

## Journal Pre-proofs

Investigation the effect of drying methods on the quality properties of wild saffron corm (Joghasem)

Fakhreddin Salehi, Hamidreza Ghorbani, Kimia Samary

DOI: [https://doi.org/ 10.22104/ift.2025.7616.2215](https://doi.org/10.22104/ift.2025.7616.2215)

To appear in: Innovative Food Technologies (IFT)

Received Date: 15 May 2025

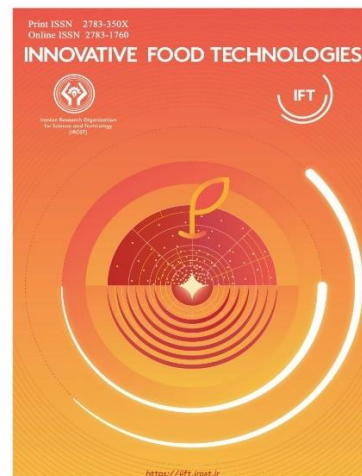
Revised Date: 4 July 2025

Accepted Date: 4 July 2025

Please cite this article as: Fakhreddin Salehi, Hamidreza Ghorbani, Kimia Samary, Investigation the effect of drying methods on the quality properties of wild saffron corm (Joghasem), *Innovative Food Technologies* (2025), doi: <https://doi.org/10.22104/ift.2025.7616.2215>

This is a PDF file of an article that has undergone enhancements after acceptance, such as the addition of a cover page and metadata, and formatting for readability, but it is not yet the definitive version of record. This version will undergo additional copyediting, typesetting and review before it is published in its final form, but we are providing this version to give early visibility of the article. Please note that, during the production process, errors may be discovered which could affect the content, and all legal disclaimers that apply to the journal pertain.

© 2023 The Author(s). Published by irost.org.



## بررسی اثر روش‌های خشک کردن بر خواص کیفی پیاز زعفران وحشی (جوقاسم)

فخرالدین صالحی<sup>۱\*</sup>، حمیدرضا قربانی<sup>۲</sup>، کیمیا ثمری<sup>۳</sup>

<sup>۱\*</sup> دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

<sup>۳</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

### چکیده

در این پژوهش، از سه روش خشک کردن شامل هوای داغ، امواج مایکروویو و پرتو فروسرخ برای خشک کردن جوقاسم (پیاز زعفران وحشی) (*Crocus haussknechtii*) استفاده شد. ابتدا پوست پیاز جوقاسم تازه جدا و فرآیند خشک کردن با دمای ۷۰ درجه سلسیوس برای هوای داغ، توان‌های ۲۲۰، ۳۳۰ و ۴۴۰ وات برای مایکروویو و توان ۲۵۰ وات برای فروسرخ انجام گرفت. پس از خشک کردن، ضریب نفوذ مؤثر رطوبت محاسبه و داده‌های سینتیک خشک کردن با مدل‌های مختلف ریاضی برازش شد که در نهایت، مدل پیچ به‌عنوان مناسب‌ترین مدل انتخاب گردید. نمونه‌های خشک شده آسیاب و از نظر مقدار فنل کل، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و شاخص‌های رنگ شامل روشنایی، قرمزی و زردی مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار فنل کل ( $1184/92$  میکروگرم گالیک اسید در گرم) مربوط به خشک کردن با فروسرخ بوده و از نظر آماری با سایر روش‌ها تفاوت معناداری داشت ( $p < 0/05$ ). از سوی دیگر، بیشترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در نمونه خشک شده با مایکروویو، هنگام استفاده از توان ۴۴۰ وات مشاهده شد (۹۶ درصد)، که هم‌راستا با بیشترین ضریب نفوذ مؤثر رطوبت ( $1/99 \times 10^{-8} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ ) و کمترین زمان خشک کردن بود. درعین حال، کمترین مقدار شاخص روشنایی و بیشتر مقدار شاخص‌های قرمزی و زردی مربوط به پودر جوقاسم خشک شده توسط خشک کن فروسرخ بود که از نظر آماری اختلاف معناداری با سایر نمونه‌ها داشت ( $p < 0/05$ ). بنابراین، با در نظر گرفتن ضریب نفوذ رطوبت بالا، حفظ ترکیبات فعال زیستی و رنگ مطلوب محصول، روش مایکروویو با توان ۴۴۰ وات به‌عنوان گزینه‌ی مناسب برای خشک کردن جوقاسم توصیه می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** شاخص‌های رنگ، ضریب نفوذ مؤثر رطوبت، مدل پیچ، مدل سازی سینتیکی.

جوقاسم نام محلی پیاز زعفران وحشی (*Crocus haussknechtii*) است که در برخی مناطق کوهستانی ایران، به‌ویژه استان‌های همدان، کرمانشاه، لرستان و ایلام، به‌صورت خودرو می‌روید. این گیاه دارای ارزش غذایی و دارویی بالایی است و به دلیل داشتن ترکیبات فنلی و آنتی‌اکسیدانی، مورد توجه پژوهشگران و صنایع غذایی قرار گرفته است [۱-۳]. پژوهشی با هدف بررسی کمی و کیفی ترکیبات فنلی، فلاونوئیدی و اثر ضد میکروبی برگ و بُنه (پیاز) گیاه زعفران جوقاسم جمع‌آوری شده از سه منطقه در استان لرستان انجام شد. نتایج نشان داد عصاره آبی پیاز دارای بیشترین مقدار ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی است و حاوی شیکوریک اسید، کلروجنیک اسید، سیرینجیک اسید، کامفرول و آپجینین می‌باشد. همچنین، عصاره متانولی بیشترین اثر ضد میکروبی را بر باکتری‌های اشرشیاکلی و استافیلوکوکوس اورئوس نشان داد [۱].

