Plant Prod., 2026, 48(4), 685- 698
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2025.48143.2215
Received: 12 October 2024
Accepted: 27 May 2025

Plant Productions
Research Article

Evaluation of quantitative changes in phenolic, flavonoid and saponins compounds of caltrop (*Tribulus terrestri*s L.) fruit as affected by drying methods

Yasamin Dabaghkar[1], Ghasem Eghlima[2*], Fateme Aghamir[2], Mohammad Hossein Mirjalili[3]

1. M.Sc. Student, Department of Agriculture, Medicinal Plants and Drugs Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
2. Assistant Professor, Department of Agriculture, Medicinal Plants and Drugs Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
3. Professor, Department of Agriculture, Medicinal Plants and Drugs Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Citation: Dabaghkar, Y., Eghlima, G., Aghamir, F., Mirjalili, M.H. (2026). Evaluation of quantitative changes in phenolic, flavonoid and saponins compounds of caltrop (*Tribulus terrestri*s L.) fruit as affected by drying methods. *Plant Productions*, 48(4), 685– 698.

Abstract

Introduction

Caltrop (*Tribulus terrestris* L.) from the family of Zygophyllaceae, which is rich in saponins compounds, especially diosgenin, has various biological properties, such as anti-inflammation, anti-Alzheimer, anti-obesity, anti-diabetes, anti-leukemia, and anti-cancer activities, due to these compounds and many medicines are produced from it. Drying is one of the main steps in the post-harvest process of medicinal plants, which plays an important role in the quantity and quality of their effective ingredients. The results of studies have shown that the method used for drying has a significant effect on the performance and content of secondary metabolites of medicinal plants. Considering the wide use of the caltrop in the pharmaceutical industry, as well as the importance of the drying process in medicinal plants, this research aims to investigate the effect of different drying methods on the drying time and some phytochemical traits (including diosgenin content) of the fruits of caltrop was executed.

Materials and Methods

In order to investigate the effect of different drying methods on the fruit of the caltrop, an experiment based on a completely randomized design with eight treatments and three repetitions was carried out in 2023 in the Ecophysiology Laboratory of Plants and Medicinal Plant and Drug Research Institute of Shahid Beheshti University, Tehran. In this study, the fruit of caltrop plant was used, which was collected from the collection of medicinal plants of Shahid Beheshti University, which was harvested at the fruiting stage. The tested treatments included natural drying (drying in the sun and shade), drying in the oven (40, 50 and 60 °C) and drying in the

* **Corresponding Author:** Ghasem Eghlima
E-mail: gh_eghlima@sbu.ac.ir

© 2026 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

microwave (power 500, 700 and 900 W). In different methods, drying was continued until the moisture content reached 10% (based on plant-wet weight). The dried samples were used to extract the methanolic extract in order to measure some secondary metabolites, including total phenol content, total flavonoid content, antioxidant activity, total saponins and diosgenin content. The content of total phenol, total flavonoid and antioxidant activity were measured by Folin–Ciocalteu, aluminum chloride and DPPH methods, respectively. High-performance liquid chromatography (HPLC) analysis was used to measure diosgenin content.

Results and Discussion

According to the results obtained, increasing microwave powers resulted in a significant reduction in the time required to reach a moisture content of 10% on a wet weight basis. Also, the drying time in the microwave method, especially at 900 W power, was shorter compared to the oven method (with a duration of 9, 12 and 16 hours). In the oven-drying method, the drying process varied from nine to 16 hours depending on the different temperatures, and increasing the oven temperature increased the slope of the moisture content reduction curve. In addition, with increasing temperature, the drying time decreased significantly. The drying process in the natural method was 45 and 70 hours in the sun and shade methods, respectively. The highest content of total phenol (12.6 mg GAE. g^{-1} DW), total flavonoid (7.38 mg RE g^{-1} DW) and antioxidant activity (IC50 = 16.70 µg.ml^{-1}) in shade drying treatment was achieved. The highest content of total saponins (9.75 µg oleanolic acid g^{-1} DW) and diosgenin (7.75 mg. g^{-1} DW) was observed in oven treatment with a temperature of 40 °C. With the increase of oven temperature and microwave power, the amount of secondary metabolites in caltrop fruit extract decreased.

Conclusion

Overall, shade drying and oven drying at low temperature (40°C) were the most effective methods for preserving bioactive compounds, while microwave drying provided a rapid alternative with little loss of quality. These findings provide practical insights for optimizing post-harvest processing to enhance the medicinal value of caltrop.

Keywords: Antioxidant activity, Diosgenin, Processing, Total saponins

تولیدات گیاهی، ۱٤۰٤، ٤۸(٤)، ٦۸٥ -٦۹۸
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2025.48143.2215
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۰۶

تولیدات گیاهی
مقاله پژوهشی

ارزیابی تغییرات کمی ترکیبات فنلی، فلاونوئیدی و ساپونینی میوهٔ گیاه خارخاسک (*Tribulus terrestris* L.) تحت اثر روش‌های خشک کردن

یاسمین دباغ کار[۱]، قاسم اقلیما[۲*]، فاطمه آقامیر[۲]، محمد حسین میرجلیلی[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه کشاورزی، پژوهشکدهٔ گیاهان و مواد اولیه دارویی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۲- استادیار، گروه کشاورزی، پژوهشکدهٔ گیاهان و مواد اولیهٔ دارویی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۳- استاد، گروه کشاورزی، پژوهشکدهٔ گیاهان و مواد اولیهٔ دارویی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

چکیده

با توجه به کاربرد گستردهٔ گیاه دارویی خارخاسک در صنایع داروسازی و نقش آن در تولید فرآورده‌های دارویی و مکمل‌های گیاهی، بررسی عوامل مؤثر بر کیفیت این گیاه دارای اهمیت ویژه‌ای است. فرآیند خشک‌کردن یکی از مهم‌ترین مراحل پس از برداشت در گیاهان دارویی محسوب می شود و می‌تواند اثر تعیین‌کننده‌ای بر حفظ ترکیبات فعال، پایداری فیتوشیمیایی و همچنین قابلیت نگهداری محصول داشته باشد، لذا انتخاب روش مناسب خشک‌کردن ضروری است. بر همین اساس، پژوهش حاضر با هدف بررسی و مقایسهٔ اثر روش‌های مختلف خشک‌کردن بر مدت‌زمان خشک شدن و برخی صفات فیتوشیمیایی کلیدی گیاه خارخاسک طراحی و اجرا شد. به این منظور آزمایشی بر پایهٔ طرح کاملاً تصادفی با هشت تیمار و سه تکرار در سال ۱٤۰۲ در دانشگاه شهیدبهشتی تهران اجرا شد. در این مطالعه از میوهٔ گیاه خارخاسک که از کلکسیون گیاهان دارویی دانشگاه شهید بهشتی که در مرحلهٔ میوه‌دهی برداشت شده بود، استفاده گردید. تیمارهای مورد آزمایش شامل خشک کردن طبیعی (خشک کردن در آفتاب و سایه)، خشک کردن در آون (٤۰، ٥۰ و ٦۰ درجه‌سانتی‌گراد) و خشک کردن در مایکروویو (توان ٥۰۰، ۷۰۰ و ۹۰۰ وات) بودند. در روش‌های مختلف، خشک کردن تا رسیدن محتوای رطوبت به ۱۰ درصد (بر پایهٔ وزن تر گیاهی) ادامه یافت. از نمونه‌های خشک شده جهت استخراج عصاره متانولی به منظور اندازه‌گیری برخی متابولیت‌های ثانویه شامل میزان محتوای فنل کل، فلانوئیدکل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، ساپونین کل و محتوای دیوسژنین استفاده گردید. بیشترین (۷۰ ساعت) و کمترین (٦ دقیقه) مدت زمان خشک شدن به ترتیب مربوط به تیمارهای خشک کردن درسایه و خشک کردن با توان ۹۰۰ وات مایکروویو بود. بالاترین محتوای فنل کل (۱۲/٦ میلی‌گرم گالیک اسید در گرم مادهٔ خشک)، فلاونوئید کل (۷/۳۸ میلی‌گرم روتین بر گرم وزن خشک) و فعالیت آنتی‌اکسیدانی (IC_{50} = ۱٦/۷۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر) در تیمار خشک کردن در سایه و بیشترین محتوای ساپونین کل (۹/۷٥ میکروگرم معادل اولئانولیک بر گرم وزن خشک) و دیوسژنین (۷/۷٥ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) در تیمار آون با دمای ٤۰ درجهٔ سانتی‌گراد مشاهده شد. با افزایش دمای آون و توان مایکروویو میزان متابولیت‌های ثانویه در عصارهٔ میوه خارخاسک کاهش یافت. به

نویسنده مسئول: قاسم اقلیما
رایانامه: gh_eghlima@sbu.ac.ir

طور کلی، خشک کردن در سایه و خشک کردن آون در دمای پایین (۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد) موثرترین روش‌ها برای حفظ ترکیبات فعال زیستی بودند، در حالی که خشک کردن مایکروویو یک جایگزین سریع با کمی کاهش کیفیت ارائه کرد. این یافته‌ها بینش‌های عملی برای بهینه‌سازی فرآیند پس از برداشت به منظور افزایش ارزش دارویی خارخاسک را ارائه می‌کند.

