Karafan

Quarterly Scientific Journal of Technical and Vocational University

Summer 2020, Vol. 17, No. 2, p. 135-150

Journal homepage: https://karafan.tvu.ac.ir/?lang=en

TVU

doi:10.48301/KSSA.2021.119226 dor:20.1001.1.23829796.1399.17.2.11.5

Original Research

E-ISSN: 2538-4430
ISSN: 2382-9796

The Effect of Solvent Type, Time and Extraction Method on the Chemical Compositions and Antioxidant Activity of Eggplant Peel Extract

Shima Kaveh[1], Alireza Sadeghi Mahoonak[2*], Khashayar Sarabandi[3]

[1]PhD Candidate of Food Chemistry, Faculty of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

[2]Professor, Faculty of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

[3]PhD Candidate of Food Chemistry, Faculty of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

ARTICLE INFO

Received: 02.09.2020
Revised: 07.29.2020
Accepted: 09.02.2020

Keyword:
Anthocyanin
Eggplant peel
Ultrasound
Antioxidant activity

***Corresponding Author:**
Alireza Sadeghi Mahoonak
Email: *sadeghiaz@yahoo.com*

ABSTRACT

Antioxidants are compounds that protect the body against free radical damages. Eggplants are one of the most common vegetables consumed all around the world, containing large amounts of bioactive compounds with medicinal properties. The aim of this study was to investigate the effect of solvent type (80% ethanol and 80% methanol and water), extraction method (ultrasonic bath and soaking) and extraction time (20, 60 and 80 minutes) on the amount of phenolic, flavonoids and anthocyanin compounds and DPPH radical scavenging activity, Fe reducing power and total antioxidant capacity of eggplant peel extracts. The results showed that 80% ethanol was the best solvent for extraction of phenolic compounds (86.87 mg gallic acid/g), whereas the maximum flavonoids content (18.23 mg rutin/g) was extracted using 80% methanol. The anthocyanin content of the extracts varied in the range of 0.8-4.33 (mg cyanidine/g), and the use of ultrasound significantly increased the anthocyanin extraction. The DPPH radical scavenging activity and Fe reducing power of the ultrasound extracts were more than the extracts obtained from soaking method. The maximum DPPH radical scavenging activity (51.96%) and Fe reducing power (2.46, absorption at 700 nm) were related to aqueous and methanol extracts, respectively and derived from ultrasonic bath method and extraction time of 80 minutes. The maximum total antioxidant capacity (2.23 and 2.27, absorption at 695 nm) was related to methanolic extracts obtained from ultrasonic bath and extraction time of 60 and 80 minutes. As a result, utilization of ultrasound is a useful method for extraction of bioactive compounds present in eggplant peel. In addition, the obtained natural antioxidant compounds can be used in food formulations as alternatives to synthetic antioxidants and functional foods.

© 2020 Technical and Vocational University, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

کارافن
فصلنامه علمی دانشگاه فنی و حرفه‌ای
تابستان ۱۳۹۹، دوره ۱۷، شماره ۲، ۱۵۰-۱۳۵
آدرس نشریه: https://karafan.tvu.ac.ir/
doi:10.48301/KSSA.2021.119226
20.1001.1.23829796.1399.17.2.11.5
مقاله پژوهشی
شاپای الکترونیکی: ۲۵۳۸-۴۴۳۰
شاپای چاپی: ۲۳۸۲-۹۷۹۶

تأثیر نوع حلال، زمان و روش استخراج بر ترکیبات شیمیایی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره پوست بادمجان

شیما کاوه[۱]، علیرضا صادقی ماهونک[۲*]، خشایار سرابندی[۳]

۱- دانشجوی دکتری شیمی مواد غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.
۲- استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.
۳- دانش‌آموخته دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.

اطلاعات مقاله

دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۱/۲۰
بازنگری مقاله: ۱۳۹۹/۰۵/۰۸
پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۶/۰۱

کلید واژگان:
آنتوسیانین
پوست بادمجان
فراصوت
فعالیت آنتی‌اکسیدانی

***نویسنده مسئول:** علیرضا صادقی ماهونک
پست الکترونیکی:
sadeghiaz@yahoo.com

چکیده

آنتی‌اکسیدان‌ها، ترکیباتی هستند که از بدن در برابر آسیب‌های ناشی از رادیکال‌های آزاد محافظت می‌کنند. بادمجان، از رایج‌ترین سبزیجات مورد استفاده در سراسر جهان است که حاوی مقدار زیادی ترکیبات زیست‌فعال با خواص دارویی می‌باشد. هدف از این پژوهش بررسی تاثیر نوع حلال (اتانول ۸۰٪، متانول ۸۰٪ و آب)، روش استخراج (حمام فراصوت و غرقابی) و زمان استخراج (۲۰، ۶۰ و ۸۰ دقیقه) بر میزان ترکیبات فنولی، فلاونوئیدی، آنتوسیانینی و قدرت مهار رادیکال DPPH، احیاءکنندگی آهن و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل عصاره‌های پوست بادمجان بود. نتایج نشان داد که اتانول ۸۰٪ بهترین حلال برای استخراج ترکیبات فنولی (۸۶/۸۷ میلی گرم اسیدگالیک بر گرم ماده جامد) بود، درحالیکه بیشترین میزان ترکیبات فلاونوئیدی (۱۸/۲۳ میلی‌گرم روتین بر گرم ماده جامد) با استفاده از متانول ۸۰٪ استخراج شد. محتوای آنتوسیانینی عصاره‌ها در محدوده ۴/۳۳-۰/۸ (میلی‌گرم سیانیدین بر گرم ماده جامد) متغیر بود. استفاده از فراصوت به‌میزان قابل ملاحظه‌ای، منجر به افزایش استخراج ترکیبات آنتوسیانینی گردید. در بین تیمارهای مختلف بیشترین میزان فعالیت مهار رادیکال DPPH (۵۱/۹۶٪) و قدرت احیاءکنندگی (۲/۴۶، جذب در ۷۰۰ نانومتر)، به‌ترتیب مربوط به عصاره‌های آبی و متانولی حاصل از روش حمام فراصوت و مدت زمان استخراج ۸۰ دقیقه بود. بیشترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل (۲/۲۳ و ۲/۲۷، جذب در ۶۹۵ نانومتر) مربوط به عصاره‌های متانولی استخراج شده با فراصوت در زمان‌های ۶۰ و ۸۰ دقیقه بود. در نتیجه استفاده از فراصوت راهکاری مفید در جهت استخراج ترکیبات زیست‌فعال موجود در پوست بادمجان می‌باشد و می‌توان از ترکیبات آنتی‌اکسیدان طبیعی حاصل در فرمولاسیون‌های غذایی به‌عنوان جایگزین آنتی-اکسیدان‌های سنتزی و تولید غذاهای فراسودمند استفاده کرد.

© 2020 Technical and Vocational University, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