خشک کردن محصولات کشاورزی یکی از روش‌های مؤثر برای افزایش ماندگاری، کاهش ضایعات پس از برداشت و حفظ ارزش غذایی آن‌هاست. با کاهش رطوبت موجود در محصول، رشد میکروارگانیسم‌ها و واکنش‌های شیمیایی مخرب محدود می‌شود که این امر باعث کاهش فساد و افزایش عمر نگهداری محصول می‌گردد. همچنین، خشک کردن وزن و حجم محصول را کاهش می‌دهد و در نتیجه، هزینه‌های حمل‌ونقل و ذخیره‌سازی را به‌طور چشمگیری پایین می‌آورد. این فرآیند امکان استفاده از محصولات در فصول غیربرداشت را نیز فراهم می‌سازد. علاوه بر این، در برخی موارد، خشک کردن موجب تغلیظ ترکیبات مفید و افزایش کیفیت عملکردی محصول می‌شود [۴-۶].

خشک کردن همرفتی (با هوای داغ) یکی از رایج‌ترین روش‌ها برای کاهش رطوبت محصولات کشاورزی است که به دلیل سادگی، هزینه‌ی نسبتاً پایین و قابلیت کنترل شرایط، کاربرد گسترده‌ای دارد. از جمله مزایای این روش می‌توان به یکنواختی نسبی در خشک کردن و امکان استفاده برای طیف وسیعی از محصولات اشاره کرد. با این حال، معایبی نیز دارد؛ از جمله زمان نسبتاً طولانی فرآیند و مصرف بالای انرژی. همچنین، در برخی موارد ممکن است منجر به افت کیفیت محصول مانند تیره شدن رنگ، کاهش ترکیبات حساس به حرارت و سفت شدن بافت شود. به همین دلیل، کنترل دقیق دما و زمان در این روش اهمیت زیادی دارد [۷، ۸].

خشک کن مایکروویو به‌عنوان روشی نوین برای خشک کردن محصولات کشاورزی، مزایای قابل توجهی نسبت به روش‌های سنتی دارد. این روش با استفاده از امواج الکترومغناطیسی، رطوبت را از درون محصول به‌سرعت تبخیر می‌کند و در نتیجه، زمان خشک کردن به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد. همچنین، به دلیل کوتاه بودن زمان تیماردهی، افت کیفیت و تخریب ترکیبات حساس به حرارت کمتر اتفاق می‌افتد. با این حال، این روش معایبی نیز دارد؛ از جمله هزینه اولیه بالا برای تهیه تجهیزات، و نیاز به تنظیم دقیق توان و زمان برای جلوگیری از سوختگی یا خشک نشدن کامل برخی قسمت‌ها. بنابراین، بهره‌گیری مؤثر از این روش نیازمند کنترل دقیق پارامترهای عملیاتی است [۹، ۱۰].

خشک کن فروسرخ یکی از روش‌های کارآمد در خشک کردن محصولات کشاورزی است که با استفاده از تابش حرارتی، انرژی را مستقیماً به سطح محصول منتقل می‌کند. از مهم‌ترین مزایای این روش می‌توان به سرعت بالای خشک کردن،

کاهش مصرف انرژی، حفظ بهتر رنگ و ترکیبات حساس به حرارت، و عدم نیاز به تماس مستقیم با هوا یا سطح داغ اشاره کرد. همچنین، به دلیل نفوذ حرارت از طریق تابش، می‌توان به یکنواختی نسبی در خشک کردن سطوح نازک دست یافت. با این حال، این روش برای محصولات با ضخامت زیاد ممکن است کارایی کمتری داشته باشد، چرا که نفوذ گرما به عمق محصول محدود است. همچنین، طراحی و کنترل دقیق سامانه تابش برای جلوگیری از خشک شدن ناهمگون یا سوختگی ضروری است [۱۱، ۱۲].

مدل‌سازی سینتیک خشک‌کردن محصولات کشاورزی نقش مهمی در درک و پیش‌بینی رفتار فرآیند خشک‌سازی ایفا می‌کند. با استفاده از مدل‌های سینتیکی می‌توان نرخ کاهش رطوبت، نحوه انتقال جرم و تأثیر پارامترهای مختلف مانند دما، زمان و نوع خشک‌کن را به‌طور دقیق بررسی کرد. این مدل‌ها به مهندسان و پژوهشگران کمک می‌کنند تا فرآیند خشک‌کردن را بهینه‌سازی کرده، مصرف انرژی را کاهش دهند و کیفیت نهایی محصول را حفظ نمایند. همچنین، مدل‌سازی سینتیکی امکان مقایسه عملکرد روش‌های مختلف خشک‌کردن و انتخاب بهترین روش را فراهم می‌سازد. در نتیجه، استفاده از مدل‌های ریاضی در طراحی و توسعه سیستم‌های خشک‌کردن، گامی مؤثر در جهت افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌هاست [۹، ۱۳].