کلید واژه‌ها: دیوسژنین، ساپونین کل، فرآوری، فعالیت آنتی‌اکسیدانی

مقدمه

امروزه طیف وسیعی از متابولیت های ثانویه (مانند ساپونین‌ها، استروئیدها، آلکالوئیدها، فلانوئیدها، اسیدهای‌چرب، رزین‌ها، ویتامین‌ها و اسانس‌ها) تولید شده در گیاهان، به طور گسترده در طب سنتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. استفاده از گیاهان دارویی روزبه روز در حال گسترش است و در حال حاضر، تقریباً ۸۰ درصد داروها به طور مستقیم و غیر مستقیم از گیاهان دارویی به دست می‌آیند (Tyagi *et al.*, 2024). خارخاسک (*Tribulus terrestris* L.) گیاهی علفی از خانوادهٔ اسفندها (Zygophyllaceae) است که بومی آفریقای جنوبی، استرالیا، هند و اروپاست (Ștefănescu *et al.*, 2020). گیاه خارخاسک دارای فلاونوئیدها، استروئیدها، ساپونین‌ها، آلکالوئیدها، اسیدهای چرب غیر اشباع، ویتامین‌ها، تانن، رزین، پتاسیم، نیترات، فسفر، آهن، سدیم، کلسیم، گوگرد، کلر، اسیدآسپارتیک و اسیدگلوتامیک است (Semerdjieva and Zheljazkov, 2019; Ștefănescu *et al.*, 2020). این گیاه دارای خواص بیولوژیک مختلفی از جمله خاصیت ضد میکروبی، ضد باکتریایی، آنتی‌اکسیدانی، مهار سیکلواکسژناز، پاکسازی رادیکال‌های آزاد، مهار پراکسیداسیون چربی و تعدیل عوامل التهابی است (Zahedi *et al.*, 2023). در طب سنتی از این گیاه در درمان انواع بیمارها از جمله دفع سنگ کلیه، کاهش فشار خون، اثرات ضددیابتی، بیمارهای دستگاه قلبی-عروقی، اختلالات معده‌ای-روده‌ای، تقویت کننده و بهبود عملکرد جنسی در مردان و درمان بیماری‌های کبدی برای خارخاسک گزارش شده است (Dutt-Roy et *al.*, 2017; Haghmorad *et al.*, 2019).

فرآیندهای پس‌از برداشت اولیه مانند خشک کردن، کیفیت محصول برداشت شده از مزرعه را تضمین می‌کند و نقش کلیدی در حفظ کیفیت محصول نهایی دارد (Korkmaz *et al.*, 2017). خشک کردن وزن محصول را کاهش می‌دهد و حمل و نقل را تسهیل می‌کند، کیفیت محصول را در طول نگهداری حفظ می‌کند و از فساد و تخریب توسط میکروارگانیسم ها جلوگیری می‌کند (Babu *et al.*, 2018). معمولاً گیاهان دارویی و معطر تازه حاوی ۷۵ تا ۸۵ درصد رطوبت هستند که باید در طول فرآیند خشک کردن به کمتر از ۱۵درصدکاهش یابد تا تغییرات شیمیایی و تخریب میکروبیولوژیکی به حداقل برسد (Filho *et al.*, 2018). در فرآیند خشک کردن گیاهان دارویی براساس نوع گیاه، نوع مواد مؤثره (آلکالوئید، فنولیک‌اسیدها، اسانس و ترپنوئیدها)، نوع اندام آن‌ها و هزینه‌های انرژی باید روش مناسبی انتخاب نمود. بنابراین، برای هر گیاه دارویی و معطر بایستی یک روش خشک کردن مناسب انتخاب شود که نیازمند تحقیق و پژوهش است (Martín *et al.*, 2017). به‌کارگیری روش‌های خشک کردن سریع و صنعتی، نه تنها کیفیت محصول را حفظ می‌کند، بلکه مدت زمان خشک کردن را نیز به میزان چشم‌گیری کاهش می‌دهد (Parsafar *et al.*, 2022). روش‌های مختلفی برای خشک کردن گیاهان وجود دارد که از جمله آن‌ها می‌توان به خشک کردن طبیعی (با نور خورشید و سایه) و مصنوعی (با امواج ماکروویو، خشک کردن انجمادی، خشک کردن با هوای داغ و آون) اشاره کرد که هر یک دارای مزایا و معایبی هستند (Hassanpouraghdam *et al.*, 2010). خشک کردن به روش‌های طبیعی، علیرغم مزایای فراوانی (هزینهٔ

کم و تکنولوژی ساده) که دارد، منجر به از دست رفتن بسیاری از مواد فعال با ارزش می‌شود و هم زمان بر است و هم فضای وسیعی را می‌طلبد (Krakowska-Sieprawska *et al.*, 2022). روش‌های خشک‌کردن مصنوعی روش‌های جایگزین مناسبی برای تولید صنعتی گیاهان دارویی و معطر خشک شده هستند که باید از نظر تأثیر بر مواد فعال، هزینه‌های نیروی کار و مصرف انرژی به دقت مورد توجه و بررسی قرار گیرند (Mokhtarikhah *et al.*, 2020).

تاکنون، اثر روش‌های مختلف خشک کردن بر ترکیبات فیتوشیمیایی تعدادی از گیاهان دارویی گزارش شده است. اثر روش‌های مختلف خشک کردن مانند خشک کردن در آون، خشک کردن انجمادی و خشک کردن با پمپ حرارتی بر اندام هوایی گیاه گزنه نشان داد که بهترین روش خشک کردن پمپ حرارتی بود که باعث افزایش دو برابری محتوای فنل کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در عصاره در مقایسه با عصاره آبی به‌دست‌آمده از برگ‌های تازه شد، اما سطح اسید اسکوربیک را حدود ۳۹ درصد کاهش داد (Garcìa *et al.*, 2021). در مطالعه‌ای دیگر، اثر روش‌های خشک کردن در آفتاب، سایه، انجمادی، هوای گرم و خلاء را بر ترکیبات فنلی و خواص آنتی‌اکسیدانی برگ لیمو مرت (*Backhousia citriodora*) مورد بررسی قرار دادند. نتایج این محققین نشان داد بیش‌ترین ترکیبات فنل کل، فلاونوئید کل، پروآنتوسیانیدین، گالیک اسید و هرسپتین در روش خشک کردن با خشک کردن انجمادی گزارش شد. همچنین خشک کردن در مایکروویو با توجه به پایین بودن مدت زمان خشک کردن و کارآیی مصرف انرژی را در مقیاس صنعتی برای خشک کردن برگ‌های این گیاه معرفی کردند (Saifullah *et al.*, 2019). اثر روش‌های مختلف خشک کردن بر ویژگی‌های فیتوشیمیایی علف‌طلایی اروپایی (*Solidago virga-urea* L.) نشان داد که کم‌ترین و بیشترین مدت زمان خشک شدن به ترتیب مربوط به تیمارهای خشک کردن با توان ۱۰۰۰ وات مایکروویو و خشک کردن در سایه بود. همچنین، میزان ترکیبات فلاونوئید و لئوکارپوزاید با افزایش دما از ۴۰ به ۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد کاهش یافت و بالاترین میزان لئوکارپوزاید در روش خشک کردن در آون با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد مشاهد شد (Parsafar *et al.*, 2022). در مطالعه دیگری، بالاترین محتوای فنل کل و فلاونوئید کل در گیاه دارویی شمعدانی عطری به ترتیب در خشک کردن در سایهٔ احاطه شده و سایه هوای آزاد گزارش شد (Mumivand *et al.*, 2020).

