تحقیقات مهندسی صنایع غذایی/جلد ۱۹/ شماره ۶۹/پاییز و زمستان ۱۳۹۹/ص ۱۲۲-۱۰۹

سایت مجله: https://fooder.areeo.ac.ir

نوع مقاله: علمی-پژوهشی

مقایسه اثر امواج فراصوت و مایکروویو در استخراج ترکیبات فنلی پوست پیاز قرمز (*Allium cepa* L.) خشک‌شده با آون مادون‌قرمز و آون هوای گرم

علیرضا جعفری[۱] وآیناز علیزاده[۲*]

۱ و ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد؛ و استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۹/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۹/۲/۱۰

چکیده

پوست پیاز قرمز مقادیر بالایی ترکیبات فنلی دارد و از پتانسیل تغذیه‌ای بالایی برخوردار است. هدف از این مطالعه، با توجه به این امر و تولید بالای این ضایعات بیولوژیکی، مقایسه کارآیی دو روش نوین کاربرد امواج فراصوت و امواج مایکروویو در استخراج عصاره فنلی پوست پیاز قرمز و بررسی تأثیر پیش‌تیمار خشک‌کردن با کاربرد آون معمولی و آون مادون‌قرمز است. نتایج حاصل از ارزیابی میزان ترکیبات فنلی کل و میزان آنتوسیانین کل عصاره‌های استخراج شده نشان می‌دهد؛ کاربرد امواج فراصوت، نسبت به روش کاربرد امواج مایکروویو، به‌طور معنی‌داری (P<0.05) باعث افزایش استخراج این ترکیبات می‌شود. پیش‌تیمار خشک‌کردن با آون مادون‌قرمز، نسبت به آون معمولی، نیز به‌طور معنی‌داری (P<0.05) باعث افزایش کارآیی استخراج می‌شود. ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها نیز نشان می‌دهد این میزان فعالیت در عصاره استخراج شده با امواج فراصوت به‌طور معنی‌داری (P<0.05) بیشتر است تا در عصاره استخراج شده با امواج مایکروویو. با توجه به نتایج حاصل، کاربرد امواج فراصوت همراه با پیش‌تیمار خشک‌کردن با آون مادون‌قرمز روشی است کارآمد برای استخراج ترکیبات فنلی پوست پیاز قرمز برای بهره‌مندی از پتانسیل تغذیه‌ای این ضایعات بیولوژیکی به منظور غنی‌سازی مواد غذایی یا کاربرد عصاره استخراجی به‌عنوان آنتی‌اکسیدان طبیعی.

واژه‌های کلیدی

آنتی‌اکسیدان طبیعی، پسماند کشاورزی، ضایعات بیولوژیکی، مواد با ارزش‌افزوده بیشتر

مقدمه

پیاز در سراسر جهان کشت می‌شود و بین سبزی‌ها، بعد از گوجه‌فرنگی، بیشترین تولید را دارد. میزان تولید جهانی پیاز در سال ۲۰۱۴، حدود ۸۹ میلیون تن، نسبت به دهه پیش از آن ۲۵ درصد رشد داشته است (Munir *et al.*, 2018). بر اساس گزارش‌ها، سالانه ۴۵۰۰۰۰ تن پوست پیاز به عنوان ضایعات بیولوژیکی در اتحادیه اروپا تولید می‌شود (Singh *et al.*, 2017). این مقدار بالای تولید پوست پیاز که به دلیل نامناسب بودن برای استفاده در تغذیه دام در محیط‌زیست رها می‌شود، می‌تواند مشکل بزرگ زیست‌محیطی ایجاد کند (Nile *et al.*, 2017). اما پوست پیاز دارای مقادیر بالایی از ترکیبات زیست‌فعال، مانند ترکیبات فنلی و فلاوونوئیدی، است (Campone *et al.*, 2018). این ترکیبات زیست فعال در غلظت‌های پایین،

* نگارنده مسئول: Email: ainaz_alizadeh@hotmail.com

http://doi: 10.22092/fooder.2020.124536.1189

© 2020,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

رادیکال‌های آزاد را با فعالیت بالا مهار می‌کنند و مانع پراکسیداسیون لیپیدها و باعث کاهش فعالیت آنزیم‌های کبد می‌شوند و ویژگی‌های ضد سرطانی و ضد التهابی نیز دارند (Zhu *et al.*, 2018). این ترکیبات با تحریک انسولین بعد از مصرف مواد غذایی باعث کاهش مقدار قابل توجهی از قند خون می‌شوند (Abouzed *et al.*, 2018). بنابراین، توسعه روش‌های مناسب برای استخراج این ترکیبات زیست فعال از ضایعات تولید شده علاوه بر جلوگیری از مشکلات زیست‌محیطی باعث بهره‌گیری از پتانسیل بالای تغذیه‌ای آنها می‌شود (Viera *et al.*, 2017).