هدف از اندازه‌گیری ترکیبات فنلی در محصولات کشاورزی، شناسایی و ارزیابی میزان آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی موجود در این محصولات است که نقش مهمی در محافظت از سلول‌ها در برابر آسیب‌های اکسیداتیو دارند. این ترکیبات با خاصیت ضدالتهابی، ضدسرطانی و ضدباکتریایی خود، تأثیر بسزایی در ارتقاء ارزش تغذیه‌ای و کاربرد دارویی محصولات کشاورزی دارند. همچنین، دانستن مقدار ترکیبات فنلی به محققان و صنایع غذایی کمک می‌کند تا کیفیت محصول را ارزیابی کرده، شرایط فرآوری و نگهداری مناسب را انتخاب و در توسعه فرآورده‌های غذایی سالم و عملکردی از آن بهره ببرند [۱۴، ۱۵]. هدف از اندازه‌گیری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی محصولات کشاورزی، ارزیابی توانایی آن‌ها در خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد و جلوگیری از آسیب‌های اکسیداتیو در سلول‌های بدن است. این ظرفیت به‌عنوان شاخصی مهم در تعیین ارزش تغذیه‌ای، پتانسیل دارویی و کیفیت عملکردی محصولات مورد توجه قرار می‌گیرد. آگاهی از میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی به انتخاب ارقام غنی از ترکیبات مفید، بهینه‌سازی روش‌های فرآوری و نگهداری، و توسعه محصولات غذایی سلامت‌محور کمک می‌کند. این ارزیابی همچنین در مطالعات مرتبط با ایمنی غذایی و پیشگیری از بیماری‌های مزمن نقش مهمی دارد [۱۶]. هدف از اندازه‌گیری شاخص‌های رنگ محصولات کشاورزی پس از خشک‌کردن، ارزیابی کیفیت نهایی محصول و بررسی تأثیر فرآیند خشک‌سازی بر ویژگی‌های ظاهری آن است. رنگ یکی از مهم‌ترین شاخص‌های حسی در تعیین پذیرش مصرف‌کننده محسوب می‌شود و می‌تواند نشان‌دهنده حفظ یا از بین رفتن ترکیبات مغذی و زیست‌فعال طی فرآوری باشد. با اندازه‌گیری دقیق تغییرات رنگ، می‌توان به بهینه‌سازی شرایط خشک‌کردن (مانند دما، زمان و نوع روش) پرداخت تا محصول نهایی از نظر کیفیت تغذیه‌ای و بازاریابی در وضعیت مطلوبی قرار گیرد [۹].

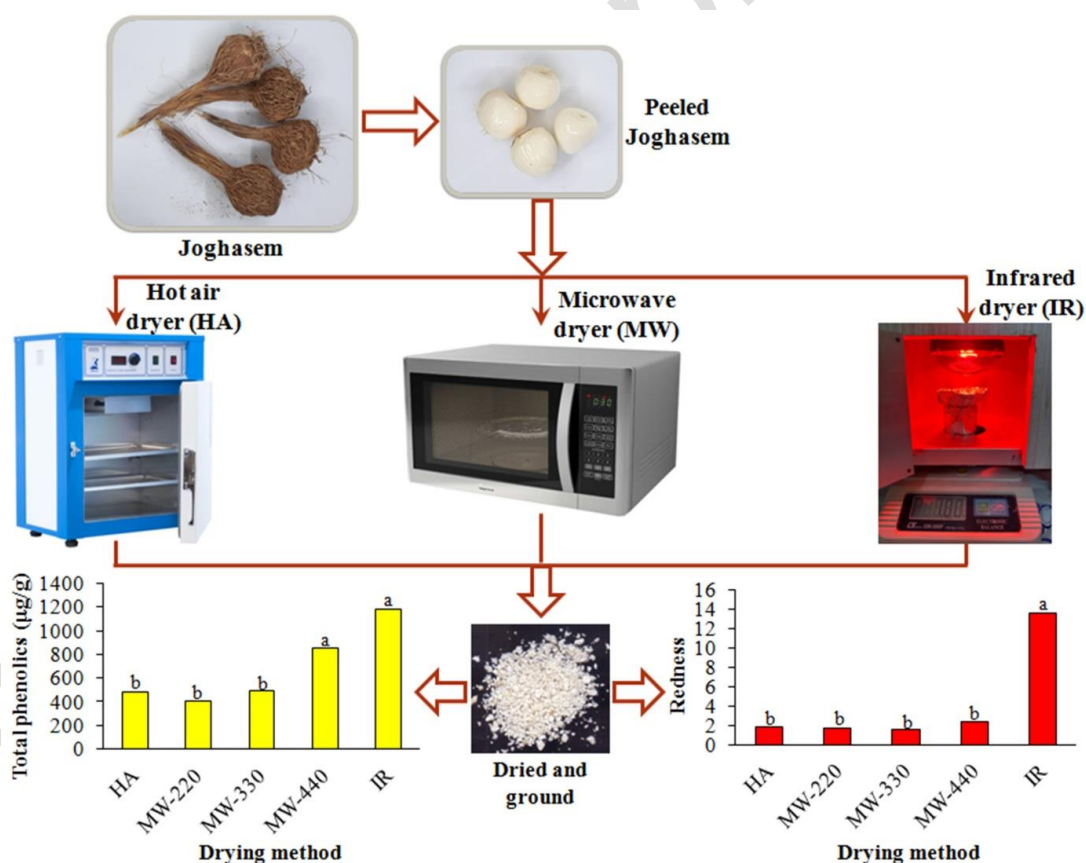
تا کنون پژوهشی در زمینه بررسی اثر روش‌های خشک‌کردن بر خواص کیفی پیاز زعفران وحشی (جوقاسم) انجام نشده است. لذا هدف از انجام این پژوهش، بررسی و مقایسه سه روش مختلف خشک‌کردن شامل هوای داغ، امواج مایکروویو و