با توجه به کاربرد گسترده گیاه دارویی خارخاسک در صنایع داروسازی، همچنین نظر به اهمیت فرآیند خشک کردن در گیاهان دارویی، این پژوهش با هدف بررسی اثر روش‌های مختلف خشک کردن (خشک کردن در آفتاب، سایه، آون و مایکروویو) بر مدت زمان خشک شدن و برخی صفات فیتوشیمیایی (از جمله محتوای دیوسژنین) گیاه طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در قالب طرح کاملاً تصادفی با هشت تیمار (روش‌های مختلف خشک کردن) و سه تکرار در سال ۱۴۰۲ اجرا گردید. برای انجام آزمایشات، از نمونه‌های گیاهی خارخاسک کشت شده در کلکسیون گیاهان دارویی دانشگاه شهید بهشتی تهران در مرحلهٔ میوه‌دهی استفاده شد (شکل ۱). این منطقه در محدودهٔ درجهٔ ۳۵ و ۴۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۲۳ دقیقه طول شرقی و در ارتفاع ۱۷۷۳ متر از سطح دریا قرار دارد. از نظر اقلیمی دمای حداقل و حداکثر ۱۰/۵ و ۲۰/۸ درجهٔ سانتی‌گراد و متوسط بارندگی ۴۲۰/۵ میلی‌متر می‌باشد.

روش‌های مختلف مورد استفاده در این آزمایش شامل خشک کردن طبیعی (خشک کردن در آفتاب و سایه با میانگین دمای ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد)، خشک کردن در آون (دمای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد) و خشک کردن در مایکروویو (۵۰۰، ۷۰۰ و ۹۰۰ وات) نجام شد. کاهش وزن نمونه‌ها در طول خشک شدن با استفاده از ترازوی دیجیتالی

دقیق ثبت شد. هر کدام از تیمارهای خشک کردن سه بار تکرار شد. در تمام تیمارهای خشک کردن، مدت زمان خشک کردن بر اساس ۱۰ درصد وزن اولیه به دست آمده بود (Sriwichai *et al.*, 2019).

به منظور عصاره‌گیری ۵۰۰ میلی‌گرم پودر میوه هر یک از نمونه‌ها در ۱۰ میلی‌لیتر متانول ۸۰ درصد با استفاده از امواج فراصوت تولید شده توسط دستگاه اولتراسونیک (مدل SingenHtw Elmasonic- D 78224- ساخت شرکت الما آلمان)، با قدرت ۴۰ کیلو هرتز به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۴۰ درجه‌سانتی‌گراد عصاره گیری شد. سپس عصاره فوق با استفاده از دستگاه سانتریفیوژ یخچال‌دار (مدل R5702 ساخت شرکت اپندورف)، به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید و تا زمان آنالیز در یخچال نگهداری شد.

محتوای فنل کل با استفاده از معرف فولین سیوکالتیو اندازه‌گیری شد. به ۰/۵ میلی‌لیتر از هر عصاره ۲/۵ میلی‌لیتر واکنشگر فولین سیوکالتیو ۰/۲ نرمال افزوده شد، پس از ۵ دقیقه ۲ میلی‌لیتر از محلول ۷۵ گرم بر لیتر کربنات سدیم به آن اضافه شد. پس از ۲ ساعت میزان جذب مخلوط در طول موج ۷۶۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتوفتومتر قرائت شد. از گالیک اسید به عنوان استاندارد برای رسم منحنی کالیبراسیون استفاده شد و میزان فنل کل معادل میلی‌گرم گالیک اسید در گرم وزن خشک گیاه گزارش شد (Slinkard and Singleton, 1977).

محتوای فلاونوئید کل با استفاده از معرف آلومینیوم کلرید اندازه‌گیری شد. به ۰/۵ میلی‌لیتر از هر عصاره، ۱/۵ میلی‌لیتر متانول، ۰/۱ میلی‌لیتر از محلول آلومینیوم کلرید ۱۰ درصد در اتانول، ۰/۱ میلی‌لیتر از استات پتاسیم ۱ مولار و ۲/۸ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد. جذب مخلوط ۳۰ دقیقه پس از نگهداری در دمای اتاق، در طول موج ۴۱۵ نانومتر قرائت شد. از روتین به عنوان استاندارد برای رسم منحنی کالیبراسیون استفاده شد. میزان فلاونوئید کل براساس میزان معادل میلی‌گرم روتین در گرم وزن خشک گیاه گزارش شد (Arvouet-Grand *et al.*, 1994).

فعالیت رادیکال آزاد DPPH با استفاده از روش Liyana-Pathirana و Shahidi (۲۰۰۵) انجام شد. در این آزمایش غلظت‌های ۱۵/۶۲-۵۰۰ (شش غلظت) میکروگرم در میلی‌لیتر در متانول تهیه گردید. از هر غلظت با سه تکرار، ۱/۵ میلیتر عصاره برداشته با ۱/۵ میلی‌لیتر DPPH مخلوط و داخل لوله آزمایش ریخته، سپس در دستگاه ورتکس به شدت آن‌ها را تکان داده و به مدت ۳۰ دقیقه آن‌ها را در تاریکی نگه‌داری شد. جذب نمونه‌ها با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۷ نانومتر ثبت شد. به منظور محاسبه مقدار IC_{50} در سنجش DPPH، ابتدا یک رقت سریالی از هر عصاره (۳/۲۱۵ – ۱۰۰ میکروگرم بر میلی لیتر) تهیه شد. سپس سنجش DPPH برای هر رقت به صورت تکراری انجام شد و درصد اثر مهاری DPPH به عنوان شاخصی از فعالیت آنتی اکسیدانی آن بر اساس معادله خط زیر محاسبه شد. پس از آن، منحنی پاسخ دوز در Microsoft Excel رسم شد. محور X منحنی غلظت (۳/۱۲۵ – ۱۰۰ میکروگرم بر میلی لیتر) و محور Y نشان دهنده درصد اثر مهار DPPH بود. با افزودن خط روند لگاریتمی به هر منحنی و به دست آوردن معادله منحنی برای هر ترکیب، غلظتی که ۵۰ درصد اثر مهاری DPPH را نشان می‌دهد محاسبه و به عنوان IC50 ترکیب در نظر گرفته شد.

$$\text{DPPH scavenging effect (\%)} = (Abs_0 - Abs_1/Abs_0) \times 100$$

Abs_0 = The absorbance of the control.
Abs_1 = The absorbance of the sample.

ترکیب دیوسژنین از میوه آسیاب شده تیمارهای مختلف خشک کردن استخراج شد (Herrera *et al.*, 2019). پودر میوه پس از سونیکاسیون با حلال متانول ۸۰ درصد و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، نمونه ها با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه سانتریفویژ گردید. محلول رویی پس از اضافه کردن حجم معادل (۲۰ میلی‌لیتر) ان-هگزان بازیابی و چربی زدایی شد. فاز متانول با استفاده از روتاری چرخشی در دمای ۳۵ درجهٔ

سانتی‌گراد تبخیر شد. نسب مساوری از ان-بوتانول اشباع شده و آب به عصارهٔ خشک (۵۰ میلی‌گرم در میلی‌لیتر) اضافه شد و محلول به مدت ۵ دقیقه با سرع ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. سپس محلول رویی توسط روتاری چرخشی در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد تبخیر شد. سپس عصاره خشک در ۱۰ میلی‌لیتر استونیتریل حل و فیلتر شد. محتوای دیوسژنین توسط دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (مدل Wellchron-K1001) و آشکارساز پی‌دی ا (مدل کا۲۸۰۰) و ستون Strategy C8 (۵۰ mm × 2 mm, 5 µm) اندازه‌گیری شد. از حلال‌های استونیتریل و آب مخصوص کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا با نسبت ۱۰:۹۰ (V/V) به عنوان فاز متحرک استفاده شد. پیک‌ها در طول موج‌های ۲۱۰ نانومتر بررسی شدند. استاندارد دیوسژنین از شرکت سیگما تهیه گردید. به منظور رسم منحنی استاندارد از غلظت‌های ۱۰، ۲۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۵۰ پی‌پی‌ام تهیه و به دستگاه تزریق گردید. از نرم‌افزار شرکت ازکروم که بر روی سیستم عامل ویندوز نصب شده است، برای انتگرال‌گیری و محاسبه سطح زیر منحنی استفاده گردید. مساحت پیک غلظت‌های استاندارد حساب شده و منحنی استاندارد با نرم افزار اکسل رسم گردید و سپس معادله خط ($Y= 8130.69X-11898.89, R^2= 0.998$) به دست آمد و محتوای دیوسژنین هر نمونه براساس منحنی کالیبراسیون محاسبه شد.