مقدمه

در بافت‌های بدن، رادیکال‌های آزاد به‌طور مداوم به‌عنوان محصولات جانبی متابولیسم‌های اکسیداتیو تولید می‌شوند. تجمع آن‌ها و نبود آنتی‌اکسیدان‌های درون سلولی منجر به وقوع تنش اکسیداتیو و بیماری‌های گوناگونی مانند دیابت، سرطان، آلزایمر، پارکینسون و اختلالات قلبی- عروقی می‌گردد [۱] اکسیداسیون لیپیدها از مهم‌ترین نگرانی‌های صنعت مواد غذایی نیز هستند؛ زیرا منجر به ایجاد عطر و طعم نامطلوب، رنگ تیره و ترکیبات سمی در مواد غذایی می‌گردد [۲]. بنابراین برای جلوگیری از این اثرات در موادغذایی و حفاظت از بدن در برابر این بیماری‌ها، جلوگیری از پراکسیداسیون لیپیدها و تشکیل رادیکال‌های آزاد فرایندی حائز اهمیت می‌باشد. ترکیبات آنتی‌اکسیدانی، از اجزای موجود در مواد غذایی هستند که با جلوگیری از پیشرفت واکنش‌های زنجیره‌ای اکسیداسیون یا به دام‌اندازی رادیکال‌های آزاد می‌توانند از اکسیداسیون لیپیدها جلوگیری کنند یا منجر به تأخیر این فرایند گردند [۳]. در صنعت غذا، از آنتی اکسیدان‌های سنتزی مانند BHA و BHT جهت جلوگیری از اکسیداسیون استفاده می‌شود اگرچه این آنتی‌اکسیدان‌ها در مقایسه با آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی قدرت بیشتری دارند اما از نظر ایمنی و سلامتی آنها نگرانی‌هایی وجود دارد، این امر منجر به افزایش توجه محققان به شناسایی آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی برای استفاده در موادغذایی و دارویی گشته است [۴]. مطالعات اپیدمیولوژیک نشان داده است که مصرف میوه‌ها و سبزیجات به‌دلیل داشتن ترکیبات متنوع آنتی- اکسیدانی از جمله ترکیبات فنولی، اثرات مثبتی در جلوگیری از بروز بیماری‌های مزمن دارند [۵]. ترکیبات فنولی، آنتی‌اکسیدان‌هایی که به‌عنوان عوامل احیاءکننده، دهنده هیدروژن، خاموش‌کننده اکسیژن یگانه و شلاته‌کننده فلزات عمل کنند [۶]. روش‌های متعددی برای استخراج ترکیبات آنتی‌اکسیدانی از گیاهان وجود دارد. از مهم‌ترین این روش‌ها می‌توان به استخراج با سوکسله، غرقابی، استخراج با مایع فوق بحرانی، استخراج با استفاده از مایکروویو و استخراج با امواج فراصوت اشاره نمود. استفاده از امواج فراصوت یکی از روش‌های نوین استخراج ترکیبات فنولی و سایر ترکیبات ارزشمند از مواد غذایی در مقیاس صنعتی و آزمایشگاهی می‌باشد که در مقایسه با سایر روش‌های استخراج مانند استفاده از مایکروویو، ارزان‌تر و ساده‌تر می‌باشد [۷]. امواج فراصوت از طریق ایجاد تخلخل در دیواره بافت و بهبود انتشار و انتقال جرم، منجر به تسهیل و تسریع نفوذ حلال به بافت و همچنین خروج ترکیبات زیست‌فعال می‌گردند [۸]، اگرچه میزان بازده استخراج و فعالیت آنتی‌اکسیدانی ترکیبات زیست‌فعال استخراج شده نه تنها به روش استخراج، بلکه به حلال مورد استفاده در جهت استخراج نیز بستگی دارد [۹]. معمولاً از حلال‌های قطبی به‌منظور استخراج ترکیبات پلی‌فنولی از ماتریکس‌های گیاهی استفاده می‌شود. مناسب‌ترین نوع حلال‌ها برای فرایند استخراج مخلوطی آبی حاوی اتانول، متانول، استون و اتیل استات می‌باشد. اتانول حلالی مناسب برای استخراج ترکیبات پلی‌فنولی می‌باشد که برای مصارف انسانی ایمن است. مطالعات نشان داده است که استفاده از متانول منجر به افزایش بازده در جهت استخراج ترکیبات پلی فنولی با وزن مولکولی کم می‌گردد در حالی که استون حلالی مناسب برای استخراج فلاوانول‌هایی با وزن مولکولی بیشتر می‌باشد [۹].

بادمجان، با نام علمی *Solanum melongena*، گیاهی یک ساله، بومی مناطق گرمسیری و دارای ساقه نسبتاً ضخیم و پوشیده از کرک است که ارتفاع آن تا ۷۰ سانتیمتر می‌رسد و در سراسر جهان از آن برای پخت غذاهای متنوع استفاده می‌شود. بادمجان علاوه بر داشتن ویتامین‌ها و مواد معدنی گوناگون دارای ترکیبات فنولی و اسید آسکوربیک می‌باشد که فعالیت آنتی‌اکسیدانی قابل توجهی دارند. مطالعات نشان داده است که عصاره بادمجان، مانع از تصلب شرائین می‌گردد، همچنین می‌تواند با ممانعت از رشد عروق خونی، از پیشرفت تومور جلوگیری کند [۱۰].

پژوهش‌های مختلفی در رابطه با تأثیر نوع حلال و روش استخراج بر میزان استخراج ترکیبات زیست‌فعال عصاره‌های گیاهی انجام شده است؛ از جمله وانگ و هلی ول [۱۱]، گزارش کردند که استفاده از اتانول در مقایسه با متانول یا استون، منجر به افزایش بازده استخراج ترکیبات فنولی عصاره چای گردید، در حالی که در پژوهش هایونی و همکاران [۱۲]، آب در مقایسه با اتانول و متانول برای استخراج کاتچین چای، به‌عنوان حلال مناسب و کارا گزارش شد. چکین و همکاران

[۱۳] و سردرودیان و همکاران [۱۴]، به‌ترتیب با استخراج ترکیبات فنولی چای سبز و سیاه و سنجد گزارش کردند که استفاده از امواج فراصوت به‌میزان قابل توجهی، منجر به افزایش میزان استخراج ترکیبات فنولی گردید. هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر و کارایی روش‌های مختلف استخراج (فراصوت و غرقابی) و زمان استخراج (۲۰، ۶۰ و ۸۰ دقیقه) بر میزان ترکیب‌های فنولی، فلاونوئیدی، آنتوسیانینی و ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی عصاره حاصل از پوست بادمجان با استفاده از سه حلال اتانول ۸۰٪، متانول ۸۰٪ و آب بود.

روش‌شناسی

مواد شیمیایی مورد استفاده

اتانول، متانول، آب، معرف فولین-سیوکالتو[1]، کربنات سدیم، آلومینیوم کلرید، بافر فسفات، بافر پتاسیم کلرید، بافر سدیم استات، پتاسیم فری سیانید، تری کلرو استیک اسید، کلرید آهن، تری سدیم فسفات، اسید سولفوریک، آمونیوم مولیبدات، DPPH[2]، روتین، اسید گالیک از شرکت مرک و بادمجان از مزرعه گروه علوم باغبانی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان تهیه شد.

آماده‌سازی نمونه

پس از شستشو و خشک کردن بادمجان‌ها، فرایند پوست‌گیری به‌صورت دستی انجام شد. سپس پوست‌ها در سایه و به مدت ۲ روز در دمای محیط خشک شدند. نمونه‌های خشک شده با آسیاب آزمایشگاهی پودر شده و از الک با مش ۴۰ عبور داده شدند. در مرحله بعد، پودرها در ظروف شیشه‌ای تیره در یخچال با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

استخراج به کمک حمام فراصوت

پودرهای پوست بادمجان به نسبت ۱ به ۱۰ با حلال‌های آب، متانول ۸۰ درصد و اتانول ۸۰ درصد مخلوط شدند. سپس مخلوط‌های حاصل به مدت ۴۰، ۶۰ و ۸۰ دقیقه در حمام فراصوت (فرکانس ۳۴ کیلوهرتز) قرار گرفتند. سپس عصاره‌ها با استفاده از کاغذ صافی واتمن شماره ۱ از مواد جامد گیاهی جدا گردید. عصاره‌ها تا زمان انجام آزمایشدر دمای یخچال و در ظروف تیره نگهداری شدند [۱۵].

استخراج به روش غرقابی

پودرهای پوست بادمجان به نسبت ۱ به ۱۰ با حلال‌های آب، اتانول ۸۰ درصد و متانول ۸۰ درصد مخلوط و در بن‌ماری با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۰، ۶۰ و ۸۰ دقیقه قرار گرفتند. سپس عصاره‌ها با کاغذ صافی واتمن شماره ۱ فیلتر شدند. عصاره‌ها تا زمان انجام آزمایش‌ها در دمای یخچال و در ظروف تیره نگهداری شدند [۱۵].

اندازه‌گیری میزان ترکیبات فنولی کل

میزان کل ترکیبات فنولی با استفاده از روش فولین سیوکالتو، اندازه‌گیری شد. به‌طور خلاصه ۲۰ میکرولیتر از محلول عصاره با ۱/۱۶ میلی‌لیتر آب مقطر و ۱۰۰ میکرولیتر معرف فولین سیوکالتو مخلوط شد. پس از گذشت ۸ دقیقه، ۳۰۰ میکرولیتر از محلول کربنات سدیم (۲۰درصد) به آنها افزوده شد. لوله‌های آزمایش به مدت ۳۰ دقیقه در بن ماری با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. سپس جذب آن‌ها در ۷۶۰ نانومتر خوانده شد. جهت رسم منحنی استاندارد از اسیدگالیک استفاده شد. نتایج بر حسب میلی گرم اسید گالیک بر گرم ماده جامد عصاره بیان شد [۱۶].