پرتو فروسرخ بر فرآیند خشک کردن جوقاسم (پیاز زعفران وحشی) و ارزیابی تأثیر این روش‌ها بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی محصول نهایی است. در این راستا، با تحلیل پارامترهایی مانند ضریب نفوذ مؤثر رطوبت، مدل‌سازی سینتیکی فرآیند خشک کردن و اندازه‌گیری شاخص‌هایی چون فنل کل، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و رنگ محصول، تلاش شد تا کارآمدترین روش خشک کردن با حفظ کیفیت و ترکیبات زیستی فعال جوقاسم شناسایی و معرفی گردد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- تهیه جوقاسم

در این پژوهش، جوقاسم (پیاز زعفران وحشی) تازه از روستای دوزان (نزدیک معدن تک درخت، شهرستان الیگودرز، استان لرستان)، تهیه شد. پوست خارجی جوقاسم جدا و پیاز سفید رنگ آن (بخش خوراکی) جهت خشک کردن استفاده شد (شکل ۱).



**Figure (1)** Effect of drying by hot air, microwave and infrared on total phenolics content and redness index of Joghaseem

شکل (۱) اثر خشک کردن با هوای داغ، مایکروویو و فروسرخ بر مقدار فنل کل و شاخص قرمزی جوقاسم

## ۲-۲- خشک کردن با هوای داغ

برای خشک کردن همرفتی جوقاسم از یک دستگاه آون دارای دمنده (شیماز، ایران) با دمای ۷۰ درجه سلسیوس استفاده شد. تغییرات وزن جوقاسم هنگام خشک شدن با هوای داغ، تا رسیدن به یک وزن ثابت، توسط ترازوی دیجیتالی (کیا<sup>۱</sup>، SL1000، ایران) با دقت ۰/۰۱ ± گرم، ثبت شد.

## ۲-۳- خشک کردن با میکروویو

برای خشک کردن جوقاسم توسط امواج میکروویو، از یک دستگاه میکروویو (جی پلاس، GMW-M425S.MIS00، ایران) با توان‌های ۲۲۰، ۳۳۰ و ۴۴۰ وات استفاده شد. انتخاب این توان‌ها بر اساس بررسی مقالات منتشر شده و آزمون و خطا بود. تغییرات وزن جوقاسم هنگام خشک شدن با میکروویو، تا رسیدن به یک وزن ثابت، توسط ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ ± گرم، ثبت شد.

## ۲-۴- خشک کردن با فروسرخ

خشک کن فروسرخ با انتقال سریع و یکنواخت حرارت، موجب کاهش مصرف انرژی و حفظ کیفیت محصول می‌شود. برای خشک کردن جوقاسم توسط پرتو فروسرخ، از یک دستگاه خشک کن فروسرخ (طول، عرض و ارتفاع به ترتیب برابر ۴۴، ۲۰ و ۴۰ سانتی متر) استفاده شد. برای پرتو دهی از لامپ فروسرخ ۲۵۰ وات تولید شده در شرکت نور (ایران) استفاده شد که میزان فاصله ی لامپ فروسرخ از نمونه ۵ سانتی متر بود. انتخاب این توان بر اساس بررسی مقالات منتشر شده و آزمون و خطا بود. تغییرات وزن جوقاسم هنگام خشک شدن با فروسرخ، تا رسیدن به یک وزن ثابت، توسط ترازوی دیجیتالی لوترون (GM-300p، تایوان) با دقت ۰/۰۱ ± گرم، ثبت شد.

## ۲-۵- محاسبه پارامتر نسبت رطوبت

کاهش مقدار رطوبت جوقاسم، بر مبنای خشک در برابر زمان خشک شدن رسم و تأثیر زمان تیماردهی با سه نوع خشک کن بر سرعت انتقال جرم بررسی شد. پارامتر نسبت رطوبت<sup>۲</sup> (MR) از طریق رابطه ۱، محاسبه شد [۱۷، ۱۸].

$$MR = \frac{M_t}{M_o} \quad (1)$$

<sup>۱</sup> - Kia Laboratory Weighing, model SL1000

<sup>۲</sup> - Moisture ratio (MR)

در این رابطه،  $MR$ : نسبت رطوبت (بدون بعد)،  $M_t$  مقدار رطوبت بر مبنای خشک در هر زمان  $t$  و  $M_0$  مقدار رطوبت اولیه نمونه بر مبنای خشک هستند.

## ۲-۶- محاسبه ضریب نفوذ مؤثر رطوبت

برای محاسبه ضریب نفوذ مؤثر رطوبت<sup>۱</sup> جوقاسم هنگام خشک شدن، ابتدا مختصات نمونه کروی<sup>۲</sup> در نظر گرفته شد و سپس از قانون دوم انتشار فیک<sup>۳</sup> استفاده شد. در این روش، ضریب نفوذ مؤثر رطوبت از طریق شیب خط لگاریتم طبیعی نسبت رطوبت داده‌های تجربی در مقابل زمان خشک‌شدن و با کمک رابطه ۲ محاسبه می‌شود [۱۹].

$$S = \frac{\pi^2 D_{eff}}{r^2} \quad (2)$$

در این رابطه،  $r$  میانگین شعاع جوقاسم  $(m)$ ،  $D_{eff}$  ضریب نفوذ مؤثر رطوبت  $(m^2 s^{-1})$ ، و  $S$  شیب خط می‌باشد.