روش‌های سنتی استخراج ترکیبات طبیعی گیاهی از جمله تقطیر آبی یا بخار آب و استخراج با حلال آلی معایبی مانند اتلاف ترکیبات فرار، بازده پایین، طولانی بودن زمان استخراج، تخریب ترکیبات غیراشباع و باقی ماندن حلال سمی را به دنبال دارند (Alonso-Carrillo *et al.*, 2017; Albuquerque *et al.*, 2017). این معایب منجر به پیدایش و گسترش روش‌های نوین استخراج مانند روش‌های استفاده از امواج فراصوت و مایکروویو گردیده است (Vinatoru *et al.*, 2017). استخراج با استفاده از امواج فراصوت بر اساس پدیده کاویتاسیون و اثر مخلوط شدن فیزیکی است ((Nipornram *et al.*, 2018). از مزایای استفاده از امواج فراصوت می‌توان به افزایش انتقال جرم بین حلال و بافت گیاه، افزایش نفوذ حلال به درون بافت گیاه، کاهش وابستگی به حلال، استخراج در دمای کمتر، استخراج با سرعت بالا و بازده استخراج بیشتر اشاره کرد (Dixit *et al.*, 2015; Deng *et al.*, 2017). امواج مایکروویو امواج الکترومغناطیسی با فرکانس ۳۰۰-۰/۳ گیگاهرتز هستند و باعث حرارت‌دهی بدون ارتباط با محیط می‌شوند. اساس استخراج با امواج میکروویو، جذب انرژی مایکروویو توسط مولکول‌های قطبی ترکیبات شیمیایی است (Li *et al.*, 2016). استفاده از این روش برای استخراج ترکیبات زیست‌فعال مثل ترکیبات فنلی باعث کاهش زمان استخراج، کاهش استفاده از حلال، افزایش بازده استخراج، افزایش خلوص محصول نهایی و کاهش مصرف انرژی نسبت به روش‌های دیگر می‌شود (Bhuyan *et al.*, 2015; Wizi *et al.*, 2018). در سال‌های اخیر از روش‌های استخراج با استفاده از امواج فراصوت و مایکروویو برای استخراج ترکیبات زیست‌فعال مانند ترکیبات فنلی و آنتوسیانین‌ها از انواع منابع گیاهی استفاده شده است و هر یک از این دو روش استخراج را روش‌هایی کارآمد برای افزایش بازده استخراج ترکیبات زیست‌فعال گزارش کرده‌اند (Chan *et al.*, 2017; Zhang *et al.*, 2017; Rashed *et al.*, 2017; Yu *et al.*, 2017) از طرفی، روش خشک‌کردن قبل از استخراج نیز به‌عنوان روش حرارتی می‌تواند بر مقدار ترکیبات فنلی پوست پیاز مؤثر باشد.

خشک‌کردن میوه‌ها و سبزی‌ها با آون هوای گرم معمول‌ترین روش خشک‌کردن است که مهمترین عیب آن پایین بودن راندمان انرژی و طولانی بودن زمان خشک‌کردن است. آون مادون‌قرمز یکی از ابزارهای نوین در جایگزینی روش‌های معمول خشک‌کردن است که مزایای زیادی نسبت به آون هوای گرم دارد. با تابش امواج مادون‌قرمز بر سطح ماده غذایی و نفوذ آن، انرژی امواج به گرما تبدیل می‌شود. در چنین شرایطی ماده غذایی به سرعت حرارت می‌بینند و با سرد کردن، گرادیان دما سریع کاهش می‌یابد. در چنین شرایطی، جابه‌جایی رطوبت به سرعت اتفاق می‌افتد و در نتیجه سرعت انتقال حرارت، در مقایسه با هنگامی که از آون معمولی استفاده می‌شود، افزایش

می‌یابد که به حفظ ترکیبات زیست‌فعال بیشتر می‌انجامد (Praveen Kumar *et al.*, 2005).

در مطالعه حاضر، با توجه به بالا بودن پتانسیل تغذیه‌ای پوست پیاز قرمز، برای اولین بار از دو روش استخراج با امواج فراصوت و مایکروویو برای استخراج ترکیبات فنلی پوست پیاز قرمز استفاده شد. از آنجا که روش خشک‌کردن قبل از استخراج نیز می‌تواند بر مقدار ترکیبات فنلی پوست پیاز مؤثر باشد، تأثیر دو روش مادون‌قرمز و آون بر افزایش کارآیی دو روش استخراج نیز بررسی شد.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه

پیاز قرمز (*Allium cepa* L.) از بازار محلی شهر تبریز خریداری شد. اتانول، متانول، کربنات سدیم، کلرید پتاسیم، استات سدیم، اسید گالیک، کلرید آهن، DPPH[1]، فولین‌سیوکالتیو TPTZ[2] از شرکت Merck، آلمان تهیه گردید.

روش‌ها

آماده‌سازی نمونه‌ها

برای آماده‌سازی نمونه‌ها، ابتدا پیازهای سالم و بدون آسیب‌دیدگی فیزیکی انتخاب، تمیز و با چاقو پوست‌کنی شدند. پوست‌های پیاز خرد و آماده آسیاب کردن شدند. پوست‌های پیاز در پلیت‌های از قبل توزین شده، به منظور خشک‌کردن، قرار داده شدند.

خشک‌کردن با آون

نمونه‌های خردشده قبل از خشک شدن با آون (مدل بهداد، ساخت ایران) وزن شدند و با توجه به اینکه رطوبت نمونه‌ها در آون با دمای ۵۰ درجه سلسیوس بعد از ۲۴ ساعت ثابت شد، از این دما و زمان برای خشک‌کردن استفاده شد. نمونه‌ها بعد از اتمام مرحله خشک شدن توزین و درون کیسه‌های پلی‌اتیلنی در دمای ۱۸- درجه سلسیوس تا زمان استخراج نگهداری شدند.

خشک‌کردن با آون مادون‌قرمز

برای خشک‌کردن با امواج مادون‌قرمز، نمونه‌ها توزین و در دستگاه خشک‌کن تونلی مجهز به لامپ‌های فروسرخ با توان ۴۰۰ وات، سرعت هوای ۵ متر بر ثانیه و زمان ۴۰ دقیقه (با توجه به ثابت شدن رطوبت نمونه‌ها) قرار داده شدند. بعد از این مرحله، نمونه‌ها از آون مادون‌قرمز خارج و پس از وزن شدن، درون کیسه‌های پلی‌اتیلنی در دمای ۱۸- درجه سلسیوس تا زمان استخراج نگهداری شدند.

استخراج با امواج فراصوت

پودر پوست پیاز خشک‌شده به نسبت ۱ به ۲۰ با اتانول ۷۰ درصد به مدت ۳۰ دقیقه با همزن مغناطیسی (مدل Heidolph، ساخت آلمان) مخلوط و به مدت ۶۰ دقیقه در حمام اولتراسونیک (مدل Parsonic 30s، ساخت ایران) با فرکانس ۳۷ کیلوهرتز و دمای ۳۵ درجه سلسیوس قرار داده شد. عصاره به دست آمده پس از صاف شدن با کاغذ صافی واتمن و پمپ خلأ (مدل Milipore، ساخت فرانسه)، به مدت ۱۵ دقیقه با ۷۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفوژ (مدل PIT320، ساخت کشور ایران) شد. عصاره‌های به دست آمده تا زمان آزمون‌ها در دمای ۱۸- درجه سلسیوس نگهداری شدند. شرایط دما، توان و زمان اعمال شده بر اساس نتایج تحقیقات گزارش شده (Nipornram *et al.*, 2018; Dixit *et al.*, 2015) انتخاب و به کار گرفته شد تا بهترین شرایط استخراج فراهم آید.