[1] Folin-Ciocalteu
[2] 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl

اندازه‌گیری ترکیبات فلاونوئیدی

برای اندازه‌گیری ترکیبات فلاونوئیدی به طور خلاصه ۱ میلی‌لیتر از عصاره با ۱ میلی‌لیتر از محلول ۲ درصد کلریدآلومینیوم مخلوط شدند و نمونه‌ها به مدت ۱ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد نگهداری شدند. سپس جذب نمونه‌ها در ۴۱۵ نانومتر خوانده شد. از محلول استاندارد روتین برای رسم منحنی استاندارد استفاده شد. مقدار فلاونوئید نمونه‌ها بر حسب میلی‌گرم روتین بر گرم ماده جامد عصاره بیان شد [۱۷].

اندازه‌گیری ترکیبات آنتوسیانینی تام

برای اندازه‌گیری میزان ترکیبات آنتوسیانینی از دو سیستم بافر (بافر پتاسیم کلرید (۰/۰۲۵ مولار) pH=۱ و بافر سدیم استات (۰/۴ مولار) pH=۴/۵) استفاده شد. ۴۰۰ میکرولیتر از هر عصاره به‌طور جداگانه با هریک از بافرها مخلوط و جذب آنها در دو طول موج ۴۱۰ و ۷۰۰ نانومتر در دستگاه اسپکتروفتومتر (T80- ساخت انگلستان) خوانده شد. نتایج بر حسب میلی‌گرم سیانیدین ۳-گلیکوزید بر گرم ماده جامد عصاره و بر اساس فرمول ۱ محاسبه گردید [۱۸].

$$\text{غلظت رنگدانه آنتوسیانین} = \frac{A \times MW \times DF \times 1000}{\varepsilon \times 1} \quad (۱)$$

در این فرمول، A، MW، DF و ε به ترتیب مقدار جذب، وزن مولکولی سیانیدین، فاکتور رقت و ضریب مولی سیانیدین را نشان می‌دهد. مقدار جذب با استفاده از فرمول ۲ محاسبه گردید.

$$A = (A510 - \mathrm{A700})\mathrm{pH}\ 1.0 - (A510 - A700)pH4.5 \quad (۲)$$

فعالیت مهار رادیکال DPPH

به منظور اندازه‌گیری فعالیت مهار رادیکال DPPH، ۱ میلی‌لیتر از محلول اتانولی DPPH (با غلظت۱ میلی‌مولار) به ۳ میلی‌لیتر محلول عصاره اضافه شد. لوله‌های آزمایش به مدت ۳۰ دقیقه در محل تاریک قرار گرفتند. سپس جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۱۷ خوانده شد. در نمونه کنترل عصاره با ۳ میلی‌لیتر اتانول مخلوط شد. در نهایت درصد مهار رادیکال DPPH با استفاده از فرمول ۳ محاسبه گردید [۱۹].

$$\text{مهار رادیکال } DPPH(\%) = \frac{\text{جذب نمونه} - \text{جذب کنترل}}{\text{جذب کنترل}} \quad (۳)$$

قدرت احیاءکنندگی آهن

برای ارزیابی قدرت احیاءکنندگی عصاره‌ها، ۱ میلی‌لیتر از محلول عصاره با ۲/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات (pH=۶/۶ M=۰/۲) و۲/۵ میلی‌لیتر پتاسیم فری سیانید (۱۰ گرم در لیتر) مخلوط شد و به مدت نیم ساعت در حمام آب ۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس ۲/۵ میلی‌لیتر تری کلرو استیک اسید ۱۰ درصد (وزنی:حجمی) به نمونه‌ها اضافه شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفوژ شدند. از محلول رویی ۲/۵ میلی‌لیتر برداشته و پس از افزودن ۲/۵ میلی‌لیتر آب مقطر و ۰/۵ میلی‌لیتر کلرید آهن (۱ گرم در لیتر) جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۰۰ نانومتر خوانده شد [۲۰].

ظرفیت آنتی اکسیدانی کل

برای ارزیابی ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره با ۱ میلی‌لیتر از معرف (اسیدسولفوریک ۰/۶ مولار، فسفات سدیم ۲۸ میلی مولار و آمونیوم مولیبدات ۴ میلی مولار) در لوله اپندورف ریخته و به مدت ۹۰ دقیقه در حمام

آب ۹۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. پس از سرد شدن، جذب نمونه‌ها در ۶۹۵ نانومتر خوانده شد. از آب مقطر دوبار تقطیر به عنوان نمونه شاهد استفاده شد. جذب بیشتر، نشان‌دهنده ظرفیت آنتی اکسیدانی کل بیشتر است [۲۱].

تجزیه و تحلیل آماری

در این پژوهش، نتایج آزمون‌ها با کاربرد تجزیه واریانس یک‌طرفه و با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ ارزیابی شد. کلیه آزمون‌ها در ۳ تکرار و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای بررسی معنی‌دار بودن متغیر در سطح اطمینان ۹۵ درصد و رسم نمودارها نیز با نرم افزار Excel 2013 انجام گرفت.

یافته‌ها

تجزیه واریانس آزمون‌های مورد بررسی بر عصاره پوست بادمجان با سطح اختلاف معنی‌دار ۵ درصد در جدول ۱ ذکر شده است.

جدول۱. تجزیه واریانس آزمون‌های مورد بررسی بر عصاره پوست بادمجان

		مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	Sig
فعالیت‌مهار رادیکال DPPH	بین گروه‌ها	۶۵۴۹/۵۹۹	۱۷	۳۸۵/۲۷۱	۰/۰۰۰
	داخل گروه‌ها	۱۰/۲۴۸	۳۶	۲۸۵	
	کل	۶۵۵۹/۸۴۷	۵۳		
قدرت احیاءکنندگی آهن	بین گروه‌ها	۱۸/۳۳۴	۱۷	۱/۰۷۸	۰/۰۰۰
	داخل گروه‌ها	۰/۰۵۶	۳۶	۰/۰۰۲	
	کل	۱۸/۳۹۱	۵۳		
میزان ترکیبات فنولی کل	بین گروه‌ها	۱/۳۵۴E۷	۱۷	۷۹۶۴۶۴/۹۳۱	۰/۰۰۰
	داخل گروه‌ها	۱۰۲۳۰۶/۷۲۳	۳۶	۲۸۴۱/۸۵۳	
	کل	۱/۳۶۴E۷	۵۳		
میزان ترکیبات فلاونوئیدی	بین گروه‌ها	۶۹۰۵۲/۹۲۶	۱۷	۴۰۶۱/۹۳۷	۰/۰۰۰
	داخل گروه‌ها	۵۸۳۰/۸۰۸	۳۶	۱۶۱/۹۶۷	
	کل	۷۴۸۸۳/۷۳۴	۵۳		
میزان ترکیبات آنتوسیانینی	بین گروه‌ها	۳۹۷۷۹/۳۵۷	۱۷	۲۳۳۹/۹۶۲	۰/۰۰۰
	داخل گروه‌ها	۳۹۹/۴۲۹	۳۶	۱۱/۰۹۵	
	کل	۴۰۱۷۸/۷۸۶	۵۳		
ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل	بین گروه‌ها	۴/۹۳۹	۱۷	۰/۲۹۱	۰/۰۰۰
	داخل گروه‌ها	۰/۲۰۸	۳۶	۰/۰۰۶	
	کل	۵/۱۴۶	۵۳		