## ۲-۷- مدل‌سازی سینتیکی

برای بررسی سرعت انتقال جرم و پیش‌بینی روند خشک شدن جوقاسم، با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی و مدل‌های سینتیکی مختلف، مدل‌سازی ریاضی انجام شد. مدل سینتیکی بهینه، مدلی است که نه تنها روند تغییرات داده‌های تجربی را به خوبی توصیف می‌کند، بلکه دارای کمترین میزان خطاهای آماری و بیشترین مقدار ضریب تبیین نیز باشد. در این مطالعه، معادله‌های ونگ و سینگ، هندرسون و پابیس، تقریب انتشار، پیچ، نیوتن، میدیلی و لگاریتمی (جدول ۱)، برای مدل‌سازی فرآیند خشک‌کردن جوقاسم و انتخاب بهترین مدل سینتیکی، انتخاب و بررسی شدند [۲۰]. برای مدل‌سازی داده‌های آزمایشگاهی و محاسبه ثابت‌های مدل‌ها از نرم‌افزار متلب ویرایش R2012a استفاده شد.

**Table (1)** Mathematical equations used to model drying kinetics

جدول ۱- معادله‌های ریاضی مورد استفاده برای مدل‌سازی سینتیک خشک شدن

| Model name                 | Equation                              |
|----------------------------|---------------------------------------|
| Approximation of diffusion | $MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$ |
| Henderson and Pabis        | $MR = a \exp(-kt)$                    |
| Logarithmic                | $MR = a \exp(-kt) + c$                |
| Midilli                    | $MR = a \exp(-kt^n) + bt$             |
| Newton                     | $MR = \exp(-kt)$                      |
| Page                       | $MR = \exp(-kt^n)$                    |
| Wang and Singh             | $MR = 1 + at + bt^2$                  |

MR: moisture ratio, t is time (min), and n, k, b, l, g, c and a are the equation coefficients.

<sup>1</sup>- Effective moisture diffusivity coefficient ( $D_{eff}$ )

<sup>2</sup>- Spherical coordinate

<sup>3</sup>- Fick's second law of diffusion

## ۲-۸- تعیین فنل کل

بعد از خشک شدن کامل جوقاسم به سه روش هوای داغ، مایکروویو و فروسرخ، محصول خشک شده آسیاب و از پودر تهیه شده برای انجام آزمایش های فیزیکوشیمیایی استفاده شد.

برای عصاره گیری از جوقاسم خشک شده، ۲ گرم پودر خشک شده به ۲۰ میلی لیتر متانول ۸۰ درصد اضافه و توسط همزن مغناطیسی (همزن صفحه داغ، شیماز، ایران) به مدت ۳۰ دقیقه مخلوط شد. بعد از انتقال مخلوط به لوله فالکون، لوله فالکون به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه در دستگاه سانتریفوژ (HettichUniversal 32OR، آلمان) سانتریفوژ شد. بعد از انجام مرحله جداسازی، مایع رویی مخلوط تهیه شده، به عنوان عصاره در نظر گرفته شد.

مقدار فنل کل پودر جوقاسم خشک شده بر مبنای اسید گالیک بر اساس روش Folin-Ciocalteu محاسبه شد. در این روش، ابتدا مقدار ۰/۵ میلی لیتر عصاره همراه با ۰/۵ میلی لیتر معرف فولین سیوکالتو (سیگما آلدریچ، آمریکا) به لوله آزمایش اضافه شد. بعد از گذشت ۵ دقیقه ۲ میلی لیتر کربنات سدیم (مرک، آلمان) ۲۰ درصد (وزنی /حجمی) اضافه و به مدت ۳۰ ثانیه هم زده شد. مخلوط به مدت ۱۵ دقیقه در دمای اتاق (۲۵ درجه سلسیوس) گذاشته شد. در مرحله بعدی، ۱۰ میلی لیتر آب مقطر به مخلوط اضافه و با استفاده از دستگاه سانتریفوژ (HettichUniversal 32OR، آلمان) به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شد. در مرحله پایانی جذب مایع رویی در طول موج ۷۲۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Lovibond XD-7500، آلمان) گرفته شد و با منحنی استاندارد اسید گالیک مقایسه شد. نتایج بر حسب میکروگرم گالیک اسید بر گرم ماده خشک گزارش شده است.

## ۲-۹- اندازه گیری ظرفیت آنتی اکسیدانی

برای تعیین ظرفیت آنتی اکسیدانی نمونه های خشک شده، ابتدا محلول ۰/۱ میلی مولار رادیکال آزاد <sup>۱</sup>DPPH (سیگما-آلدریچ، آمریکا) در متانول تهیه شد (۰/۰۴ گرم در ۱۰۰ میلی لیتر متانول). سپس برای اندازه گیری فعالیت مهار رادیکال های آزاد، ۲ میلی لیتر از عصاره تهیه شده از جوقاسم و ۲ میلی محلول آماده شده رادیکال آزاد DPPH در یک لوله آزمایش مخلوط شدند. مخلوط در دمای ۲۵ درجه به مدت ۳۰ دقیقه انکوبه گذاری و سپس در محیط بدون نور گذاشته شد. جذب نمونه ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (Lovibond XD-7500، آلمان) اندازه گیری شد. میزان فعالیت آنتی اکسیدانی از اختلاف بین مقدار جذب نمونه شاهد و نمونه اصلی نسبت به جذب نمونه شاهد ضرب در ۱۰۰ به دست آمد.

