-Ryan, C., Martin-Diana, A.B. and Brunton, N. (2011). Optimisation of accelerated solvent extraction of antioxidant compounds from rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.), marjoram (*Origanum majorana* L.) and oregano (*Origanum vulgare* L.) using response surface methodology. *Food Chem.*, 126, 339-346.

[8] Morelli, L.L.L. and Prado, M.A. (2012). Extraction optimization for antioxidant phenolic compounds in red grape jam using ultrasound with a response surface methodology. *Ultrason Sonochem.*, 19, 1144-1149.

[9] Setyaningsih, W., Duros, E., Palma, M. and Barroso, C. (2015). Optimization of the ultrasound-assisted extraction of melatonin from red rice (*Oryza sativa*) grains through a response surface methodology. *Applied Acoustics*.

[1] Chen, X., Wang, W., Li, S., Xue, J., Fan, L., Sheng, Z. and Chen, Y. (2010). Optimization of ultrasound-assisted extraction of Lingzhi polysaccharides using response surface methodology and its inhibitory effect on cervical cancer cells. *Carbohydr. Polym.*, 80(3), 944-948.

[2] Diem Do, Q., Angkawijaya, A.E., Tran-Nguyen, P. L., Huynh, L. H., Soetaredjo, F. E., Ismadji, S. and Ju, Y.H. (2014). Effect of extraction solvent on total phenol content, total flavonoid content, and antioxidant activity of *Limnophila aromatica*. *J. Food Drug Anal.*, 22, 296-302.

[3] Chun, S.S., Vattem, D.A., Lin, Y.T. and Shetty, K. (2005). Phenolic antioxidants from clonal oregano (*Origanum vulgare*) with antimicrobial activity against *Helicobacter pylori*. *Process Biochem.*, 40(2), 809-816.

[4] Tohma, H., Gülçin, İ., Bursal, E., Gören, A.C., Alwasel, S.H. and Köksal, E. (2017). Antioxidant activity and phenolic compounds of ginger (*Zingiber officinale* Rosc.) determined by HPLC-MS/MS. *J. Food Meas Charact.*, 11(2), 556-566.

[5] Huang, W., Xue, A., Niu, H., Jia, Z. and Wang, J. (2009). Optimised ultrasonic-assisted extraction of flavonoids from *Folium eucommiae* and evaluation of