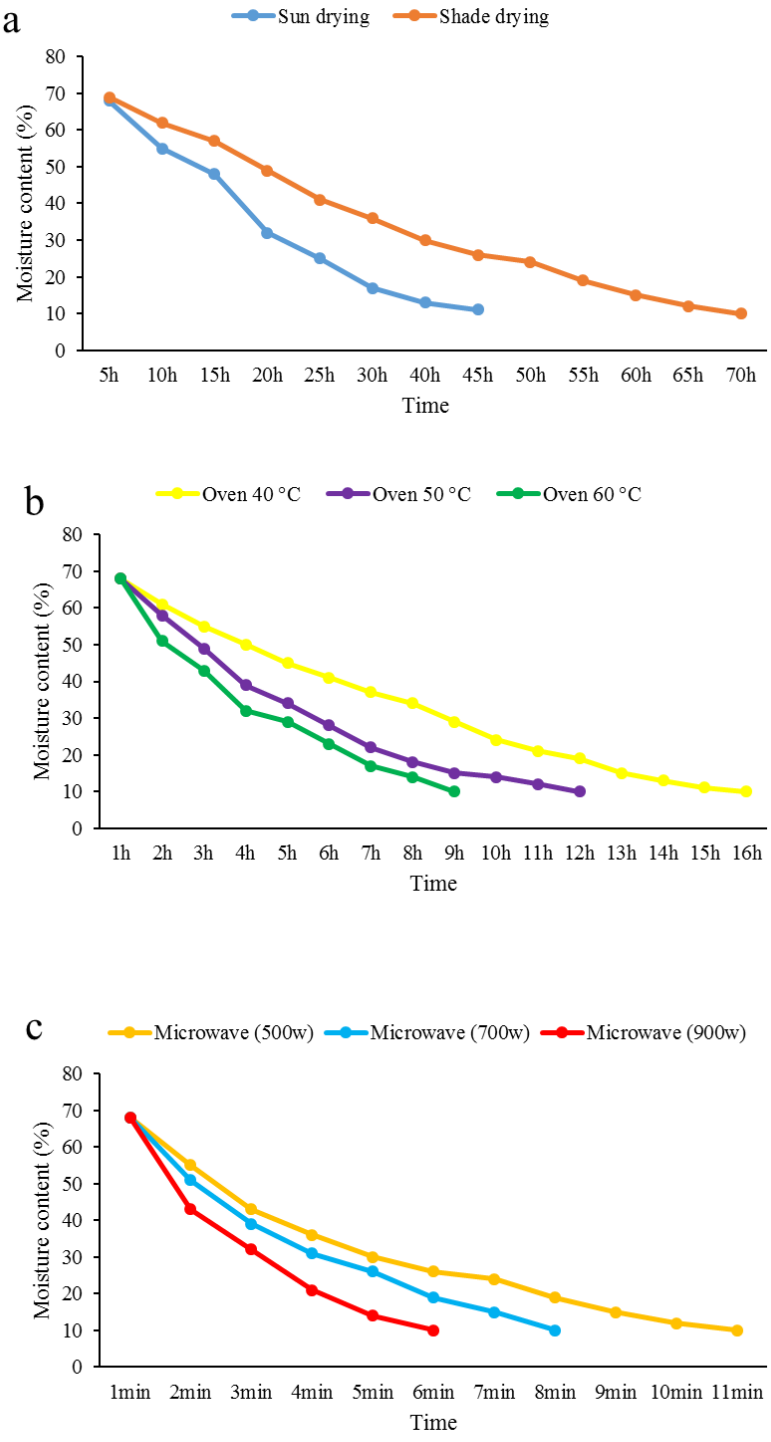
جهت اندازه‌گیری محتوای ساپونین کل از دستگاه اسپکتروفتومتری استفاده شد (Medina-Meza *et al.*, 2016). بدین منظور، یک میلی‌لیتر مخلوط معرف (اسید استیک گلاسیال/ سولفوریک اسید با نسبت ۱:۱ حجمی/حجمی) به ۰/۲۵ میلی‌لیتر عصاره از هر نمونه اضافه شد. مخلوط حاصل سپس ورتکس شد و به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب با دمای ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس خارج و بعد از سرد شدن میزان جذب نمونه‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتری در طول موج ۵۲۷ نانومتر اندازه گیری شد. از اولئانولیک اسید به عنوان استاندار (۰-۱۰۰۰ میکروگرم بر میلی لیتر) برای رسم منحنی کالیبراسیون استفاده شد. محتوای ساپونین کل براساس میزان معادل میکروگرم اولئانولیک اسید در گرم وزن خشک گیاه گزارش شد.

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS صورت گرفت و مقایسه میانگین تیمارها با آزمون دانکن در سطح پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

محتوای رطوبتی میوهٔ خارخاسک و مدت زمان خشک کردن

روند خشک شدن و مدت زمان لازم برای دستیابی به محتوای رطوبتی ۱۰ درصد بر پایهٔ وزن تر در خشک کردن با توان‌های مختلف مایکروویو در شکل ۱ و جدول ۱ نشان داده شده است. براساس نتایج به دست آمده، افزایش توان‌های مایکروویو منجر به کاهش معنی‌دار زمان مورد نیاز برای رسیدن به محتوای رطوبتی ۱۰ درصد بر پایه وزن تر شد. همچنین زمان خشک کردن در روش مایکروویو به ویژه توان ۹۰۰ وات در مقایسه با روش آون (با مدت زمان ۹، ۱۲ و ۱۶ ساعت) کوتاه‌تر بود (جدول ۱). براساس نمودار کاهش محتوای رطوبتی میوه گیاه خارخاسک در برابر زمان (شکل ۱)، در روش خشک با آون، فرآیند خشک کردن با توجه به دماهای گوناگون، از ۹ تا ۱۶ ساعت متفاوت بود و افزایش دمای آون سبب افزایش شیب منحنی کاهش محتوای رطوبتی شد. همچنین با افزایش دما، زمان خشک کردن به طور معنی‌داری کاهش یافت. فرآیند خشک کردن در روش طبیعی به ترتیب در روش آفتاب و سایه ۴۵ و ۷۰ ساعت بود.



شکل ۱- روند کاهش محتوای رطوبتی میوهٔ خارخاسک به روش طبیعی (سایه و آفتاب) (a)، در واکنش به دمای ٤٠، ٥٠ و ٦٠ درجهٔ سانتی‌گراد آون (b) و توان ٥٠٠، ٧٠٠ و ٩٠٠ وات مایکروویو (c).

Figure 1. The process of reducing the moisture content of *Tribulus terrestris* fruits under natural drying (shade and sunlight) (a), oven drying at 40, 50 and 60 °C (b) and microwave drying at 500, 700 and 900 W of (c)

جدول ۱- مدت زمان لازم برای رسیدن به محتوای رطوبتی ۱۰ درصد بر پایهٔ وزن تر تیمارهای مختلف

Table 1. The time required for the treatments to reach a moisture content of 10% on a fresh-weight basis

Drying method	Sun	Shade	Oven (40 °C)	Oven (50 °C)	Oven (60 °C)	Microwave (500W)	Microwave (700W)	Microwave (900W)
Time	45±0.15 h	70±0.21 h	16±0.12 h	12±0.15 h	16±0.24 h	11±0.39 min	8±0.52 min	6±0.45 min