استخراج با امواج مایکروویو

برای استخراج با امواج مایکروویو، پودر پوست پیاز خشک‌شده به نسبت ۱ به ۲۰ با اتانول ۷۰

1- Diphenyl Picrylhydrazyl

2- 2,4,6-Tris(2-pyridyl)-s-triazine

درصد به مدت ۳۰ دقیقه با همزن مغناطیسی مخلوط و به مدت ۱ دقیقه در مایکروویو (مدل Parsonic 30s، ساخت ایران) با قدرت ۳۶۰ وات قرار داده شد (شرایط قدرت و زمان اعمال شده بر اساس نتایج مطالعات قبلی در نظر گرفته شد). عصاره به دست آمده پس از صاف شدن با کاغذ صافی واتمن و پمپ خلأ، به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۷۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفوژ شد. عصاره‌های استخراج شده در دمای ۱۸- درجه سلسیوس نگهداری شدند (Albuquerque *et al.*, 2017; Zhang *et al.*, 2017).

در جدول ۱، نحوه نامگذاری نمونه ها، روش خشک‌کردن و روش استخراج برای هر نمونه آورده شده است.

جدول ۱- نمونه‌های استخراج شده

نمونه‌ها	روش خشک‌کردن	روش استخراج
آی‌آر - التراسند	آون مادون‌قرمز	فراصوت
آی‌آر - مایکروویو	آون مادون‌قرمز	مایکروویو
آون - التراسند	آون	فراصوت
آون - مایکروویو	آون	مایکروویو

بررسی میزان ترکیبات فنلی

برای این منظور ابتدا منحنی کالیبراسیون توسط مقادیر مختلف اسید گالیک بر حسب میلی‌گرم رسم شد. پس از آن ۱ میلی‌لیتر از عصاره‌های استخراج شده با ۱ میلی‌لیتر محلول ۲ درصد کربنات سدیم و ۲۰۰ میکرولیتر معرف فولین‌سیوکالتیو مخلوط و سانتریفوژ شد. جذب نمونه‌ها پس از ۳۰ دقیقه نگهداری در دمای محیط، با اسپکتروفتومتر نور مرئی (مدل Ultrospec 2000 ساخت انگلیس) در طول موج ۷۵۰ نانومتر خوانده شد. با قرار دادن نتایج حاصل در منحنی کالیبراسیون، میزان فنل کل موجود در نمونه‌ها بر حسب میلی‌گرم، اسید گالیک به دست آمد (Mokrani & Madani, 2016).

بررسی میزان آنتوسیانین کل

مقدار کل آنتوسیانین در عصاره‌های استخراج شده با استفاده از روش اختلاف جذب در pH های مختلف (۱ و ۴/۵) توسط اسپکتروفتومتر نور مرئی در دو طول موج ۵۲۰ و ۷۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. میزان آنتوسیانین کل از رابطه ۱ بر حسب میلی‌گرم سیانیدین ۳-گلیکوزید بر لیتر محاسبه شد (Ravi *et al.*,2018):

$$\text{میزان آنتوسیانین کل} = \frac{A \times Mw \times Df \times 1000}{\varepsilon \times L} \quad (۱)$$

که در آن،

A = جذب کل؛ Mw = جرم مولکولی سیانیدین ۳-گلیکوزید (۴۴۹/۲ گرم بر مول)؛ D_f = فاکتور رقت؛ ε = جذب مولی سیانیدین ۳-گلیکوزید (۲۶۹۰۰)؛ و L = طول سل.

بررسی میزان فعالیت مهار رادیکال آزاد DPPH

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی[1] (AOC) نمونه‌ها در شرایط استاندارد با استفاده از روش DPPH تعیین گردید. محلول اتانولی حاوی DPPH (۰/۰۱ میلی‌مولار) تهیه و به نسبت ۰/۱ به ۳/۹ با نمونه به

1- Antioxidant Capacity

دست آمده مخلوط گردید و سپس تغییرات جذب بعد از ۴۵ دقیقه نگهداری در تاریکی در طول موج ۵۱۷ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر نور مرئی خوانده شد و با قرار دادن مقادیر به دست آمده در رابطه ۲ درصد بازدارندگی DPPH به دست آمد (Mishra *et al.*, 2012)

$$\text{درصد بازدارندگی} = \frac{(\text{جذب نمونه} - \text{جذب کنترل})}{\text{جذب کنترل}} \times ۱۰۰ \quad (۲)$$

بررسی ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بر اساس احیای آهن

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بر اساس احیای آهن به روش FRAP[1] ارزیابی شد (Benzie & Strain, 1999). برای تهیه محلول کار، ۱۰ میلی‌لیتر بافر استات (pH =۳/۶) با ۱ میلی‌لیتر از ترکیب TPTZ (محلول در اسیدکلریدریک) مخلوط شده، سپس به محلول فوق ۱ میلی‌مول کلرید آهن اضافه شد. در نهایت ۲۰۰ میکرولیتر از عصاره رقیق شده با اتانول ۷۰ درصد با محلول تهیه‌شده مخلوط و در انکوباتور با دمای ۳۷ درجه سلسیوس به مدت ۳۰ دقیقه قرار داده شد. از محلول تهیه‌شده FRAP به‌عنوان استاندارد استفاده و جذب در ۵۹۳ نانومتر خوانده شد. سرانجام فعالیت احیاکنندگی نمونه‌های عصاره با استفاده از منحنی استاندارد بر حسب میکرومول آهن بر میلی‌لیتر عصاره محاسبه شد.