میزان ترکیبات فنولی کل

میزان ترکیبات فنولی عصاره‌های بادمجان در شکل ۱ نشان داده شده است. نتایج نشان دادند که میزان ترکیبات فنولی در عصاره‌های استخراج شده به روش فراصوت به‌طور معنی‌داری بیشتر از روش غرقابی بود و در هر دو روش عصاره‌های اتانولی نسبت به عصاره‌های متانولی و آبی دارای مقدار ترکیبات فنولی بیشتری بودند. با توجه به آنالیز میانگین داده‌ها افزایش زمان استخراج به‌طور معنی‌داری، منجر به افزایش میزان ترکیبات فنولی کل گشت ($P<۰/۰۵$). به‌طوری که بیشترین و کم‌ترین میزان ترکیبات فنولی به‌ترتیب مربوط به عصاره اتانولی حاصل از روش فراصوت به مدت ۸۰ دقیقه (۸۶/۸۷ میلی گرم اسیدگالیک بر گرم ماده جامد) و عصاره آبی حاصل از روش غرقابی به‌مدت ۴۰ دقیقه (۱۷/۷۲ میلی‌گرم اسیدگالیک بر گرم ماده جامد) بود. از روش‌های مختلف و از حلال‌های گوناگون می توان برای استخراج

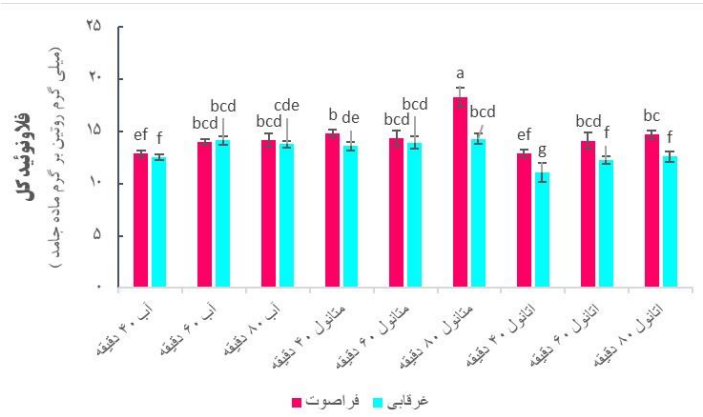
ترکیبات فنولی گیاهان استفاده کرد اما توجه به عواملی مانند هزینه، میزان دسترسی، بی‌خطر بودن و خصوصیات خاص برخی از ترکیبات فنولی بسیار مهم می‌باشد [۲۲]. حلال‌های مختلف درجه قطبیت متفاوتی دارند که این امر بر میزان استخراج ترکیبات فنولی، تأثیر قابل ملاحظه‌ای دارد. به‌عبارت دیگر استخراج عصاره‌های گیاهی با استفاده از حلال‌های مختلف، منجر به تفاوت شگرفی در محتوای ترکیبات فنولی کل، نوع ترکیبات استخراج شده و در نتیجه میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی آن‌ها دارد [۲۳]. در استخراج به‌کمک فراصوت، پدیده حفرگی تولید شده در حلال منجر به افزایش استخراج ترکیبات فنولی می‌گردد که این امر تحت تاثیر ویژگی‌های حلال مانند فشار بخار، کشش سطحی و ویسکوزیته آن می‌باشد [۲۴]. در پژوهش‌های جونگ و همکاران [۲۵] و اخباری و همکاران [۲۶] نشان داده شد که اتانول ۷۰ درصد نسبت به آب و متانول در استخراج ترکیبات فنولی پوست بادمجان، کارایی بهتری دارد که موافق با یافته‌های این پژوهش است. در حالی که، ماخلوف و همکاران [۲۷] با بررسی تأثیر حلال‌های اتانول و متانول ۷۰٪، بر میزان استخراج ترکیبات فنولی عصاره حاصل از پوست بادمجان، گزارش کردند که متانول نسبت به اتانول منجر به افزایش میزان استخراج ترکیبات فنولی شد. این تفاوت در نتایج می‌تواند به دلیل تفاوت در شرایط استخراج مانند غلظت ماده خشک به‌کار رفته، زمان و دمای مورد استفاده باشد. علاوه بر این حلالیت ترکیبات فنولی بسته به نوع حلال، درجه پلیمریزاسیون آن‌ها و برهمکنش آنها با سایر ترکیبات گیاهی متفاوت می‌باشد که این عوامل می‌توانند منجر به تفاوت میزان فنول استخراج شده با استفاده از حلال‌های متفاوت باشد [۲۸]. چکین و همکاران [۱۳] و ما و همکاران [۲۹] به‌ترتیب با بررسی مقدار ترکیبات فنولی موجود در عصاره‌های آبی چای و نارنگی به کمک امواج فراصوت، گزارش کردند که افزایش زمان استخراج با فراصوت به‌طور معنی‌داری منجر به افزایش میزان ترکیبات فنولی عصاره گردید که در تطابق با یافته های این پژوهش است. همانند نتایج این پژوهش، حسن نیا و همکاران [۳۰] و رودسامران و همکاران [۳۱] نیز به‌ترتیب از تاثیر مثبت استفاده از امواج فراصوت را در استخراج ترکیبات فنولی عصاره شوید و پوست لیمو گزارش دادند. فرارسا و همکاران [۳۲] نیز حلال اتانول را به‌عنوان بهترین حلال جهت استخراج حداکثری ترکیبات فنولی معرفی کردند و استفاده از امواج فراصوت را امری کارامد در استخراج این ترکیبات دانستند.

شکل۱. اثر نوع حلال، زمان و روش استخراج بر مقدار فنل کل عصاره پوست بادمجان

مقدار کل ترکیبات فلاونوئیدی

فلاونوئیدها به‌عنوان به‌دام‌اندازنده گونه‌های اکسیدکننده مانند آنیون سوپراکسید و رادیکال‌های هیدروکسیل و خاموش‌کننده اکسیژن یگانه عمل می‌کنند. گروه کربونیل موجود در کربن شماره ۴ و پیوند دوگانه بین کربن‌های شماره ۲ و ۳ منجر به فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالای فلاونوئیدها می‌شوند [۳۳]. همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، در هر دو روش استخراج افزایش زمان، به‌طور معنی‌داری منجر به افزایش میزان ترکیبات فلاونوئیدی موجود در عصاره‌ها

شد. بیشترین و کمترین میزان ترکیبات فلاونوئیدی به‌ترتیب مربوط به عصاره متانولی حاصل از فراصوت به مدت ۸۰ دقیقه (۱۸/۲۳ میلی‌گرم روتین بر گرم ماده جامد) و عصاره اتانولی حاصل از روش غرقابی به مدت ۴۰ دقیقه (۱۱/۰۸ میلی‌گرم روتین بر گرم ماده جامد) بود. مطالعات مختلف نشان داده است که هیچ یک از روش‌های رنگ‌سنجی، قادر به شناسایی همه انواع فلاونوئیدها نیست. در روش رنگ‌سنجی آلومینیوم کلرید، فلاون‌ها و فلاونول‌ها قادر به تشکیل کمپلکس پایدار با آلومینیوم کلرید هستند و بنابراین اندازه‌گیری می‌شوند [۳۴]. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که میزان این نوع از فلاونوئیدها در عصاره متانولی و زمان استخراج ۸۰ دقیقه و با استفاده از فراصوت بیشتر از سایر نمونه‌ها می‌باشد. همانند یافته‌های این پژوهش، سلمانیان و همکاران [۳۵]، با استخراج عصاره گیاه زولنگ گزارش کردند که میزان ترکیبات فلاونوئیدی عصاره متانولی به‌میزان قابل توجهی بیشتر از عصاره اتانولی بود، در حالی که ماخلوف و همکاران [۲۷]، با استخراج عصاره پوست بادمجان بیان کردند که اختلاف معنی‌داری بین محتوای ترکیبات فلاونوئیدی عصاره‌های اتانولی و متانولی وجود نداشت، که مشابه نتایج این پژوهش نیست. این امر می‌تواند به‌علت استفاده از غلظت‌های مختلف حلال و نوع روش استخراج باشد. سردرودیان و همکاران [۱۴] با مقایسه روش‌های فراصوت و غرقابی بر استخراج ترکیبات فلاونوئیدی گیاه سنجد، تاثیر مثبت فراصوت را بر استخراج ترکیبات فلاونوئیدی گزارش کردند و بیان کردند که افزایش زمان استخراج منجر به افزایش بازده استخراج ترکیبات فلاونوئیدی گشت، آن‌ها علت این امر را افزایش فرصت لازم برای انتقال جرم طی استخراج بیان کردند.