با توجه به رطوبت هوا، میزان رطوبت گیاه، دما و حجم مواد گیاهی، زمان مورد نیاز برای خشک کردن در روش‌های مختلف خشک کردن می‌تواند متفاوت باشد. دمای بالا زمان خشک شدن را کاهش می‌دهد، از طرف دیگر مدت زمان خشک کردن بالا باعث افزایش مصرف انرژی، افزایش تخریب و کاهش بیشتر کیفیت می‌شود. بنابراین، برای خشک شدن مناسب و کاهش تخریب، دمای مناسب باید انتخاب شود (Mahmoudi *et al.*, 2024). در این مطالعه نیز نتایج نشان داد که افزایش دما باعث کاهش زمان خشک شدن می‌شود که با سایر مطالعات بر روی گیاهان مرزه بختیاری (Pirbalouti *et al.*, 2013)، به‌لیمو (Ebadi *et al.*, 2015) و چوچاغ (Mahmoudi *et al.*, 2024) همخوانی داشت. در این مطالعه بیشترین و کمترین مدت زمان خشک کردن به ترتیب در روش خشک کردن در سایه و خشک کردن با ماکروویو (۹۰۰ وات) بود. خشک کردن به روش‌های طبیعی به دلیل سادگی و تجهیزات کم هزینه در مقیاس تجاری بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد. با این حال، این روش‌ها به دلیل نیاز به هوای گرم همرفتی، زمان خشک شدن طولانی‌تری دارد. علاوه بر مدت زمان خشک شدن طولانی‌تر، همچنین محصولات گیاهی در معرض اثرات نامطلوبی مانند کاهش ترکیبات فعال زیستی، انقباض، آبرسانی مجدد آهسته و از دست دادن رنگ قرار می‌گیرند (Kaveh *et al.*, 2021). از این رو، استفاده از مایکروویو به عنوان یک تکنیک جایگزین جالب ظاهر شده است. برخلاف روش های خشک کردن طبیعی، در مایکروویوها گرما توسط مولکول‌های آب در تعامل مستقیم با امواج الکترومغناطیسی تولید می‌شود که منجر به اختلاف فشار بخار آب بین نواحی داخلی و سطحی می‌شود که در نهایت با خروج سریع رطوبت به بیرون همراه است (Zia and Alibas, 2021). به طور کلی، افزایش قدرت مایکروویو با کاهش زمان خشک شدن نمونه‌های خارخاسک همراه بود. امواج مایکروویو با فعال شدن سریع جذب انرژی مولکول‌های آب، نرخ تبخیر رطوبت را از بافت‌های گیاهی افزایش می‌دهند. این منجر به ایجاد یک گرادیان دما بین نمونه و هوا در محفظه خشک‌کن می‌شود که رطوبت در نمونه‌ها را به سمت بیرون حرکت می‌دهد (Mouhoubi et *al.*, 2022). نتایج این مطالعه با گزارش‌های قبلی که نشان می‌دهند افزایش قدرت ماکروویو باعث کاهش مدت زمان خشک شدن گیاهان مختلف می‌شود، مطابقت داشت (Alibas *et al.*, 2019; Liu *et al.*, 2021; Pradechboon *et al.*, 2022).

محتوای فنل و فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی

اثر روش‌های مختلف خشک کردن بر محتوای فنل کل در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین محتوای فنل کل نشان داد که بیشترین محتوای فنل کل به ترتیب در روش خشک کردن در سایه (۱۲/۶ میلی‌گرم معادل گالیک اسید بر گرم وزن خشک)، دمای ۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد آون (۱۰/۰۶ میلی‌گرم معادل گالیک اسید بر گرم وزن خشک) و خشک کردن در آفتاب (۹/۷۲ میلی‌گرم معادل گالیک اسید بر گرم وزن خشک) به دست آمد. همچنین کمترین محتوای فنل کل در توان‌های ۷۰۰ و ۹۰۰ وات مایکروویو مشاهده شد که به ترتیب ۷/۵۲ و ۶/۴۶ میلی‌گرم معادل گالیک اسید بر گرم وزن خشک بود (شکل ۲).

همچنین براساس نتایج به دست آمده، محتوای فلاونوئید کل به طور معنی‌داری تحت تأثیر روش‌های مختلف خشک کردن در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۲). محتوای فلاونوئید کل در روش‌های مختلف خشک کردن در آفتاب، سایه، خشک کردن در دمای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد آون، و توان‌های ۵۰۰، ۷۰۰ و ۹۰۰ وات مایکروویو به ترتیب ۷/۰۶، ۷/۳۸، ۶/۸۵، ۶/۳۴، ۵/۱۶، ۵/۲۴، ۴/۵۸ و ۳/۹۰ میلی‌گرم معادل روتین بر گرم وزن خشک بود، به طوری که بیشترین میزان آن در خشک کردن در سایه و کمترین آن در توان ۹۰۰ وات مایکروویو بود (شکل ۲).

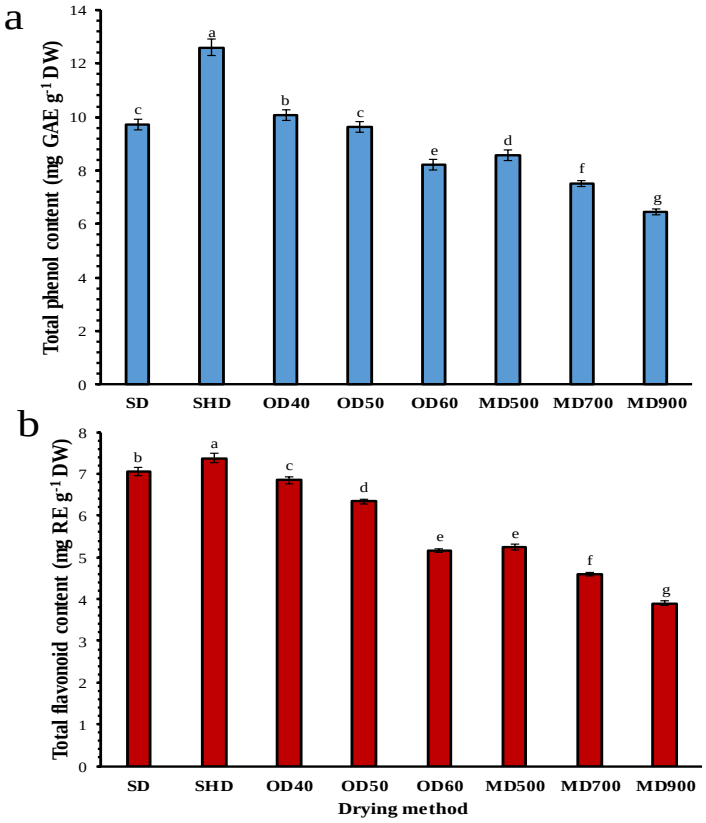
جدول ۲- تجزیهٔ واریانس ترکیبات فیتوشیمیایی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی خارخاسک تحت تأثیر روش‌های خشک کردن

Table 2. Analysis of variance of phytochemical compounds and antioxidant activity of *Tribulus terrestris* under the influence of different drying methods

S.O.V	df	Means of squares				
		Total phenol content	Total flavonoid content	DPPH	Total saponins	Diosgenin content
Drying method	7	10.43**	4.82**	68.84**	4.12**	5.91**
Error	16	0.022	0.002	0.205	0.007	0.009
C.V (%)		1.63	0.76	0.91	1.09	1.71

**، معنی داری در سطح یک درصد

**; Significant at the 0.01 probability level



شکل ۱- مقایسه میانگین محتوای فنل کل (a) و فلاونوئید کل (b) خارخاسک تحت تأثیر روش‌های مختلف خشک کردن (میانگین‌ها ± خطای استاندارد که حداقل یک حرف مشترک دارند، در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون دانکن تفاوت آماری معنی‌داری ندارند). (SD: خشک‌شده در آفتاب؛ SHD: خشک‌شده در سایه، OD40: آون (۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد)، OD50: آون (۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد)، OD60: آون (۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد)، MD500: مایکروویو (۵۰۰ وات)؛ MD700: مایکروویو (۷۰۰ وات)، MD900: مایکروویو (۹۰۰ وات))

Figure 2. Mean comparison for total phenol content (a) and total flavonoid (b) of *Tribulus terrestris* under the influence of different drying methods (Means ± standard error that have at least one letter in common have no statistically significant difference at the 5% probability level of Duncan test). (SD: Sun dry; SHD: Shade drying ,OD40: Oven (40 °C), OD50: Oven (50 °C), OD60: Oven (60°C), MD500: Microwave (500 W); MD700: Microwave (700 W), MD900: Microwave (900 W))

فعالیت آنتی‌اکسیدانی به روش DPPH انجام شد. نتایج به دست آمده به صورت غلظتی از عصاره که توانایی مهار رادیکال آزاد DPPH را به میزان ۵۰ درصد دارد (IC_{50}) گزارش گردید. هرچه میزان IC_{50} عصارهٔ میوهٔ خارخاسک کمتر باشد نشان دهنده فعالیت آنتی‌اکسیدانی بیشتر آن عصاره است. میزان IC_{50} برای تیمارهای مختلف از ۱۶/۷۰ تا ۳۰/۲۳ میکروگرم بر میلی‌لیتر متغیر بود. بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی (کمترین IC_{50}) در روش خشک کردن در سایه و کمترین فعالیت آنتی اکسیدانی (بیشترین IC_{50}) مربوط خشک کردن در مایکروویو با توان ۹۰۰ وات بود (شکل ۳).