<sup>۱</sup> - 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl

## ۲-۱۰- تعیین شاخص‌های رنگ

جهت بررسی تغییرات رنگ جوقاسم خشک‌شده، از روش پردازش تصویر استفاده شد. بعد از فرآیند خشک‌کردن، از نمونه‌ها توسط یک اسکنر اچ‌پی<sup>۱</sup> عکس در فرمت JPG تهیه شد. بعد از تبدیل عکس‌ها به فرمت  $L^*a^*b^*$  توسط نرم‌افزار ایمیج‌جی<sup>۲</sup> (version 1.42e, USA)، مؤلفه‌های رنگی آنها شامل مؤلفه‌های روشنایی - تیرگی ( $L^*$ )، سبزی - قرمزی ( $a^*$ )، آبی - زردی ( $b^*$ ) محاسبه شد. شاخص قهوه‌ای شدن<sup>۳</sup> (BI) با استفاده از معادله ۳ محاسبه شد [۲۱، ۲۲].

$$BI = \frac{100}{0.172} \left( \frac{a^* + 1.75L^*}{5.645L^* + a^* - 3.012b^*} - 0.31 \right) \quad (3)$$

## ۲-۱۱- آنالیز آماری

خشک‌کردن جوقاسم به سه روش هوای داغ، میکروویو و فروسرخ در سه تکرار انجام و برای مقایسه میانگین پاسخ‌های مشاهده شده، از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۹۵٪ استفاده شد. این پژوهش در قالب فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی و با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

## ۳- نتایج و بحث

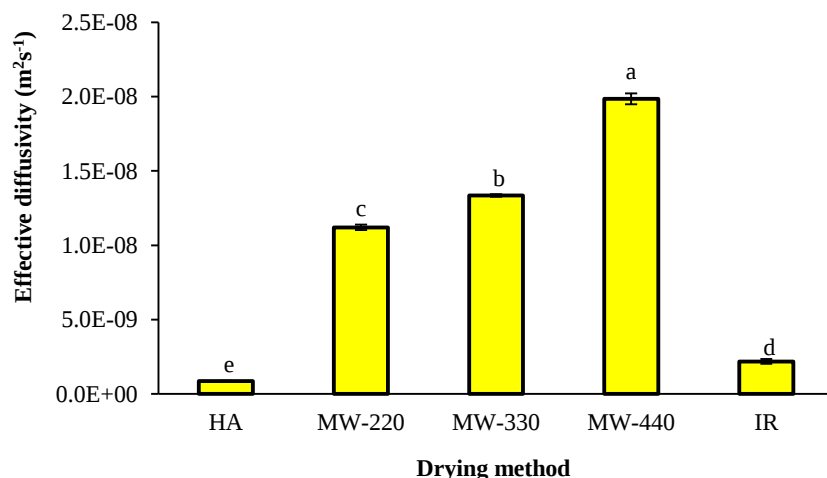
## ۳-۱- اثر روش خشک‌کردن بر ضریب نفوذ مؤثر رطوبت

شکل ۲ اثر خشک‌کردن به سه روش هوای داغ، میکروویو و فروسرخ بر ضریب نفوذ مؤثر رطوبت جوقاسم را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، استفاده از خشک‌کن میکروویو باعث افزایش ضریب نفوذ مؤثر رطوبت از جوقاسم شده است. با افزایش توان میکروویو نیز به‌طور معنی‌داری این ضریب افزایش یافته است ( $p < 0.05$ ). افزایش ضریب نفوذ مؤثر رطوبت باعث افزایش سرعت خروج رطوبت از نمونه و در نتیجه کاهش زمان خشک شدن می‌شود. البته، صرفاً با استفاده از این یک پارامتر نمی‌توان درباره کارایی یک روش خشک‌کردن قضاوت کرد. لذا افزایش سرعت خشک شدن ممکن است به کاهش ارزش غذایی یک محصول منجر شود. لذا باید همراه با کاهش زمان خشک شدن، ویژگی کیفی محصول خشک‌شده را هم در نظر گرفت. ضریب نفوذ مؤثر رطوبت برای جوقاسم هنگام خشک شدن با هوای داغ کمترین مقدار ( $8/58 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ ) و هنگام خشک شدن با میکروویو با توان ۴۴۰ وات بیشترین مقدار ( $1 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ ) را داشت.

<sup>1</sup> - Hp Scanjet 300, China

<sup>2</sup> - ImageJ

<sup>3</sup> - Browning index (BI)



**Figure (2)** Effect of drying method (hot air (HA), microwave (MW), and infrared (IR)) on effective moisture diffusivity coefficient of Joghaseh

Different letters above the columns show significant difference ( $p < 0.05$ )

شکل (۲) اثر روش خشک کردن (هوای داغ (HA)، مایکروویو (MW) و فروسرخ (IR)) بر ضریب نفوذ مؤثر رطوبت جوقاسم  
حروف متفاوت بالای ستون‌ها نشان‌دهنده تفاوت معنادار است ( $p < 0.05$ )