تجزیه و تحلیل آماری

تمامی آزمون‌ها در سه تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شدند. تحلیل و ارزیابی (ANOVA) با استفاده از مدل خطی (G.L.M) نرم‌افزار آماری SPSS در سطح احتمال ۹۵ درصد ($P<0.05$) و آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای تأیید وجود اختلاف بین میانگین‌ها پی گرفته شد.

نتایج و بحث

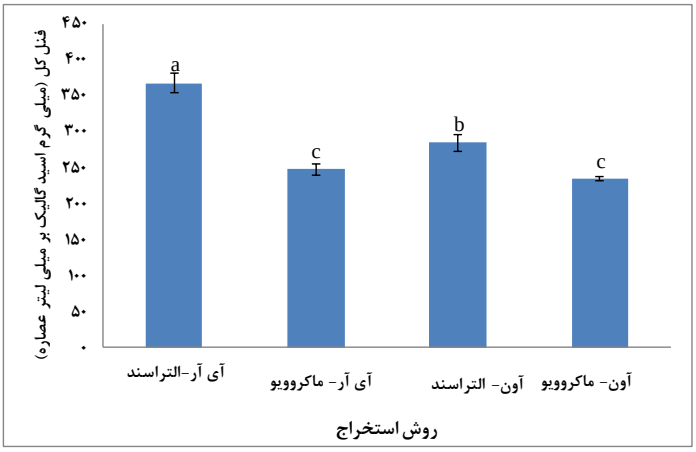
تعیین میزان ترکیبات فنلی

شکل ۱، نتایج حاصل از ارزیابی میزان ترکیبات فنلی کل عصاره‌های استخراج شده را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به دست آمده، اختلاف بین نمونه‌های استخراج شده به دو روش فراصوت و مایکروویو معنی‌دار ($P<0.05$) است. میزان فنل کل نمونه‌های استخراج شده با امواج فراصوت بیشتر از میزان فنل کل نمونه‌های استخراج شده با امواج مایکروویو است. امواج فراصوت باعث تولید فشار منفی و ایجاد حباب‌های زیاد در مایعات می‌شود. این حباب‌ها بزرگ‌تر می‌شوند و در نهایت می‌ترکند. در اثر ترکیدن حباب‌های کاویتاسیون که به‌صورت نامتقارن هستند، در نزدیکی مرز جامد میکروجت‌های سریع در مایعات تولید می‌شوند (Vinatoru *et al.*, 2017). این میکروجت‌ها بر سطح جامد مؤثرند و باعث افزایش انتقال جرم و نفوذ سلولی و در نتیجه باعث افزایش بازده استخراج می‌شوند (Wizi *et al.*, 2017). در راستای این نتایج، ژانگ و همکاران (Zhang *et al.*, 2017) در پژوهشی با هدف استخراج عصار زغال‌اخته با کاربرد امواج فراصوت و مایکروویو، امواج فراصوت را در استخراج ترکیبات فنلی مؤثرتر از امواج مایکروویو گزارش کردند. راوی و همکاران (Ravi *et al.*, 2018) نیز میزان فنل کل عصاره استخراج از تفاله توت‌فرنگی با امواج فراصوت را بیشتر گزارش کردند تا میزان فنل کل عصاره استخراج شده با امواج مایکروویو.

روش خشک‌کردن نیز در میزان فنل کل نمونه‌های استخراج شده با امواج فراصوت اثر معنی‌داری ($P<0.05$) داشته ولی در میزان فنل کل نمونه‌های استخراج شده با امواج مایکروویو اثر معنی‌داری ($P<0.05$) نداشته است.

1- Ferric Reducing Antioxidant Power

در روش خشک‌کردن مادون‌قرمز، با توجه به کاهش زمان خشک‌کردن از ۲۴ ساعت به ۴۰ دقیقه نسبت به خشک‌کردن در آون، از اکسیداسیون و تخریب برخی از ترکیبات فنلی حساس به حرارت (آنتوسیانین‌ها) جلوگیری شده است.



شکل ۱- میزان ترکیبات فنلی کل عصاره‌ها (میانگین ± انحراف معیار).
حروف متفاوت در هر ستون به معنای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

تعیین میزان آنتوسیانین کل

نتایج حاصل از ارزیابی میزان آنتوسیانین کل نمونه‌ها در شکل ۲ قابل مشاهده است. روش استخراج بر میزان آنتوسیانین کل نمونه‌ها اثر معنی‌داری ($P<0.05$) دارد و میزان آنتوسیانین کل نمونه‌های استخراج شده با امواج فراصوت بیشتر از میزان آنتوسیانین کل نمونه‌های استخراج شده با امواج مایکروویو است؛ همچنین اثر پیش‌تیمار خشک‌کردن نیز بر میزان آنتوسیانین کل نمونه‌های استخراج شده با امواج فراصوت معنی‌دار ($P<0.05$) است و خشک‌کردن با آون مادون‌قرمز باعث افزایش میزان آنتوسیانین کل عصاره‌های استخراج شده با امواج فراصوت شده است. با توجه به این امر، بیشترین میزان آنتوسیانین کل مربوط به نمونه آی‌آر- التراسند و کمترین آن مربوط به نمونه‌های آی‌آر- مایکروویو و آون- مایکروویو است. بیشتر بودن مقدار آنتوسیانین کل عصاره استخراج شده به روش فراصوت نسبت به روش مایکروویو می‌تواند به علت کارآیی بالای امواج فراصوت در استخراج ترکیبات حساس به حرارت مانند آنتوسیانین‌ها از پودر پوست پیاز باشد. امواج فراصوت در مایعات و گازها به‌صورت طولی منتشر می‌شوند و فازهای متناوبی از تراکم و انبساط ایجاد می‌کنند. تغییر فشار محیط سبب ایجاد حفره و ایجاد حباب‌های گاز می‌گردد. این روند در چند دوره تراکم و انبساط ادامه می‌یابد تا اینکه حباب‌ها به بیشینه حجم برسند. سرانجام، انفجار موجب بالا رفتن دمای موضعی یا نقاط داغ با دمای بالاتر از ۵۵۰۰ درجه سلسیوس و فشار ۵۰۰۰۰ کیلو پاسکال می‌شود و اثر نیروی برشی و تلاطم سیال در ناحیه حفره مشاهده می‌گردد (Liu *et al.*, 2017). این پدیده باعث افزایش تخریب دیواره‌های سلولی و ورود ترکیبات فنلی به درون حلال می‌شود بی‌آنکه کمترین آسیب وارد آید و آنتوسیانین‌های پوست پیاز قرمز تجزیه