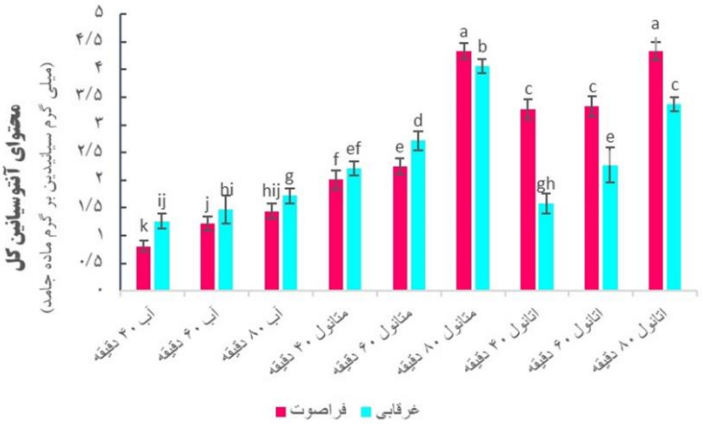
شکل۲. اثر نوع حلال، زمان و روش استخراج بر مقدار فلاونوئید کل عصاره پوست بادمجان

مقدار ترکیبات آنتوسیانینی تام

آنتوسیانین‌ها از ترکیبات عمده پوست بادمجان هستند که عملکردهای فیزیولوژیک متعددی مانند خواص آنتی-اکسیدانی، ضدعفونی‌کننده، ضدسرطانی و تقویت بینایی دارند، آنتوسیانین‌های عمده موجود در پوست بادمجان ناسونین[1] و تولیپانین[2] هستند. تحقیقات نشان داده است که ناسونین نسبت به سایر ترکیبات آنتوسیانینی قدرت آنتی‌اکسیدانی بیشتری دارد [۳۶]. با توجه به شکل ۳، افزایش زمان استخراج به طور معنی‌داری، منجر به افزایش میزان ترکیبات آنتوسیانینی موجود در عصاره‌ها شد ($P<0/05$). مقایسه حلال‌های مختلف نشان داد که استفاده از آب منجر به استخراج میزان کمتری از آنتوسیانین موجود در پوست بادمجان شد درحالی‌که بیشترین میزان ترکیبات آنتوسیانینی در عصاره‌های

[1] 3-(p-couma-roylrutinoside)-5-glucoside
[2] Delphinidin 3-rutino-side

اتانولی موجود بود. به‌طورکلی بیشترین و کمترین میزان ترکیبات آنتوسیانینی به‌ترتیب مربوط به عصاره‌های اتانولی و متانولی حاصل از فراصوت و زمان استخراج ۸۰ دقیقه (۴/۳۳ میلی گرم سیانیدین بر گرم ماده جامد) و عصاره آبی حاصل از روش غرقابی و زمان استخراج ۴۰ دقیقه (۰/۸ میلی گرم سیانیدین بر گرم ماده جامد) بود. مشابه این پژوهش، ماخولف و همکاران [۲۷] با بررسی تاثیر حلال‌های مختلف (اتانول و متانول) بر میزان استخراج آنتوسیانین موجود در پوست بادمجان، گزارش کردند که عصاره متانولی دارای بیشترین میزان آنتوسیانین ۸۲/۸۳ (دلفینیدین ۳- گلیکوزید[1] در ۱۰۰ گرم عصاره) بود. اخباری و همکاران [۲۶] با بررسی تاثیر حلال‌های مختلف بر میزان آنتوسیانین پوست بادمجان حلال اتانول را به‌عنوان بهترین حلال جهت استخراج حداکثری آنتوسیانین پوست بادمجان گزارش کردند که متفاوت با یافته-های این پژوهش است علت این امر می‌تواند تفاوت در شرایط استخراج مانند دما و زمان مورد استفاده باشد. لاپورنیک و همکاران [۳۷] نیز با بررسی اثر نوع حلال و زمان استخراج بر میزان آنتوسیانین استخراج شده از تفاله انگور، گزارش کردند که استفاده از حلال‌های اتانول و متانول و افزایش زمان استخراج منجر به افزایش میزان آنتوسیانین موجود در عصاره شد. پدرام‌نیا و همکاران [۳۸]، با استخراج آنتوسیانین زرشک، تأثیر مثبت امواج فراصوت را در استخراج آنتوسیانین گزارش کردند و علت این امر را تخریب سریع بافت میوه به‌دلیل پدیده حفرگی حاصل از فراصوت بیان کردند که در تطابق با یافته‌های این پژوهش است.



شکل۳. اثر نوع حلال، زمان و روش استخراج بر مقدار آنتوسیانین کل عصاره پوست بادمجان

فعالیت مهار رادیکال DPPH

DPPH، رادیکال چربی دوستی است که ماکزیمم جذب را در ۵۱۷ نانومتر داراست و رو به رو شدن با یک ترکیب‌دهنده پروتون منجر به کاهش جذب می‌گردد. جذب در طول موج ۵۱۷ نانومتر بیانگر میزان DPPH باقی مانده است [۳۹]. میزان فعالیت مهار رادیکال DPPH عصاره‌های پوست بادمجان در شکل ۴ نشان داده شده است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که زمان استخراج، نوع روش به‌کار رفته و نوع حلال، تأثیر معنی‌داری در مهار رادیکال آزاد دارد (P<۰/۰۵). نتایج حاکی از آن بود که با افزایش زمان استخراج در هر دو روش (حمام فراصوت و غرقابی)، میزان فعالیت مهار رادیکال DPPH به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و عصاره‌های حاصل از روش فراصوت توانایی بیشتری در مهار رادیکال DPPH نسبت به روش غرقابی دارا بودند. در بین حلال‌های مختلف بیشترین و کمترین فعالیت مهار رادیکال DPPH به‌ترتیب مربوط به عصاره‌های آبی و اتانولی بود. به‌طوری‌که بیشترین و کمترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی مربوط به

[1] Delphinidin-3-glucoside

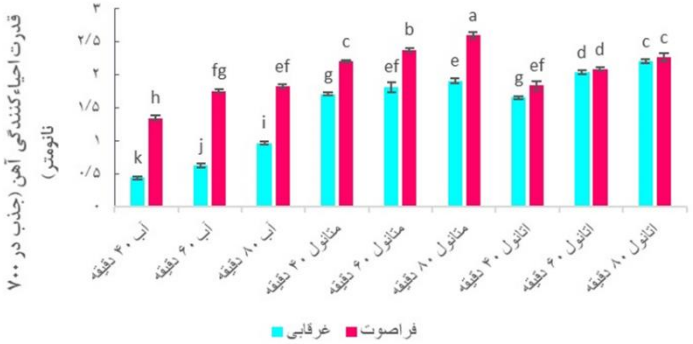
عصاره‌های آبی با زمان استخراج ۸۰ دقیقه (۵۶/۶۷ درصد) و عصاره متانولی با زمان استخراج ۴۰ دقیقه (۱۸/۸۷ درصد) بود. آزمون مهار رادیکال DPPH، فعالیت آنتی اکسیدانی فنول‌های محلول در آب را ارزیابی می‌کند، بنابراین قابلیت بیشتر در مهار رادیکال DPPH نشان از مولکول‌های آبدوست بیشتر است، در نتیجه فعالیت آنتی‌اکسیدانی بیشتری دارند. علاوه بر تعداد گروه‌های هیدروکسیل موجود در ساختار یک مولکول آنتی‌اکسیدان، موقعیت گروه‌های هیدروکسیل، حضور گروه‌های عاملی دیگر مانند پیوندهای دوگانه و ترکیب گروه‌های هیدروکسیل و کتونی نقش مهمی در فعالیت آنتی‌اکسیدانی ترکیبات دارند. فعالیت آنتی‌اکسیدانی 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 آنتی‌اکسیدان‌های اولیه هستند [۲۷]. بنابراین در این پژوهش استفاده از روش حمام فراصوت و حلال آب منجر به استخراج آنتی-اکسیدان‌های اولیه بیشتری شده است. در پژوهش انجام شده توسط ماخلوف و همکاران [۲۷] و هورینکار و همکاران [۴۰] در بین عصاره‌های اتانولی، متانولی و استونی پوست بادمجان، بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی مربوط به عصاره متانولی گزارش شد که در تضاد با یافته‌های این پژوهش است، این تفاوت می‌تواند ناشی از تفاوت در گونه بادمجان، زمان و روش استخراج و غلظت حلال باشد. حسن‌نیا و همکاران [۳۰]، با بررسی روش‌های مختلف استخراج (فراصوت و مایکروویو) بر میزان فعالیت آنتی اکسیدانی عصاره شوید بیان کردند که بیشترین قدرت مهار رادیکال DPPH مربوط به عصاره اتانولی–آبی حاصل از روش فراصوت بود که با نتایج حاصل از این پژوهش، همخوانی دارد.