- Balm (*Melissa officinalis* L.) leaves, *Food Chem.*, 80, 275-282.
- [22] Bidchol, A.M., Wilfred, A., Abhijna, P. and Harish, R. (2011). Free radical scavenging activity of aqueous and ethanolic extract of *Brassica oleracea* L. var. *italica*. *Food Bioprocess Tech.*, 4(7), 1137-1143.
- [23] Amarowicz, R., Pegg, R. B., Rahimi-Moghaddam, P., Barl, B. and Weil, J. A. (2004). Free-radical scavenging capacity and antioxidant activity of selected plant species from the Canadian prairies. *Food Chem.*, 84(4), 551-562.
- [24] Dey, S. and Rathod, V.K. (2013). Ultrasound assisted extraction of β -carotene from *Spirulina platensis*. *Ultrason Sonochem* 20(1), 271-276.
- [25] Veggi, P.C., Santos, D.T., Fabiano-Tixier, A.S., Le Bourvellec, C., Meireles, M.A.A. and Chemat, F. (2013). Ultrasound-assisted Extraction of Polyphenols from *Jatoba* (*Hymenaea courbaril* L. var. *stilbocarpa*) *Bark*. *Food and Public Health*, 3(3), 119-129.
- [26] Portto, C.D., Porretto, E. and Decorti, D. (2013). Comparison of ultrasound-assisted extraction with conventional extraction methods of oil and polyphenols from grape (*Vitis vinifera* L.) seeds. *Ultrason Sonochem.*, 20, 1076-1080.
- [10] Ali, A.M.A., El-Nour, M.E.M., and Yagi, S.M. (2018). Total phenolic and flavonoid contents and antioxidant activity of ginger (*Zingiber officinale* Rosc.) rhizome, callus and callus treated with some elicitors. *Genet Eng Biotechn N.*, 16(2), 677-682.
- [11] Bharti, I. and Ray, A. (2014). Effect of extraction techniques on total flavonoids, phenolics, and antioxidant activity of different plants extract. *Int. J. Res. Appl.*, 2(1), 41-48.
- [12] Rezaie, M., Farhoosh R., Iranshahi M., Sharif, A. and Golmohamadzadeh, S. (2015). Ultrasonic-assisted extraction of antioxidative compounds from *Bene* (*Pistacia atlantica* subsp. *mutica*) hull using various solvents of different physicochemical properties. *Food Chem.*, 173, 577-583.
- [13] Maghsoudlou, E., Esmailzadeh Kenari, R., and Raftani Amiri, Z. (2016). Evaluation of Antioxidant Activity of Fig (*Ficus carica*) Pulp and Skin Extract and its Application in Enhancing Oxidative Stability of Canola Oil. *J. Food Process Pres.*, 41(4), 1-11
- [14] Sfahlan, A.J., Mahmoodzadeh, A., Hasanzadeh, A., Heidari, R. and Jamei, R. (2009). Antioxidants and antiradicals in almond hull and shell (*Amygdalus communis* L.) as a function of genotype. *Food Chem.*, 115, 529-533.
- [15] Ebrahimzadeh, M.A., Nabavi, S.M., Nabavi, S.F., Bahradian, F. and Bekhradnia, A.R. (2010). Antioxidant and free radical scavenging activity of *H. officinalis* L. var. *angustifolius*, *V. odorata*, *B. hyrcana* and *C. speciosum*. *Pak J. Pharm Sci.*, 23(1), 29-34.
- [16] Altemimi, A., Choudhary, R., Watson, D.G. and Lightfoot, D.A. (2015). Effects of ultrasonic treatments on the polyphenol and antioxidant content of spinach extracts, *Ultrason Sonochem.*, 24, 247-255.
- [17] Silva, E.M., Rogez, H. and Larondelle, Y. (2007). Optimization of extraction of phenolics from *Inga edulis* leaves using response surface methodology. *Sep Purif Technol.*, 55(3), 381-387.
- [18] Bey, M.B., Louaileche, H. and Zemouri, S. (2013). Optimization of phenolic compound recovery and antioxidant activity of light and dark dried fig (*Ficus carica* L.) varieties. *Food Sci. Biotechnol.*, 22(6), 1613-1619.
- [19] Liyana-Pathirana, C. and Shahidi, F. (2005). Optimization of extraction of phenolic compounds from wheat using response surface methodology. *Food Chem.*, 93(1), 47-56.
- [20] Tao, Y., Zhang, Z. and Sun, D.W. (2014). Kinetic modeling of ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from grape marc: influence of acoustic energy density and temperature *Ultrason Sonochem.*, 21(4), 1461-1469.
- [21] Herodez, S.S., Hadolin, M., Skerget, M. and Knez, Z. (2003). Solvent extraction study of antioxidants from

*Research Article***Effect of temperature on the kinetics of phenolic compounds extraction from ginger (*Zingiber officinale*) rhizome using ultrasound bath**Elahe Maghsoudlou¹, Zeynab Raftani Amiri^{2*}

1. Ph.D Student, Dept. of Food science and technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran
2. Associate Prof., Dept. of Food science and technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran.

Abstract

In the present study, the effects of temperatures 40-60 °C and different times 5-60 min on polyphenols and flavonoids extraction kinetics using ultrasound bath were investigated, and The IC₅₀ values of DPPH free radical scavenging activity and reducing power of the extracts were calculated. The results showed that the extraction efficiency of phenolic and flavonoid compounds increased with temperature. Also, the highest yields of these compounds were obtained during the first 15 min of extraction, and after that the slope of the extraction decreased. The highest value of phenolic compounds 165.35± 47.69 and 171.13± 36.56 µg GA/g of DW of extract and flavonoid 9.43± 0.80 and 10.35± 0.93 µg QE/g of DW of extract were obtained at 15 min, and 50 and 60 ° C, respectively, without significant difference. Therefore, the extraction process can be divided into two stages of rapid extraction and slow extraction. Using the kinetic curves, the maximum efficiency of the antioxidant compounds of ginger rhizome can be found with the least effective time and temperature. In addition, the results showed that ultrasound has a significant effect on the extraction of bioactive compounds from ginger rhizome compared to the traditional method.

Keywords: Ultrasound bath, Extraction temperature, Extraction time, Ginger, Phenolic compounds, Antioxidant activity.

* Corresponding author: z.raftani@sanru.ac.ir