شوند. باکز و همکاران (Backes *et al.*, 2018) نیز روش استخراج با امواج فراصوت را نسبت به امواج مایکروویو، روشی بهتر برای افزایش کارآیی استخراج آنتوسیانین‌ها می‌دانند؛ میزان آنتوسیانین کل عصاره پوست انجیر سیاه استخراج شده با امواج فراصوت در این گزارش بیشتر از میزان آنتوسیانین کل عصاره استخراج شده با امواج مایکروویو بود. بررسی‌های راوی و همکاران (Ravi *et al.*, 2018) نیز نشان می‌دهد؛ میزان آنتوسیانین کل عصاره استخراج شده از تفاله توت‌فرنگی با امواج فراصوت به طور معنی‌داری بیشتر از میزان آنتوسیانین کل عصاره استخراج شده از نمونه استخراج شده با امواج مایکروویو است. نتایج حاصل از پژوهش ژانگ و همکاران (Zhang *et al.*, 2017) نیز نشان می‌دهد؛ کاربرد امواج فراصوت برای استخراج آنتوسیانین‌ها روشی کارآمدتر از کاربرد امواج مایکروویو است. در مورد اثر پیش‌تیمار خشک‌کردن نیز گفتنی است که امواج مادون‌قرمز بر اثر آب موجود در پوست پیاز جذب می‌شوند و آب موجود در بافت گیاه بخار می‌شود. با افزایش فشار بخار، رطوبت خارج و در نتیجه خشک‌کردن حاصل می‌آید؛ بنابراین زمان خشک‌کردن در روش خشک‌کردن با آون مادون‌قرمز بسیار کوتاه‌تر از زمان خشک‌کردن با آون است. در نتیجه ترکیبات فنلی، به‌خصوص آنتوسیانین‌ها، زمان کوتاه‌تری در معرض حرارت قرار می‌گیرند و اکسیداسیون و تخریب این ترکیبات کمتر اتفاق می‌افتد و میزان بیشتری از این ترکیبات بازیابی می‌شود.

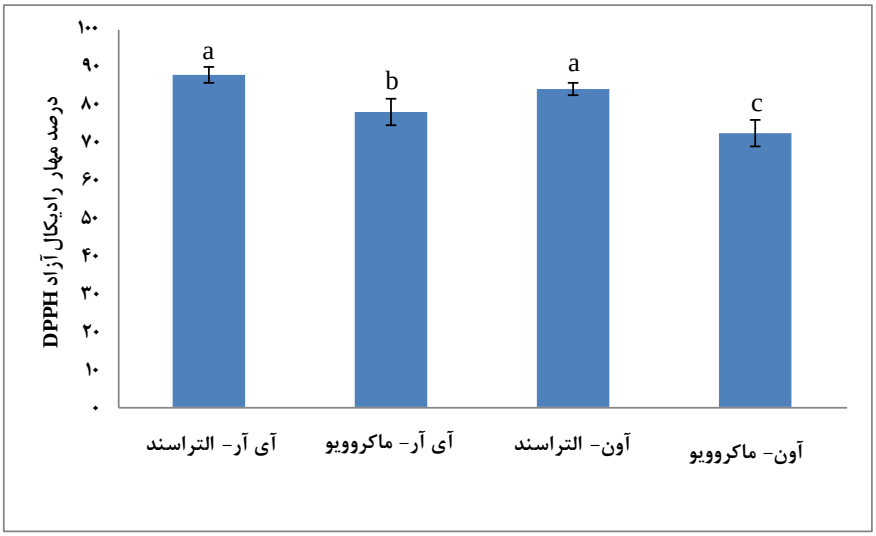
شکل ۲- میزان آنتوسیانین کل عصاره‌ها (میانگین ± انحراف معیار).
حروف متفاوت در هر ستون به معنای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

تعیین میزان مهار رادیکال آزاد

نتایج حاصل از ارزیابی میزان مهار رادیکال آزاد DPPH (شکل ۳) نشان می‌دهد فعالیت بازدارندگی عصاره‌های استخراج شده به روش فراصوت به طور معنی‌داری ($P<0.05$) بیشتر است تا عصاره‌های استخراج شده به روش مایکروویو. پیش‌تیمار خشک‌کردن نیز بر میزان فعالیت مهار رادیکال آزاد عصاره‌های استخراج شده به روش مایکروویو به طور

معنی‌داری ($P<0.05$) مؤثر است به طوری که فعالیت نمونه آی‌آر- مایکروویو بیشتر از فعالیت نمونه آون- مایکروویو است. با این حال، پیش‌تیمار خشک‌کردن بر نمونه‌های استخراج شده با امواج فراصوت اثر معنی‌داری ($P<0.05$) ندارد. نتایج حاصل از این آزمون تصدیق‌کننده نتایج حاصل از ارزیابی میزان فنل کل و آنتوسیانین کل نمونه‌ها است. کوئرستین، یکی از عمده‌ترین فلاوونوئیدهای پوست پیاز قرمز، نسبت به حرارت مقاوم است و استفاده از توان و زمان بیشتر می‌تواند باعث افزایش استخراج این ترکیب فنلی و در نتیجه افزایش میزان درصد مهار رادیکال آزاد DPPH شود (Viera *et al.*, 2017)؛ اما گفتنی است که آنتوسیانین‌های پوست پیاز قرمز که یکی از مهم‌ترین ترکیبات آنتی‌اکسیدانی آن هستند، نسبت به حرارت حساس‌اند (Munir *et al.*, 2018) و فرآیندهای حرارتی مانند استخراج با امواج مایکروویو و پیش‌تیمار با آون ۵۰ درجه سلسیوس طی ۲۴ ساعت که فرآیندی حرارتی با زمان و دمای بالا است، باعث اکسیداسیون و تخریب آنتوسیانین‌های پوست پیاز قرمز و در نتیجه باعث کاهش احیای رادیکال آزاد DPPH می‌شود. از طرفی دیگر، 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 (Ravi *et al.*, 2018)؛ در همین زمینه، چوین و همکاران (Chuyen *et al.*, 2018) در گزارشی که از بررسی خاصیت آنتی‌اکسیدانی عصاره استخراج شده از پوست کدوی خاردار دادند، امواج فراصوت را نسبت به امواج مایکروویو روشی با کارآیی بالا در استخراج ترکیبات آنتی‌اکسیدانی دانستند.