شکل ۴. اثر نوع حلال، زمان و روش استخراج بر فعالیت مهار رادیکال DPPH عصاره پوست بادمجان

قدرت احیاءکنندگی آهن

آزمون قدرت احیاءکنندگی، فعالیت آنتی اکسیدانی یک ترکیب را بر حسب توانایی آن در تبدیل یون Fe^{3+} به Fe^{2+} از طریق اهدای الکترون، ارزیابی می‌کند. ترکیبات آنتی‌اکسیدانی منجر به احیاء کمپلکس‌های فری سیانید و تبدیل آنها به فرم فروس می‌گردند که با توجه به توانایی احیاءکنندگی آنها رنگ محلول از زرد به سبز یا آبی تبدیل می‌شود. این ترکیب در طول موج ۷۰۰ نانومتر دارای بیشترین جذب است، بنابراین می‌توان غلظت یون‌های آهن دو ظرفیتی را با تعیین میزان جذب محلول در این طول موج ارزیابی نمود [۴۱]. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که روش استخراج و نوع حلال مورد استفاده تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر قدرت احیاءکنندگی عصاره‌های حاصل داشت. بطوریکه با استفاده از حلال‌های متانول و آب، عصاره‌های حاصل از روش حمام فراصوت دارای قدرت احیاءکنندگی بیشتری بودند. همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده است، افزایش زمان استخراج به‌طور قابل ملاحظه‌ای منجر به افزایش قدرت احیاءکنندگی عصاره‌های حاصل شد. در بین عصاره‌های بیشترین و کمترین میزان قدرت احیاءکنندگی به‌ترتیب مربوط

به عصاره متانولی حاصل از روش حمام فراصوت و با زمان استخراج ۸۰ دقیقه (۲/۴۶) و عصاره آبی حاصل از روش غرقابی و زمان استخراج ۴۰ دقیقه (۰/۴۴۱) بود. در این پژوهش بیشترین مقدار ترکیبات فنولی به‌ترتیب مربوط به عصاره‌های اتانولی، متانولی و آبی حاصل از روش فراصوت بود و بیشترین قدرت احیاءکنندگی به‌ترتیب مربوط به عصاره‌های متانولی، اتانولی و آبی حاصل از روش فراصوت بود. آرکوب و همکاران [۴۲] نیز 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. ممکن است یک عصاره دارای مقدار ترکیبات فنولی بالایی باشد اما قدرت آنتی‌اکسیدانی پایینی داشته باشد، این امر می‌تواند به این دلیل باشد که استفاده از حلال‌های مختلف منجر به استخراج ترکیبات فنولی متفاوتی می‌گردد و میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی 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 قابل‌توجهی می‌باشند و با احیای یون آهن سه ظرفیتی جذب محلول را افزایش می‌دهند. همچنین مطالعات نشان داده است که قدرت آنتی‌اکسیدانی یک عصاره نه تنها به محتوای فنولی آن بلکه به واکنش بین ترکیبات فنولی موجود در عصاره و نوع روش استخراج بستگی دارد [۴۳]. ماخلوف و همکاران [۲۷]، با بررسی اثر حلال بر قدرت احیاءکنندگی عصاره‌های پوست بادمجان بیان کردند که بیشترین قدرت احیاءکنندگی به‌ترتیب مربوط به عصاره‌های استونی، متانولی و اتانولی بود. در پژوهش حاضر نیز قدرت احیاءکنندگی عصاره‌های متانولی بیشتر از اتانولی بود، آن‌ها علت این امر را میزان حلالیت متفاوت ترکیبات فنولی در حلال‌های مختلف دانستند. عربشاهی و عروج [۴۴]، نیز قدرت احیاءکنندگی عصاره‌های استونی، متانولی و آبی برگ شاه‌توت را بررسی کردند و گزارش کردند که عصاره متانولی دارای بیشترین قدرت احیاءکنندگی بود که در تطابق با نتایج این پژوهش بود. آن‌ها قدرت آنتی اکسیدانی بیشتر عصاره متانولی را به محتوای فنولی بیشتر آن نسبت دادند.

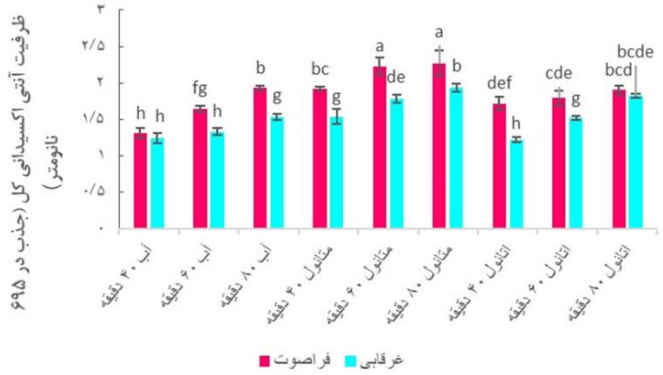


شکل۵. اثر نوع حلال، زمان و روش استخراج بر قدرت احیاءکنندگی آهن عصاره پوست بادمجان

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل

روش ارزیابی ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل بر مبنای احیاء مولیبدن۶ ظرفیتی به مولیبدن ۵ ظرفیتی می‌باشد که با تشکیل کمپلکس سبز رنگ فسفومولیبدن در محیط اسیدی و دمای بالا همراه است. در این واکنش کمپلکس سبز رنگ فسفومولیبدن تشکیل می‌گردد که بسیار پایدار هستند و تحت تاثیر حلال مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. این ترکیبات دارای حداکثر جذب در طول موج ۶۹۵ نانومتر هستند. هر چه میزان جذب عصاره‌ها در این طول موج بالاتر باشد، نشان از ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل بیشتر می‌باشد [۲۱]. نتایج آنالیز واریانس حاکی از تفاوت معنی‌داری روش‌های مورد استفاده

برای استخراج عصاره (حمام فراصوت و غرقابی) و حلال‌های به‌کار رفته بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌های حاصل بود (P<۰/۰۵). به‌طوری که بیشترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل مربوط به عصاره‌های متانولی با استفاده از روش حمام فراصوت و مدت زمان استخراج ۶۰ و ۸۰ دقیقه بود. کم‌ترین میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل نیز مربوط به عصاره‌هاسی آبی حاصل از روش غرقابی و زمان استخراج ۴۰ و ۶۰ دقیقه و عصاره اتانولی حاصل از این روش با زمان استخراج ۴۰ دقیقه و همچنین عصاره آبی حاصل از روش فراصوت و زمان استخراج ۴۰ دقیقه بود. همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده است افزایش زمان استخراج به‌طور معنی‌داری منجر به افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل عصاره‌ها گشت. روش فسفومولیبدنیوم، روش کمی برای ارزیابی ظرفیت آنتی‌اکسیدان‌های محلول در آب و محلول در چربی (ظرفیت آنتی-اکسیدانی کل) می‌باشد. ترکیبات فنولی و آنتوسیانین‌ها مسئول فعالیت آنتی‌اکسیدانی بخش آبدوست هستند در حالی‌که توکوفرول‌ها و کاروتنوئیدها ترکیبات آنتی‌اکسیدانی اصلی در بخش آب‌گریز می‌باشند. در این پژوهش عصاره متانولی حاصل از روش فراصوت و زمان استخراج ۸۰ دقیقه دارای بیشنه ظرفیت آنتی‌اکسیدان کل بود، این نمونه همچنین حاوی بیشترین مقدار فلاونوئید و آنتوسیانین بود، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که حضور آنتی‌اکسیدان‌های هیدروفیل در این نمونه منجر به افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل آن شده است. عربشاهی و عروج [۴۴]، با بررسی اثر حلال‌های مختلف بر عصاره‌های مختلف برگ شاه توت، گزارش کردند که ظرفیت آنتی اکسیدانی کل عصاره متانولی بیشتر از عصاره آبی بود که مشابه با نتایج این پژوهش است. رضایی ارمی و همکاران [۴۵]، با بررسی ظرفیت آنتی‌اکسیدانی عصاره نسترن وحشی حاصل از حلال‌های مختلف بیان کردند که فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها به شدت به نوع حلال به‌کار رفته وابسته بود، آن‌ها علت این امر را پتانسیل آنتی‌اکسیدانی متفاوت ترکیبات فنولی با قطبیت متفاوت دانستند. لی و همکاران [۴۶]، با بررسی فعالیت آنتی‌اکسیدانی پنج گونه عناب گزارش کردند که علت تفاوت در فعالیت آنتی‌اکسیدانی به این دلیل است که فعالیت آنتی‌اکسیدانی تنها منحصر به ترکیبات فنولی نیست بلکه سایر ترکیبات مانند اسید آسکوربیک و توکوفرول‌ها و همچنین اثرات سینرژیستی آن‌ها منجر به بروز فعالیت آنتی‌اکسیدانی می‌گردد.