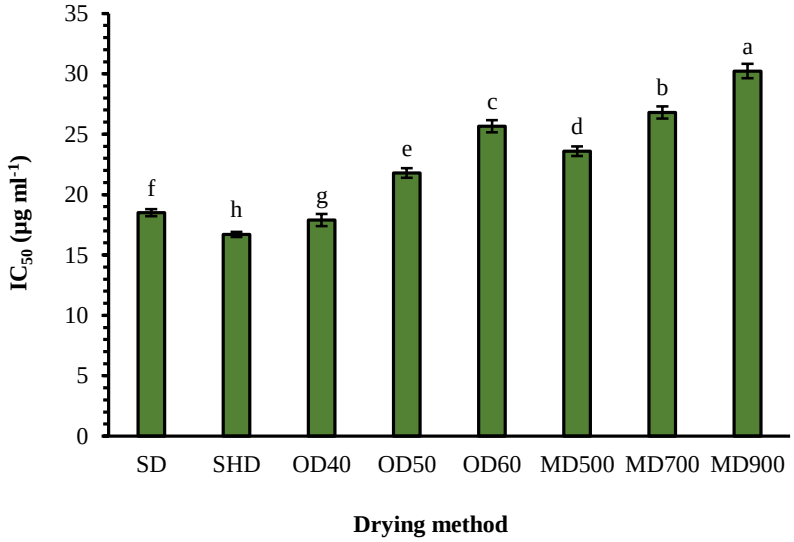
متابولیت‌های ثانویه نقش مهمی در اثرات بیولوژیکی و درمانی و پاسخ‌های دفاعی گیاه در مقابل عوامل زیستی و غیر زیستی ایفا می‌کنند (Khalid *et al.*, 2022). فرآیند خشک کردن ممکن است تغییراتی را در متابولیت‌های ثانویه و ترکیبات زیست فعال گیاهان دارویی مختلف ایجاد کند. مطالعات مختلف نشان داده است که دمای بالا به طور جدی به متابولیت‌های ثانویهٔ گیاهی مانند ترکیبات فنلی، ترکیبات فلاونوئیدی و خواص آنتی اکسیدانی در گونه‌های مختلف گیاهی آسیب می‌رساند (Hihat *et al.*, 2017; Nguyen and Le, 2018). ترکیبات فنلی و فلاونوئیدها مهم‌ترین اجزای فیتوشیمیایی و دارای خواص آنتی اکسیدانی بالایی هستند (Rice-Evans, 2001). در مطالعه ما بیشترین محتوای ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی در روش خشک کردن در سایه و آون ۴۰ درجه سانتی‌گراد شد و کمترین آن ها در مایکروویو با توان ۹۰۰ وات حاصل شد. گزارش‌های قبلی که نشان دادند ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی در روش خشک کردن با قدرت های بالای مایکروویو کاهش می‌یابد، نتایج این پژوهش را تأیید می‌کنند (Thiangma *et al.*, 2022; Zia *et al.*, 2022). سطوح بالای توان مایکروویو فراتر از حد آستانه باعث اکسیداسیون و تخریب حرارتی ترکیبات معطر با غیرفعال‌سازی آنزیم می‌شود و باعث کاهش سطح ترکیبات زیست فعال می‌شود (Nüchter *et al.*, 2004; Thiangma *et al.*, 2022).

محتوای ساپونین کل و دیوسژنین

روش‌های مختلف خشک کردن اثراث قابل‌توجهی بر محتوای ساپونین کل عصاره میوه خارخاسک داشتند ($p<0.01$). بالاترین محتوای ساپونین کل (۹/۷۵ میکروگرم معادل اولئانولیک بر گرم وزن خشک) در روش خشک کردن در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد آون حاصل شد و کمترین میزان (۶/۱۶ میکروگرم معادل اولئانولیک بر گرم وزن خشک) در روش خشک کردن با توان ۹۰۰ وات مایکروویو مشاهده شد (شکل ۴).

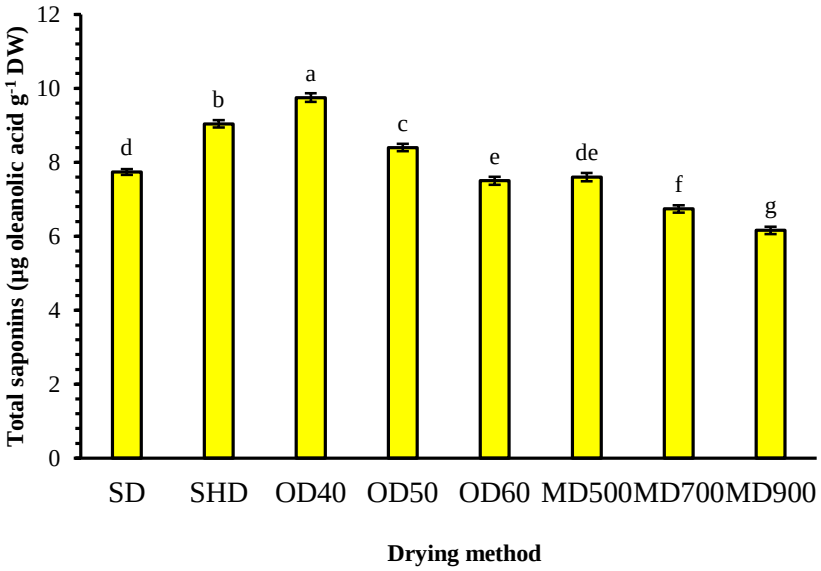
نتایج اثر روش‌های مختلف خشک کردن بر محتوای دیوسژنین حاکی از آن است که روش خشک کردن اثر معنی‌داری در سطح یک درصد بر محتوای این ترکیب داشت (جدول ۲). براساس نتایج به‌دست آمده کمترین محتوای دیوسژنین (۳/۱۶ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) مربوط به میوه خشک شده در مایکروویو با توان ۹۰۰ وات بود در حالی‌که بیشترین محتوای دیوسژنین (۷/۷۵ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) برای نمونه‌های میوه خشک شده در آون با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد (شکل ۵ و ۶).

ساپونین، یک گلیکوزید طبیعی است که به طور گسترده در گیاهان توزیع می‌شود. ساپونین‌ها دارای فعالیت‌های دارویی فراوانی از جمله ضد ویروس، ضد التهاب، ضد سرطان، ضد قارچ، ضد میکروبی می‌باشند و همچنین به عنوان آنتی‌اکسیدان در انسان عمل می‌کنند (Juang and Liang, 2020). بیشرین میزان ساپونین کل و دیوسژنین در روش خشک کردن با آون و دمای ۴۰ درجه‌سانتی‌گراد مشاهده شد و کمترین آن در مایکروویو با توان ۹۰۰ وات بود. افزایش قدرت مایکروویو و دما در آون منجر به کاهش ترکیبات ساپونینی خارخاسک شد. کاهش محتوای ساپونین ممکن است به انحطاط ناشی از گرما در فرآیندهای خشک کردن نسبت داده شود (Ademiluyi *et al.*, 2018).



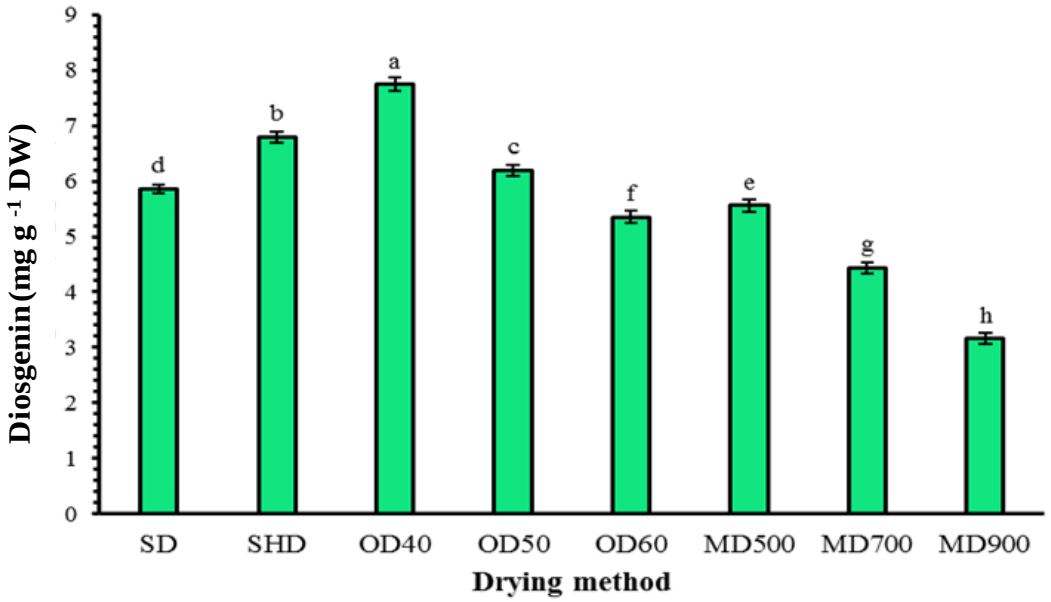
شکل ۳- مقایسه میانگین فعالیت آنتی‌اکسیدانی خارخاسک تحت تأثیر روش‌های مختلف خشک کردن (میانگین‌ها ± خطای استاندارد که حداقل یک حرف مشترک دارند، در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون دانکن تفاوت آماری معنی‌داری ندارند)