نایاک و همکاران (Nayak *et al.*, 2015). در مطالعه‌ای با هدف استخراج ترکیبات فنلی از پوست مرکبات با روش‌های نوین استخراج، میزان فعالیت مهار رادیکال DPPH نمونه‌های استخراج شده با امواج فراصوت را بیشتر از میزان فعالیت مهار رادیکال DPPH نمونه‌های استخراج شده با سایر روش‌ها، از جمله روش کاربرد امواج مایکروویو، گزارش کردند.



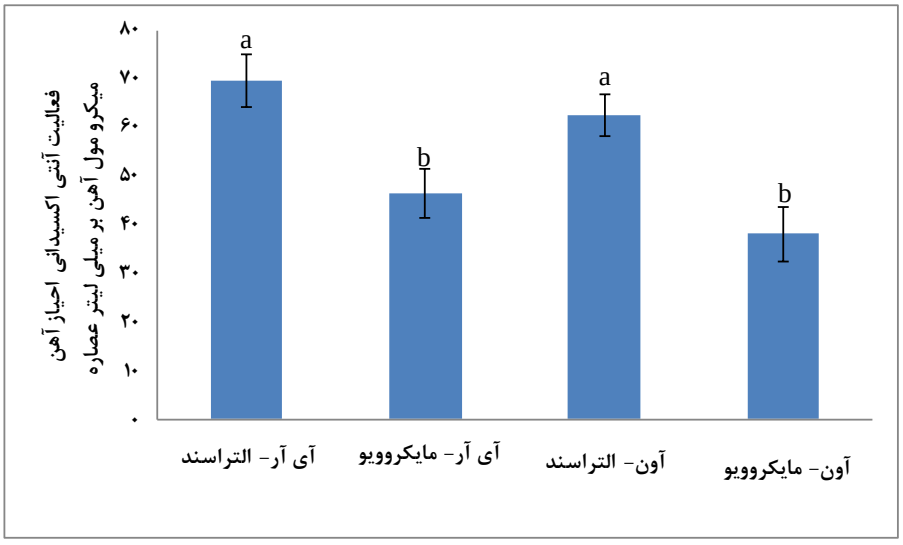
شکل ۳- میزان فعالیت مهار رادیکال DPPH کل عصاره(میانگین ± انحراف معیار).
حروف متفاوت در هر ستون به معنای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

تعیین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بر اساس احیای آهن

نتایج حاصل از این آزمون که در شکل ۴ مشهود است، نشان می‌دهد بیشترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بر اساس احیای آهن مربوط به نمونه‌های استخراج شده با امواج فراصوت است ولی روش پیش‌تیمار خشک‌کردن بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌های استخراج شده اثر معنی‌داری ($P<0.05$) نداشته است.

با توجه به اینکه فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره پوست پیاز قرمز ناشی از ترکیبات فنلی از جمله آنتوسیانین‌ها است، این نتایج نیز مانند نتایج حاصل از آزمون تعیین میزان مهار رادیکال آزاد DPPH تصدیق‌کننده نتایج حاصل از آزمون‌های تعیین فنل کل و آنتوسیانین کل است.

نتایج گزارش شده از مطالعات قبلی (Dhanani *et al.*, 2017; Durovic *et al.*, 2018) نیز روش استخراج با امواج فراصوت، در مقایسه با سایر روش‌های استخراج را روشی کارآمد برای استخراج ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مثل ترکیبات فنلی، آنتوسیانین‌ها، کاروتنوئیدها و فلاوونوئیدها دانسته‌اند. ژائو و همکاران (Zhao *et al.*, 2017) میزان فعالیت احیای آهن عصاره‌های استخراج شده با امواج فراصوت از گیاه *Millettia speciose* را به طور معنی‌داری بیشتر گزارش کردند تا با روش کاربرد امواج مایکروویو.



شکل ٤- میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی احیای آهن کل عصاره(میانگین ± انحراف معیار).
حروف متفاوت در هر ستون به معنای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق نشان می‌دهد میزان ترکیبات فنلی، آنتوسیانین کل عصاره‌های استخراج شده با امواج فراصوت به طور معنی‌داری بیشتر از میزان ترکیبات فنلی، آنتوسیانین کل عصاره‌های استخراج شده با امواج مایکروویو است. نتایج حاصل از دو آزمون بررسی فعالیت آنتی‌اکسیدانی (روش‌های DPPH و FRAP) نیز تصدیق‌کننده کارآیی بالای

امواج فراصوت نسبت به امواج مایکروویو در استخراج عصاره پوست پیاز قرمز است؛ همچنین، نتایج بررسی دو روش خشک‌کردن با آون مادون‌قرمز و آون معمولی برای پیش‌تیمار پوست پیاز قرمز قبل از استخراج نشان می‌دهد استفاده از آون مادون‌قرمز نسبت به آون معمولی باعث افزایش معنی‌دار استخراج ترکیبات فنلی پوست پیاز قرمز می‌شود. با توجه به این نتایج می‌توان گفت که کاربرد امواج فراصوت نسبت به امواج مایکروویو روشی کارآمد برای استخراج ترکیبات زیست‌فعال پوست پیاز قرمز است و این روش نوین استخراج باعث بهره‌گیری از پتانسیل تغذیه‌ای این ضایعات گیاهی و رفع مشکل زیست‌محیطی ناشی از دفع آنها می‌شود.