شکل ۶. مقایسه میانگین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل عصاره‌های پوست بادمجان

بحث و نتیجه‌گیری

بادمجان، یکی از رایج‌ترین سبزیجات مورد استفاده در سراسر جهان است که دارای ترکیبات مهمی همچون فنول‌ها، فلاونوئیدها، آنتوسیانین‌ها، ویتامین‌ها، مواد معدنی و ترکیبات آنتی‌اکسیدان می‌باشد. در تحقیقات مختلف اثرات دارویی بادمجان نیز به اثبات رسیده است. در این پژوهش اثر نوع حلال، زمان و روش استخراج بر محتوای فنولی، فلاونوئیدی، آنتوسیانینی و قدرت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌های حاصل از پوست بادمجان مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که استفاده از امواج فراصوت و افزایش زمان استخراج به‌میزان قابل ملاحظه ای منجر به افزایش استخراج ترکیبات زیست‌فعال

گردید. در بین حلال‌های مورد استفاده، اتانول، بهترین حلال برای استخراج ترکیبات فنولی و آنتوسیانینی شناخته شد در حالیکه متانول حلالی مناسب در جهت استخراج ترکیبات فلاونوئیدی بود. قدرت احیاءکنندگی آهن و ظرفیت آنتی-اکسیدانی کل عصاره‌های متانولی حاصل از روش حمام فراصوت بیشتر از روش غرقابی بود و بیشترین فعالیت مهار رادیکال DPPH مربوط به عصاره آبی حاصل از روش فراصوت بود. بنابراین با توجه به مقدار زیاد ترکیبات فنولی، فلاونوئیدی و قدرت آنتی‌اکسیدانی قابل توجه پوست بادمجان و اثرات نامطلوب آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی بر سلامت انسان، می‌توان از عصاره پوست بادمجان به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان طبیعی در فرمولاسیون مواد غذایی مستعد اکسیداسیون استفاده نمود.

References

[1] Fiaschi, T., & Chiarugi, P. (2012). Oxidative stress, tumor microenvironment, and metabolic reprogramming: a diabolic liaison. *International Journal of Cell Biology*, *2012*, 762825. https://doi.org/10.1155/2012/762825

[2] Lin, C. C., & Liang, J. H. (2020). Effect of antioxidants on the oxidative stability of chicken breast meat in a dispersion system. *Journal of Food Science*, *67*(2), 530-533. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb10632.x

[3] Othman, A., Ismail, A., Abdul Ghani, N., & Adenan, I. (2007). Antioxidant capacity and phenolic content of cocoa beans. *Food Chemistry*, *100*(4), 1523-1530. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.12.021

[4] Li, Y., Jiang, B., Zhang, T., Mu, W., & Liu, J. (2008). Antioxidant and free radical-scavenging activities of chickpea protein hydrolysate (CPH). *Food Chemistry*, *106*(2), 444-450. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.04.067

[5] Cheel, J., Theoduloz, C., Rodríguez, J. A., Caligari, P. D. S., & Schmeda-Hirschmann, G. (2007). Free radical scavenging activity and phenolic content in achenes and thalamus from Fragaria chiloensis ssp. chiloensis, F. vesca and F. x ananassa cv. Chandler. *Food Chemistry*, *102*(1), 36-44. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.04.036

[6] Proestos, C., Boziaris, I. S., Nychas, G .J. E., & Komaitis, M. (2006). Analysis of flavonoids and phenolic acids in Greek aromatic plants: Investigation of their antioxidant capacity and antimicrobial activity. *Food Chemistry*, *95*(4), 664-671. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.01.049

[7] Jerković, I., Mastelić, J., Marijanović, Z., Klein, Ž., & Jelić, M. (2007). Comparison of hydrodistillation and ultrasonic solvent extraction for the isolation of volatile compounds from two unifloral honeys of Robinia pseudoacacia L. and Castanea sativa L .*Ultrasonics Sonochemistry*, *14*(6), 750-756. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2006.12.014

[8] Vilkhu, K., Mawson, R., Simons, L., & Bates, D. (2008). Applications and opportunities for ultrasound assisted extraction in the food industry — A review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *9*(2), 161-169. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2007.04.014

[9] Turkmen, N., Sari, F., & Velioglu, Y. S. (2006). Effects of extraction solvents on concentration and antioxidant activity of black and black mate tea polyphenols determined by ferrous tartrate and Folin–Ciocalteu methods. *Food Chemistry*, *99*(4), 835-841. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.08.034

[10] Matsubara, K., Kaneyuki, T., Miyake, T., & Mori, M. (2005). Antiangiogenic activity of nasunin, an antioxidant anthocyanin, in eggplant peels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *53*(16), 6272-6275. https://doi.org/10.1021/jf050796r

[11] Wang, H., & Helliwell, K. (2001). Determination of flavonols in green and black tea leaves and green tea infusions by high-performance liquid chromatography. *Food Research International*, *34*(2), 223-227. https://doi.org/10.1016/S0963-9969(00)00156-3

[12] Hayouni, E. A., Abedrabba, M., Bouix, M., & Hamdi, M. (2007). The effects of solvents and extraction method on the phenolic contents and biological activities in vitro of Tunisian Quercus coccifera L. and Juniperus phoenicea L. fruit extracts. *Food Chemistry*, *105*(3), 1126-1134. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.02.010

[13] Chekin, F., & Karimi Roozbehani, N. (2016). Ultrasonic extraction of aqueous phenolic compounds of green and black tea. *Food Processing and Production*, *6*(4), 16-26. http://fimag.iauamol.ac.ir/Article.aspx?AId=3&AspxAutoDetectCookieSupport=1

[14] Sardarodiyan, M., Mehraban Sang Atash, M., & Arianfar, A. (2016). The optimization and comparison of different extraction approaches (ultrasound and maceration) on chemical composition of Elaeagnus angustifolial L. extract. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants*, *4*(3), 74-94. http//:ecophytochemical.gorganiau.ac.ir/article_587337.html

[15] Martino, E., Ramaiola, I., Urbano, M., Bracco, F., & Collina, S. (2006). Microwave-assisted extraction of coumarin and related compounds from Melilotus officinalis (L.) Pallas as an alternative to Soxhlet and ultrasound-assisted extraction. *Journal of Chromatography A*, *1125*(2), 147-151. https://doi.org/10.1016/j.chroma.2006.05.032

[16] Slinkard, K., & Singleton, V. L. (1977). Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods .*American journal of enology and viticulture*, *28*(1), 49-55. https://www.ajevonline.org/content/28/1/49

[17] Quettier-Deleu, C., Gressier, B., Vasseur, J., Dine, T., Brunet, C., Luyckx, M., Cazin, M., Cazin, J.-C., Bailleul, F., & Trotin, F. (2000). Phenolic compounds and antioxidant activities of buckwheat (Fagopyrum esculentum Moench) hulls and flour. *Journal of Ethnopharmacology*, *72*(1), 35-42. https://doi.org//10.1016/S0378-8741(00)00196-3

[18] Muanda, F. N., Soulimani, R., Diop, B., & Dicko, A. (2011). Study on chemical composition and biological activities of essential oil and extracts from Stevia rebaudiana Bertoni leaves. *LWT - Food Science and Technology*, *44*(9), 1865-1872. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.12.002