Figure 3. Mean comparison for antioxidant activity of *Tribulus terrestris* under the influence of different drying methods (Means ± standard error that have at least one letter in common have no statistically significant difference at the 5% probability level of Duncan test)



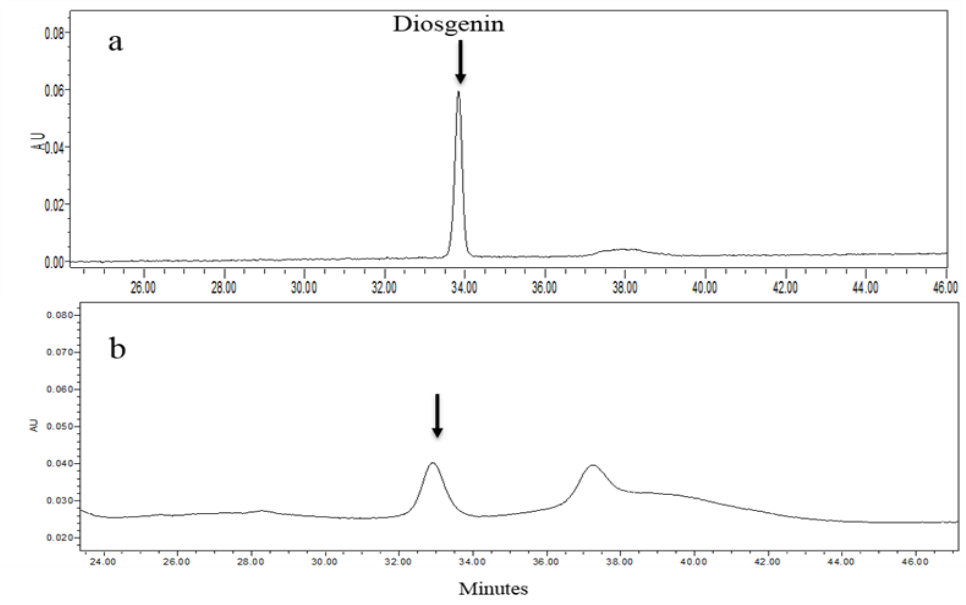
شکل ٤- مقایسه میانگین محتوای ساپونین کل خارخاسک تحت تأثیر روش‌های مختلف خشک کردن (میانگین‌ها ± خطای استاندارد که حداقل یک حرف مشترک دارند، در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون دانکن تفاوت آماری معنی‌داری ندارند)

Figure 4. Mean comparison for total saponins content of *Tribulus terrestris* under the influence of different drying methods (Means ± standard error that have at least one letter in common have no statistically significant difference at the 5% probability level of Duncan test)



شکل ۵- مقایسه میانگین محتوای دیوسژنین خارخاسک تحت تأثیر روش‌های مختلف خشک کردن (میانگین‌ها ± خطای استاندارد که حداقل یک حرف مشترک دارند، در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون دانکن تفاوت آماری معنی‌داری ندارند)

Figure 5. Mean comparison for diosgenin content of *Tribulus terrestris* under the influence of different drying methods (Means ± standard error that have at least one letter in common have no statistically significant difference at the 5% probability level of Duncan test)



شکل ٦- کروماتوگرام HPLC-PDA دیوسژنین استخراج شده از گیاه خارخاسک (استاندارد (a)، روش خشک کردن در آون ٤٠ درجهٔ سانتی‌گراد (۷/۷۵ میلی گرم بر گرم وزن خشک) (b)

Figure 6. HPLC-PDA chromatogram of diosgenin extracted from *Tribulus terrestris* ((standard (a), drying in the oven 40 °C method (7.75 mg g^{-1} DW) (b)

نتیجه‌گیری

براساس نتایج روش‌های مختلف خشک کردن اثر معنی‌داری بر محتوای ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، ساپونین کل، محتوای دیوسژنین و مدت زمان خشک کردن داشت. روش‌های خشک کردن از طریق اثر بر محتوای ترکیبات ثانویه کیفیت گیاه دارویی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. در این مطالعه افزایش دمای آون و قدرت مایکروویو در طول فرآیند خشک کردن موجب کاهش ترکیبات ثانویه از جمله ترکیبات فنلی، فلاونوئیدی، ساپونین کل، دیوسژنین و فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه خارخاسک شد. بیشترین میزان محتوای فنل کل، فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در روش خشک کردن در سایه مشاهده شد. همچنین خشک در کردن در آون با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد بیشترین محتوای ساپونین کل و دیوسژنین را داشت. کمترین میزان صفات مورد مطالعه در تیمار خشک کردن در مایکروویو با توان ۹۰۰ وات به دست آمد. بهینه سازی و شرایط خشک کردن عمدتاً به ویژگی‌های مواد خام گیاهی، مواد مؤثره آن و همچنین روش‌های فرآوری بستگی دارد. این امر ایجاب می کند که شرایط خشک کردن براساس نوع ماده گیاهی و مواد مؤثره برای هر گیاهی بهینه سازی شود.

سپاس‌گزاری

این تحقیق با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه شهید بهشتی انجام شده است که نویسندگان مقاله، کمال تشکر و قدردانی را ابراز می نمایند.

References

Ademiluyi, A.O., Aladeselu, O.H., Oboh, G., & Boligon, A.A. (2018). Drying alters the phenolic constituents, antioxidant properties, α amylase and α glucosidase properties of moringa (*Moringa oleifera* L.) leaf. *Food Science & Nutrition*, 6(8), 2123-2133. https://doi.org/10.1002/fsn3.770

Alibas, I., Zia, M.P., & Yilmaz, A. (2019). The effect of drying methods on color and chlorophyll content of parsley leaves. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 7, 919–926. https://doi.org/10.24925/turjaf.v7i6.919-926.2548

Arvouet-Grand, A., Vennat, B., Pourrat, A., & Legret, P. (1994). Standardization of propolis extract and identification of principal constituents. *Journal de Pharmacie de Belgique*, 49(6), 462-428.

Babu, A.K., Kumaresan G., Raj V.A.A., & Velraj R. (2018). Review of leaf drying: Mechanism and influencing parameters, drying methods, nutrient preservation, and mathematical models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 536–556. https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.002

Dutt-Roy, R., Kayalvizhi, E., & Chandrasekhar, M. (2017). Evaluation of the antidepressant activity of *Tribulus terrestris* in diabetic depression in rat model. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 8(12), 5392–5399. https://doi.org/0.13040/IJPSR.0975-8232.8(12).5392-99

Ebadi, M.T., Azizi, M., Sefidkon, F., & Ahmadi, N. (2015). Influence of different drying methods on drying period, essential oil content and composition of *Lippia citriodora* Kunth. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 2, 182–187. https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2015.06.001

Filho, Corrêa., Martinazzo, L.C., de Souza Teodoro, A.P., & Vivès, L.C.E. (2018). Microbiological quality and essential oil of parsley (*Petroselinum crispum* L.) submitted to the hygienizing and drying process. *Industrial Crops and Products*, 114, 180–184. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.01.063

Garcìa, L.M., Ceccanti, C., Negro, C., De Bellis, L., Incrocci, L., Pardossi, A., & Guidi, L. (2021). Effect of drying methods on phenolic compounds and antioxidant activity of *Urtica dioica* L. leaves. *Horticulturae*, 7, 10. https://doi.org/10.3390/horticulturae7010010

Haghmorad, D., Mahmoudi, M.B., Haghighi, P., Alidadiani, P., Shahvazian, E., Tavasolian, P., Hosseini, M., & Mahmoudi, M. (2019). Improvement of fertility parameters with *Tribulus terrestris* and *Anacyclus pyrethrum* treatment in male rats. *International Brazilian Journal of Urology*, 45, 1043–1054. https://doi.org/10.1590/S1677-5538.IBJU.2018.0843

Hassanpouraghdam, M.B., Hassani, A., Vojodi, L. & Farsad-Akhtar, N. (2010). Drying method affects essential oil content and composition of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 13(6), 759-766. https://doi.org/10.1080/0972060X.2010.10643892

Herrera, T., Navarro del Hierro, J., Fornari, T., Reglero, G., & Martin, D. (2019). Acid hydrolysis of saponin-rich extracts of quinoa, lentil, fenugreek and soybean to yield sapogenin-rich extracts and other bioactive compounds. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99, 3157–3167. https://doi.org/10.1002/JSFA.9531

Hihat, S., Remini, H., & Madani, K. (2017). Effect of oven and microwave drying on phenolic compounds and antioxidant capacity of coriander leaves. *International Food Research Journal*, 24, 503–509.