تعارض منافع

نویسندگان در انتشار این مقاله از اخلاق نشر تبعیت کرده و از موارد سوء اخلاق از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پرهیز نموده‌اند و منافعی تجاری در این راستا وجود ندارد.

مراجع

Abouzed, T. K., Contreras, M. del M., Sadek, K. M., Shukry, M., H. Abdelhady, D., Gouda, W. M., Abdo, W., Nasr, N.E., Mekky, R.H., Segura- Carretro, A., Kahilo, K.A.A. and Abdel-Sattar, E. 2018. Red onion scales ameliorated streptozotocin-induced diabetes and diabetic nephropathy in Wistar rats in relation to their metabolite fingerprint. Diabetes Research and Clinical Practice. 140, 253–264.

Albuquerque, B. R., Prieto, M. A., Barreiro, M. F., Rodrigues, A., Curran, T. P., Barros, L., and Ferreira, I. C. F. R. 2017. Catechin-based extract optimization obtained from Arbutus unedo L. fruits using maceration/microwave/ultrasound extraction techniques. Industrial Crops and Products. 95, 404–415.

Alonso-Carrillo, N., Aguilar-Santamaría, M. de los Á., Vernon-Carter, E. J., Jiménez-Alvarado, R., Cruz-Sosa, F. and Román-Guerrero, A. 2017. 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. 103, 213–221.

Backes, E., Pereira, C., Barros, L., Prieto, M. A., Genena, A. K., Barreiro, M. F. and Ferreira, I. C. F. R. 2018. Recovery of bioactive anthocyanin pigments from *Ficus carica* L. peel by heat, microwave, and ultrasound based extraction techniques. Food Research International. 113, 197-209.

Benzie, I. F. F. and Strain, J. J. 1999. Ferric reducing/antioxidant power assay: Direct measure of total antioxidant activity of biological fluids and modified version for simultaneous measurement of total antioxidant power and ascorbic acid concentration. Methods in Enzymology. 299, 15–27.

Bhuyan, D. J., Van Vuong, Q., Chalmers, A. C., van Altena, I. A., Bowyer, M. C. and Scarlett, C. J. 2015. Microwave-assisted extraction of Eucalyptus robusta leaf for the optimal yield of total phenolic compounds. Industrial Crops and Products. 69, 290–299.

Campone, L., Celano, R., Lisa Piccinelli, A., Pagano, I., Carabetta, S., sanzo, R. di. and Rastrelli, L. 2018. Response surface methodology to optimize supercritical carbon dioxide/co-solvent extraction of brown onion skin by-product as source of nutraceutical compounds. Food Chemistry. 269, 495-502.

Chan, C. H., See, T. Y., Yusoff, R., Ngoh, G. C. and Kow, K. W. 2017. Extraction of bioactives from Orthosiphon stamineus using microwave and ultrasound-assisted techniques: Process optimization and scale up. Food Chemistry. 221, 1382–1387.

Chuyen, H. V., Nguyen, M. H., Roach, P. D., Golding, J. B. and Parks, S. E. 2018. Microwave-assisted extraction and ultrasound-assisted extraction for recovering carotenoids from Gac peel and their effects on antioxidant capacity of the extracts. Food Science and Nutrition. 6(1): 189–196.

Deng, J., Xu, Z., Xiang, C., Liu, J., Zhou, L., Li, T., Ding, C. 2017. Comparative evaluation of maceration and ultrasonic-assisted extraction of phenolic compounds from fresh olives. Ultrasonics Sonochemistry. 37: 328–334.

Dhanani, T., Shah, S., Gajbhiye, N. A. and Kumar, S. 2017. Effect of extraction methods on yield, phytochemical constituents and antioxidant activity of *Withania somnifera*. Arabian Journal of Chemistry. 10, S1193–S1199.

Dixit, N., Vaibhav, K., Pandey, R. S., Jain, U. K., Katare, O. P., Katyal, A. and Madan, J. 2015. Improved cisplatin delivery in cervical cancer cells by utilizing folate-grafted non-aggregated gelatin nanoparticles. Biomedicine and Pharmacotherapy. 69, 1–10.

Durović, S., Nikolić, B., Luković, N., Jovanović, J., Stefanović, A., Šekuljica, N. and Knežević-Jugović, Z. 2018. The impact of high-power ultrasound and microwave on the phenolic acid profile and antioxidant activity of the extract from yellow soybean seeds. Industrial Crops and Products. 122, 223–231.

Li, X., Chen, F., Li, S., Jia, J., Gu, H. and Yang, L. 2016. An efficient homogenate-microwave-assisted extraction of flavonols and anthocyanins from blackcurrant marc: Optimization using combination of Plackett-Burman design and Box-Behnken design. Industrial Crops and Products. 94, 834–847.

Liu, Z., Mo, K., Fei, S., Zu, Y. and Yang, L. 2017. Efficient approach for the extraction of proanthocyanidins from Cinnamomum longepaniculatum leaves using ultrasonic irradiation and an evaluation of their inhibition activity on digestive enzymes and antioxidant activity in vitro. Journal of Separation Science. 40(15): 3100–3113.

Mishra, K., Ojha, H. and Chaudhury, N. K. 2012. Estimation of antiradical properties of antioxidants using DPPH - assay: A critical review and results. Food Chemistry. 130(4): 1036–1043.

Munir, M. T., Kheirkhah, H., Baroutian, S., Quek, S. Y. and Young, B. R. 2018. Subcritical water extraction of bioactive compounds from waste onion skin. Journal of Cleaner Production. 183, 487–494.

Mokrani, A. and Madani, K. 2016. Effect of solvent, time and temperature on the extraction of phenolic compounds and antioxidant capacity of peach (*Prunus persica* L.) fruit. Separation and Purification Technology. 162, 68–76.