[19] Shimada, K., Fujikawa, K ,.Yahara, K., & Nakamura, T. (1992). Antioxidative properties of xanthan on the autoxidation of soybean oil in cyclodextrin emulsion. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *40*(6), 945-948. https://doi.org/10.1021/jf00018a005

[20] Yildirim, A., Mavi ,A., & Kara, A. A. (2001). Determination of antioxidant and antimicrobial activities of Rumex crispus L. extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *49*(8), 4083-4089. https://doi.org/10.1021/jf0103572

[21] Prieto, P., Pineda Priego, M., & Aguilar Urbano, M. (2013). Spectrophotometric quantitation of antioxidant capacity through the formation of a phosphomolybdenum complex: specific application to the determination of vitamin E1. 1-6. https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1015.1778&rep=rep1&type=pdf

[22] Zhou, K., & Yu, L. (2004). Effects of extraction solvent on wheat bran antioxidant activity estimation. *LWT - Food Science and Technology*, *37*(7), 717-721. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.02.008

[23] Pham, H. N. T., Nguyen, V. T., Vuong, Q. V., Bowyer, M. C., & Scarlett, C. J. (2015). Effect of Extraction Solvents and Drying Methods on the Physicochemical and Antioxidant Properties of Helicteres hirsuta Lour. Leaves. *Technologies*, *3*(4), 285-301. https://doi.org/10.3390/technologies3040285

[24] Ghasemzadeh, A., Jaafar, H. Z., Juraimi, A. S., & Tayebi-Meigooni, A. (2015). Comparative Evaluation of Different Extraction Techniques and Solvents for the Assay of Phytochemicals and Antioxidant Activity of Hashemi Rice Bran. *Molecules*, *20*(6), 10822-10838. https://doi.org/10.3390/molecules200610822

[25] Jung, E.-J., Bae, M.-S., Jo, E.-K., Jo, Y.-H., & Lee, S.-C. (2011). Antioxidant activity of different parts of eggplant. *Journal of Medicinal Plants Research*, *5*(18), 4610-4615. https://academicjournals.org/article/article1380729661_Jung%20et%20al.pdf

[26] Akhbari, M., Hamedi, S., & Aghamiri, Z.-s. (2019). Optimization of total phenol and anthocyanin extraction from the peels of eggplant (Solanum melongena L.) and biological activity of the extracts. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *13*(4), 3183-3197. https://doi.org/10.1007/s11694-019-00241-1

[27] Boulekbache-Makhlouf, L., Medouni, L., Medouni-Adrar, S., Arkoub, L., & Madani, K. (2013). Effect of solvents extraction on phenolic content and antioxidant activity of the byproduct of eggplant. *Industrial Crops and Products*, *49*, 668-674. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.06.009

[28] Suzuki, M., Watanabe, T., Miura, A., Harashima, E., Nakagawa, Y., & Tsuji, K. (2002). An extraction solvent optimum for analyzing polyphenol contents by Folin-Denis assay. *Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology (Japan)*, *49*(7), 507-511. https://doi.org/10.3136/nskkk.49.507

[29] Ma, Y.-Q., Chen, J.-C., Liu, D-.H., & Ye, X.-Q. (2009). Simultaneous extraction of phenolic compounds of citrus peel extracts: Effect of ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry*, *16*(1), 57-62. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2008.04.012

[30] Hassan Niya, M., Aryai, P., & Fatahi, E. The effect of extraction methods on phenolic and tocophorol content and antioxidant properties of dill extracts (Anethum graveolens). *Journal of food science and technology(Iran)*, *13*(57), 109-119. http://fsct.modares.ac.ir/article-7-3016-en.html

[31] Rodsamran, P., & Sothornvit, R. (2019). Extraction of phenolic compounds from lime peel waste using ultrasonic-assisted and microwave-assisted extractions. *Food Bioscience*, *28*, 66-73. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.01.017

[32] Ferarsa, S., Zhang, W., Moulai-Mostefa, N., Ding, L.-H., Jaffrin, M., & Grimi, N. (2018). Recovery of anthocyanins and other phenolic compounds from purple eggplant peels and pulps using ultrasonic-assisted extraction. *Food and Bioproducts Processing*, *109*, 19-28. https://doi.org/10.1016/j.fbp.2018.02.006

[33] Das, N., & Pereira, T. (1990). Effects of flavonoids on thermal autoxidation of palm oil: structure-activity relationships. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, *67*(4), 255-258. https://doi.org/10.1007/BF02540652

[34] Chang, C. C., Yang, M. H., Wen, H. M., & Chern, J. C. (2002). Estimation of Total Flavonoid Content in Propolis by Two Complementary Colorimetric Methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, *10*(3), 178-182. https://doi.org/10.38212/2224-6614.2748

[35] Salmanian, S., Sadeghimahoonak, A., Jamson, M., & Tabatabaee Amid, B. (2013). Identification and quantification of phenolic acids, radical scavenging activity and ferric reducing power of Eryngium caucasicum Trautv. ethanolic and methanolic

extracts. *Research and Innovation in Food Science and Technology*, *2*(2), 193-204. https://doi.org/10.22101/jrifst.2013.09.16.227

[36] Katsube, N., Iwashita, K., Tsushida, T., Yamaki, K., & Kobori, M. (2003). Induction of apoptosis in cancer cells by Bilberry (Vaccinium myrtillus) and the anthocyanins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *51*(1), 68-75. https://doi.org/10.1021/jf025781x

[37] Lapornik, B., Prošek, M., & Golc Wondra, A. (2005). Comparison of extracts prepared from plant by-products using different solvents and extraction time. *Journal of Food Engineering*, *71*(2), 214-222. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.10.036

[38] Pedram Nia, A., Sharifi, A., & Tawaklipur, H. (2010). Optimization of barberry anthocyanin extraction process in the presence of ultrasound. *Innovation in Food Science and Technology*, *2*(1), 45-52. http://jfst.iaus.ac.ir/article_528561.html

[39] Zhuang, H., Tang, N., & Yuan, Y. (2013). Purification and identification of antioxidant peptides from corn gluten meal. *Journal of Functional Foods*, *5*(4), 1810-1821. https://doi.org/10.1016/j.jff.2013.08.013

[40] Horincar, G., Enachi, E., Stănciuc, N., & Râpeanu, G. (2019). Extraction and characterization of bioactive compounds from eggplant peel using ultrasound-assisted extraction. *Annals of the University Dunarea de Jos of Galati Fascicle VI--Food Technology*, *43*(1), 40-53. https://doi.org/10.35219/foodtechnology.2019.1.03

[41] Khantaphant, S., Benjakul, S., & Ghomi, M. (2011). The effects of pretreatments on antioxidative activities of protein hydrolysate from the muscle of brownstripe red snapper (Lutjanus vitta). *LWT - Food Science and Technology*, *44*(4), 1139-1148. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.10.009

[42] Arkoub-Djermoune, L., Benmeziane, F., Madani, K., & Boulekbache-Makhlouf, L. (2020). Optimization of phenolic compounds recovery and in vitro antioxidant activity of Algerian eggplant (Solanum melongena L.). *Advances in Horticultural Science*, *33*(4), 567-580. https://doi.org/10.13128/ahsc-8214

[43] Ye, F., Liang, Q., Li, H & ,.Zhao, G. (2015). Solvent effects on phenolic content, composition, and antioxidant activity of extracts from florets of sunflower (Helianthus annuus L.). *Industrial Crops and Products*, *76*, 574-581. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.07.063

[44] Arabshahi-Delouee, S., & Urooj, A. (2007). Antioxidant properties of various solvent extracts of mulberry (Morus indica L.) leaves. *Food Chemistry*, *102*(4), 1233-1240. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.07.013

[45] Rezaei Armi, S., & Raftani Amiri, Z. (2017). Evaluation of phenolic, flavonoid contents and antioxidant activity of queous and alcoholic extract of Rosa Canina L. fruits north of Iran. *Journal of Food Research (Agricultural Science)*, *27*(3), 65-76. https://foodresearch.tabrizu.ac.ir/article_6510.html?lang=en

[46] Li, J.-w., Ding, S.-d., & Ding, X.-l. (2005). Comparison of antioxidant capacities of extracts from five cultivars of Chinese jujube. *Process Biochemistry*, *40*(11), 3607-3613. https://doi.org/https:/doi.org/10.1016/j.procbio.2005.03.005