Juang, Y.P. & Liang, P.H. (2020). Biological and pharmacological effects of synthetic saponins. *Molecules*, 27, 25(21), 4974. https://doi.org/10.3390/molecules25214974

Kaveh, M., Golpour, I., Gonçalves, J.C., Ghafouri, S., & Guiné, R. (2021). Determination of drying kinetics, specific energy consumption, shrinkage, and colour properties of pomegranate arils submitted to microwave and convective drying. *Open Agriculture*, 6, 230–242. https://doi.org/10400.19/6707

Korkmaz, A., Hayaloglu, A.A., & Atasoy, A.F. (2017). Evaluation of the volatile compounds of fresh ripened *Capsicum annuum* and its spice pepper (dried red pepper flakes and isot). *LWT Food Science and Technology*, 84, 842–850. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.06.058

Krakowska-Sieprawska, A., Kiełbasa, A., Rafi´nska, K., Ligor, M., & Buszewski, B. (2022). Modern methods of pre-treatment of plant material for the extraction of bioactive compounds. *Molecules*, 27, 727-730. https://doi.org/10.3390/molecules27030730

Liu, H., Liu, H., Liu, H., Zhang, X., Hong, Q., Chen, W., & Zeng, X. (2021). Microwave drying characteristics and drying quality analysis of corn in China. *Processes*, 9, 1511. https://doi.org/10.3390/pr9091511

Mahmoudi, A., Ebadi, M.T., & Ayyari, M. (2024). Qualitative changes of blue eryngo (*Eryngium planum* L.) phytochemicals as affected by different drying methods. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 40, 100543. https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2024.100543

Martín, A., Hernández, A., Aranda, E., Casquete, R., Velázquez, R., Bartolomé, T., & Córdoba, M.G. (2017). Impact of volatile composition on the sensorial attributes of dried paprikas. *Food Research International*, 100, 691–697. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.07.068

Medina-Meza, I.G., Aluwi, N.A., Saunders, S.R., & Ganjyal, G.M. (2016). GC–MS profiling of triterpenoid saponins from 28 quinoa varieties (*Chenopodium quinoa* Willd.) grown in Washington state. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 64(45), 8583-8591. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b02156

Mokhtarikhah, G., Ebadi, M.T., & Ayyari, M. (2020). Qualitative changes of spearmint essential oil as affected by drying methods. *Industrial Crops and Products*, 153, 112492. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112492

Mouhoubi, K., Boulekbache-Makhlouf, L., Mehaba, W., Himed-Idir, H., & Madani, K. (2022). Convective and microwave drying of coriander leaves: kinetics characteristics and modeling, phenolic contents, antioxidant activity, and principal component analysis. *Journal of Food Process Engineering*, 45, e13932. https://doi.org/10.1111/jfpe.13932

Mumivand, H., Rezaei Nejad, H., Taghipour, Sh., Sepahvand, K., & Moradi, B. (2020). Effect of different drying methods on drying time and some phytochemical characteristic of Pelargonium (*Pelargonium graveolens*). *Journal of Horticultural Science*, 33(4), 655-668. https://doi.org/10.22067/jhorts4.v33i4.76354 [In Persian].

Nguyen, V.T., & Le, M.D. (2018). Influence of various drying conditions on phytochemical compounds and antioxidant activity of carrot peel. *Beverages*, 4, 80. https://doi.org/10.3390/beverages4040080

Nüchter, M., Ondruschka, B., Bonrath, W., & Gum, A. (2004). Microwave assisted synthesis–a critical technology overview. *Green Chemistry*, 6, 128–141. https://doi.org/10.1039/B310502D

Parsafar, S., Eghlima, G., Mirjalili, M.H., Nejad Ebrahimi, S., & Hadian, J. (2022). Effects of different drying methods on drying time and some phytochemical traits of *Solidago virgaurea* L. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants*, 37(1), 1-14. https://doi.org/10.30495/ejmp.2022.1937674.1647

Pirbalouti, A.G., Oraie, M., Pouriamehr, M., & Babadi, E.S. (2013). Effects of drying methods on qualitative and quantitative of the essential oil of Bakhtiari savory (*Satureja bachtiarica* Bunge.). *Industrial Crops and Products*, 46, 324–327. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.02.014

Pradechboon, T., Dussadee, N., Unpaprom, Y., & Chindaraksa, S. (2022). Effect of rotary microwave drying on quality characteristics and physical properties of kaffir lime leaf (*Citrus hystrix* DC). *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1–10. https://doi.org/10.1007/s13399-022-02722-8

Rice-Evans, C. (2001). Flavonoid antioxidants. *Current Medicinal Chemistry*, 8, 797–807. https://doi.org/10.2174/0929867013373011

Saifullah, M., McCullum, R., McCluskey, A., & Vuong, Q. (2019). Effects of different drying methods on extractable phenolic compounds and antioxidant properties from lemon myrtle dried leaves. *Heliyon*, 5(12), e03044. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e03044

Semerdjieva, I.B., & Zheljazkov, V.D. (2019). Chemical constituents, biological properties, and uses of *Tribulus terrestris*, A Review. *Natural Product Communications*, 14, 1934578X19868394. https://doi.org/10.1177/1934578x19868394

Shahidi, F., & Yeo, J. (2018). Bioactivities of phenolics by focusing on suppression of chronic diseases: A review. *International Journal of Molecular Science*, 19(6), 1573. https://doi.org/10.3390/ijms19061573

Slinkard, K., & Singleton, V.L. (1977). Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. *American Journal of Enology Viticulture*, 28, 49–55. https://doi.org/10.5344/ajev.1977.28.1.49

Sriwichai, T., Sookwong, P., Siddiqui, M.W., & Sommano, S.R. (2019). Aromatic profiling of *Zanthoxylum myriacanthum* (makwhaen) essential oils from dried fruits using different initial drying techniques. *Industrial Crops and Products*, 133, 284–291. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.03.031

Ștefănescu, R., Tero-Vescan, A., Negroiu, A., Aurică, E., & Vari, C.E. (2020). A comprehensive review of the phytochemical, pharmacological, and toxicological properties of *Tribulus terrestris* L. *Biomolecules*, 10, 752. https://doi.org/10.3390/biom10050752

Thiangma, P., Nakbanpote, W., Poomsa-Ad, N., & Wiset, L. (2022). Effect of drying condition on Shatavari (*Asparagus racemosus* Willd) root quality and energy consumption. *Engineering Access*, 8, 330–335. https://doi.org/10.14456/mijet.2022.41

Tyagi, P., Prasad, M., Mathur, S., & Ranjan, R. (2024). Diosgenin biosynthesis investigation in medicinal herb (*Tribulus terrestris* L.) by transcriptome analysis. *Gene*, 893, 147937. https://doi.org/10.1016/j.gene.2023.147937

Zahedi, R., Eghlima, G., Mirjalili, M.H., Aliahmadi, A., & Esmaeili, G. (2023). Diosgenin content, phenolic acids, and antioxidant activity of different parts of Iranian *Tribulus terrestris* L. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 71, 2527–2542. https://doi.org/10.1007/s10722-023-01760-z

Zia, M.P., & Alibas, I. (2021). Influence of the drying methods on color, vitamin C, anthocyanin, phenolic compounds, antioxidant activity, and in vitro bioaccessibility of blueberry fruits. *Food Bioscience*, 42, 101179. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101179

Zia, S., Khan, M.R., Shabbir, M.A., Aslam Maan, A., Khan, M.K.I., Nadeem, M., Khalil, A.A., & Aadil, R.M. (2022). An inclusive overview of advanced thermal and nonthermal extraction techniques for bioactive compounds in food and food-related matrices. *Food Reviews International*, 38, 1166–1196. https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1772283