### ۳-۲- انتخاب بهترین مدل سینتیکی

با محاسبه مقدار نسبت رطوبت برای تمامی داده‌های به دست آمده طی خشک کردن جوقاسم به سه روش هوای داغ، مایکروویو و فروسرخ و برازش نقاط حاصل از ترسیم نمودارهای نسبت رطوبت-زمان، به وسیله مدل‌های ونگ و سینگ، هندرسون و پابیس، تقریب انتشار، پیچ، نیوتن، میدیلی و لگاریتمی و درجه دوم، نتایج برای هر مدل بررسی شد. بهترین مدل دارای بیشترین مقدار ضریب تبیین ( $r^2$ ) و کمترین مقدار خطا بود. نتایج مدل‌سازی سینتیکی نشان داد که بهترین مدل با بالاترین برازش، در مورد فرآیند خشک کردن جوقاسم، مدل پیچ است. لذا استفاده از مدل پیچ برای بررسی فرآیند خشک کردن جوقاسم به سه روش هوای داغ، مایکروویو و فروسرخ توصیه می‌شود. در جدول ۲ مجموع مربعات خطا<sup>۱</sup> (SSE)، ضریب تبیین و جذر میانگین مربعات خطا<sup>۲</sup> (RMSE) و همچنین ضرایب مدل پیچ ارائه شده است.

**Table (2)** Coefficients and errors of the Page model for fitting experimental data

جدول ۲- ضرایب و خطاهای مدل پیچ برای برازش داده‌های آزمایشگاهی

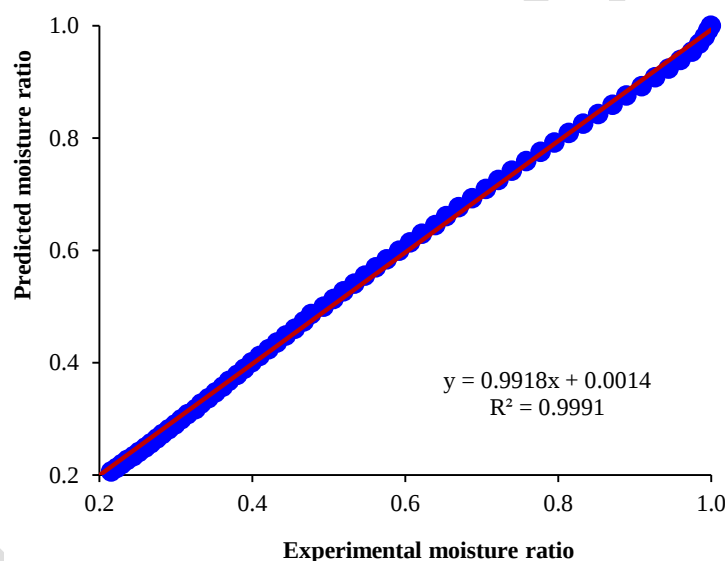
| Drying method  | k      | n      | Sum of squares due to error | Coefficient of determination | Root means square error |
|----------------|--------|--------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------|
| Hot air        | 0.0004 | 1.6050 | 0.0028                      | 0.9991                       | 0.0120                  |
| Microwave-220W | 0.0686 | 1.4077 | 0.0020                      | 0.9930                       | 0.0158                  |
| Microwave-330W | 0.1268 | 1.0797 | 0.0008                      | 0.9978                       | 0.0100                  |

<sup>1</sup>- Sum of squares due to error (SSE)

<sup>2</sup>- Root means square error (RMSE)

|                |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Microwave-440W | 0.1367 | 1.3017 | 0.0013 | 0.9979 | 0.0134 |
| Infrared       | 0.0107 | 1.1923 | 0.0205 | 0.9974 | 0.0163 |

برای بررسی توانایی مدل پیچ، مقادیر تغییرات نسبت رطوبت پیش‌بینی‌شده توسط مدل پیچ و مقادیر نسبت رطوبت آزمایشگاهی به دست آمده از خشک‌کن فروسرخ، در شکل ۳ در کنار یکدیگر قرار داده شدند. همان‌طوری مشاهده می‌شود، انطباق خوبی بین نسبت رطوبت آزمایشگاهی و پیش‌بینی‌شده توسط مدل پیچ وجود دارد. برای داده‌های به دست آمده از سایر خشک‌کن‌ها هم روند مشابهی مشاهده شد. لذا، مدل پیچ برای پیش‌بینی تغییرات نسبت رطوبت جو قاسم هنگام خشک شدن به سه روش هوای داغ، مایکروویو و فروسرخ مناسب می‌باشد. ایلتر و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی تأثیر خشک کردن با هوای گرم و مایکروویو بر سینتیک خشک کردن و برخی ویژگی‌های کیفی پوره سیر را بررسی کردند. به منظور تعیین پارامترهای سینتیک، داده‌های آزمایشگاهی خشک کردن با مدل‌های نیمه تجربی مختلف و معادله قانون دوم انتشار فیک برازش شدند. در میان آنها، مدل پیچ تناسب بهتری برای خشک کردن با مایکروویو ارائه داد، درحالی‌که مدل لگاریتمی برای خشک کردن با هوای گرم مناسب‌تر بود [۲۳].