Nayak, B., Dahmoune, F., Moussi, K., Remini, H., Dairi, S., Aoun, O. and Khodir, M. 2015. Comparison of microwave, ultrasound and accelerated-assisted solvent extraction for recovery of polyphenols from Citrus sinensis peels. Food Chemistry. 187, 507-516.

Nile, S. H., Nile, A. S., Keum, Y. S. and Sharma, K. 2017. Utilization of quercetin and quercetin glycosides from onion (*Allium cepa* L.) solid waste as an antioxidant, urease and xanthine oxidase inhibitors. Food Chemistry. 235, 119–126.

Nipornram, S., Tochampa, W., Rattanatraiwong, P. and Singanusong, R. 2018. Optimization of low power ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from mandarin (*Citrus reticulata Blanco* cv. Sainampueng) peel. Food Chemistry. 241, 338–345.

Praveen Kumar, D. G., Umesh Hebbar, H., Sukumar, D. and Ramesh, M. N. 2005. Infrared and hot-air drying of onions. Journal of Food Processing and Preservation. 29(2): 132-150.

Rashed, M. M. A., Tong, Q., Nagi, A., Li, J. P., Khan, N. U., Chen, L. and Bakry, A. M. 2017. Isolation of essential oil from *Lavandula angustifolia* by using ultrasonic-microwave assisted method preceded by enzymolysis treatment, and assessment of its biological activities. Industrial Crops and Products. 100, 236–245.

Ravi, H. K., Breil, C., Vian, M. A., Chemat, F., and Venskutonis, P. R. 2018. Biorefining of Bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) Pomace Using Microwave Hydrodiffusion and Gravity, Ultrasound-Assisted, and Bead-Milling Extraction. ACS Sustainable Chemistry and Engineering. 6(3): 4185–4193.

Singh, V., Krishan, P. and Shri, R. 2017. Extraction of antioxidant phytoconstituents from onion waste. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 6(1): 502–505.

Viera, V. B., Piovesan, N., Rodrigues, J. B., Mello, R. de O., Prestes, R. C., dos Santos, R. C. V. and Kubota, E. H. 2017. Extraction of phenolic compounds and evaluation of the antioxidant and antimicrobial capacity of red onion skin (*Allium cepa* L.). International Food Research Journal. 24(3): 990–999.

Vinatoru, M., Mason, T. J. and Calinescu, I. 2017. Ultrasonically assisted extraction (UAE) and microwave assisted extraction (MAE) of functional compounds from plant materials. TrAC - Trends in Analytical Chemistry. 97, 159–178.

Wizi, J., Wang, L., Hou, X., Tao, Y., Ma, B. and Yang, Y. 2018. Ultrasound-microwave assisted extraction of natural colorants from sorghum husk with different solvents. Industrial Crops and Products. 120, 203–213.

Yu, Q., Li, C., Duan, Z., Liu, B., Duan, W. and Shang, F. 2017. Ultrasonic microwave-assisted extraction of polyphenols, flavonoids, triterpenoids, and Vitamin C from *Clinacanthus nutans*. Czech Journal of Food Sciences. 35(1): 89–94.

Zeković, Z., Pintać, D., Majkić, T., Vidović, S., Mimica-Dukić, N., Teslić, N. and Pavlić, B. 2017. Utilization of sage by-products as raw material for antioxidants recovery—Ultrasound versus microwave-assisted extraction. Industrial Crops and Products. 99, 49–59.

Zhang, H., Tchabo, W. and Ma, Y. 2017. Quality of extracts from blueberry pomace by high hydrostatic pressure, ultrasonic, microwave and heating extraction: A comparison study. Emirates Journal of Food and Agriculture. 29(10): 815–819.

Zhao, Z., Liu, P., Wang, S. and Ma, S. 2017. Optimization of ultrasound, microwave and Soxhlet extraction of flavonoids from *Millettia speciosa* Champ and evaluation of antioxidant activities in vitro. Journal of Food Measurement and Characterization. 11(4): 1947–1958.

Zhu, D. Y., Ma, Y. L., Thakur, K., Wang, C. H., Wang, H., Ren, Y. F. and Wei, Z. J. 2018. Effects of extraction methods on the rheological properties of polysaccharides from onion (*Allium cepa* L.). International Journal of Biological Macromolecules. 112, 22-32.

Food Engineering Research/Vol.19/No.69/Autumn and Winter 2020/P: 109-122

Journal Home page: https://fooder.areeo.ac.ir/

Original Research

Ultrasound and Microwave Assisted Extraction of Phenolic Compounds from Red Onion (*Allium Cepa* L.) Skin Dried with Infrared Oven

A. Jafari and A. Alizadeh*

* Corresponding Author: Assistant Profosser, Department of food science and technology, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Pasdaran Hwy., Tabriz, Iran. Email: ainaz_alizadeh@hotmail.com
Received: 14 December 2018, Accepted: 29 April 2020
http://doi: 10.22092/fooder.2020.124536.1189

Abstract

Food industry produces a large amount of onion skin wastes. Due to the high amount of bioactive compounds found in such by-product, developing a method for the recovery of these biological lesions is important to benefit from them as a source of biologically active compounds. The aims of this research were to compare the two methods, ultrasound and microwave, for extraction the phenolic compounds of red onion skin wastes and also to investigate the drying pre-treatment with conventional or infrared oven. The investigation the total phenolic compounds and anthocyanin content of extracts showed that use of ultrasonic method caused significantly ($p<0.05$) enhanced extraction efficacy of phenolic compounds and anthocyanins. Additionally, drying by infrared oven caused significantly ($p<0.05$) increase in total phenolic compounds and anthocyanins extraction. The antioxidant activity analysis of extracts showed that antioxidant capacity of samples extracted by ultrasonic method were significantly ($p<0.05$) higher than that extracted by microwave method. As a result, the ultrasonic extraction by pretreatment applying infrared oven may be recomended as a suitable technique to extract phenolic compounds found in red onion skins to benefit from the nutritional potential of these biological wastes.

Keywords: Agricultural by- products, Biological wastes, Natural Antioxidant, Value Added Materials