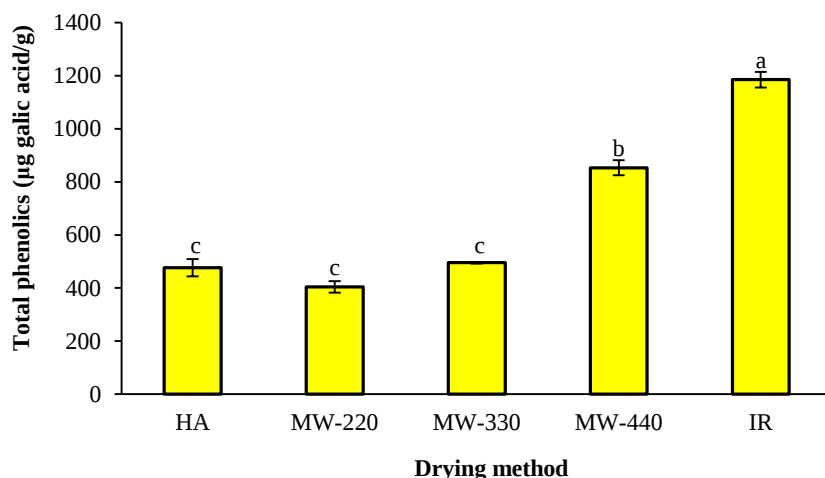
**Figure (3)** Comparison of fitted data by Page model with experimental results of moisture ratio

شکل (۳) مقایسه داده‌های برازش شده توسط مدل پیچ با نتایج آزمایشگاهی نسبت رطوبت

### ۳-۳- اثر روش خشک کردن بر مقدار فنل کل

شکل ۴ اثر خشک کردن به سه روش هوای داغ، مایکروویو و فروسرخ بر مقدار فنل کل جو قاسم را نشان می‌دهد. بیشترین مقدار فنل کل مربوط به نمونه خشک شده با پرتو فروسرخ بود (۱۱۸۴/۹۲ میکروگرم گالیک اسید در گرم) که اختلاف معناداری با سایر نمونه‌ها داشت ( $p < 0.05$ ). با افزایش توان مایکروویو، به دلیل افزایش ضریب نفوذ رطوبت و کاهش زمان خشک شدن، مقدار فنل بیشتری در جو قاسم خشک شده حفظ شد و بین نمونه‌های خشک شده با

مایکروویو، جو قاسم خشک شده با توان ۴۴۰ وات بیشترین مقدار فنل کل را داشت (۸۵۳/۱۵) میکروگرم گالیک اسید در گرم). بین جو قاسم خشک شده با هوای داغ، توان ۲۲۰ وات مایکروویو و توان ۳۳۰ وات مایکروویو از نظر مقدار فنل کل اختلاف معناداری وجود نداشت ( $p > 0.05$ ).



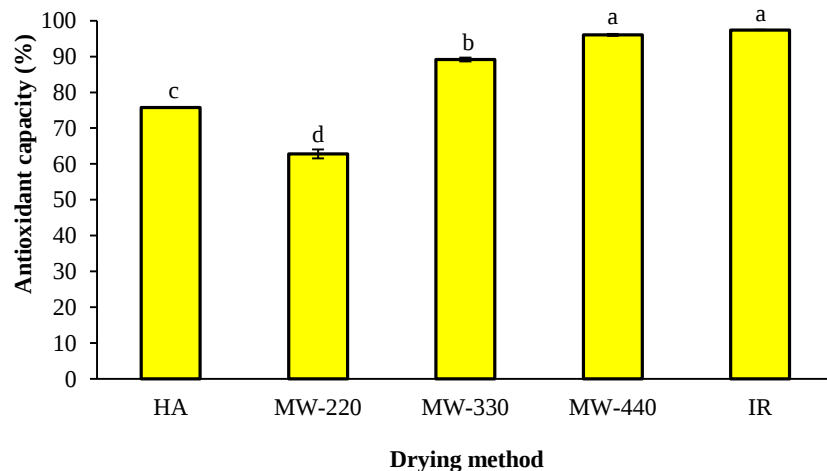
**Figure (4)** Effect of drying method (hot air (HA), microwave (MW), and infrared (IR)) on total phenolics content of Joghaseh

Different letters above the columns show significant difference ( $p < 0.05$ )

شکل (۴) اثر روش خشک کردن (هواي داغ (HA)، مایکروویو (MW) و فروسرخ (IR)) بر مقدار فنل کل جو قاسم  
حروف متفاوت بالای ستون ها نشان دهنده تفاوت معنادار است ( $p < 0.05$ )

### ۳-۴- اثر روش خشک کردن بر ظرفیت آنتی اکسیدانی

شکل ۵ اثر خشک کردن به سه روش هوای داغ، مایکروویو و فروسرخ بر ظرفیت آنتی اکسیدانی پودر جو قاسم را نشان می دهد. بیشترین ظرفیت آنتی اکسیدانی مربوط به جو قاسم خشک شده با پرتو فروسرخ بود (۹۷/۴۰ درصد) که اختلاف معناداری با نمونه خشک شده با توان ۴۴۰ وات مایکروویو نداشت ( $p > 0.05$ ). خشک کردن با مایکروویو، همراه با کاهش چشمگیر زمان فرآیند خشک کردن، موجب افزایش بهره وری تولید می شود و درعین حال با حفظ بهتر مواد مغذی، رنگ و کیفیت طبیعی محصول، نسبت به روش های سنتی، مزیت قابل توجهی دارد [۲۴]. با افزایش توان مایکروویو، به دلیل افزایش ضریب نفوذ رطوبت و کاهش زمان خشک شدن، مقدار ترکیبات با قابلیت آنتی اکسیدانی بیشتری در جو قاسم خشک شده حفظ شد و بین نمونه های خشک شده با مایکروویو، جو قاسم خشک شده با توان ۴۴۰ وات بیشترین مقدار ظرفیت آنتی اکسیدانی را داشت (۹۶/۰۰ درصد). ظرفیت آنتی اکسیدانی پودر جو قاسم خشک شده مایکروویو با توان ۲۲۰ وات کمترین مقدار (۶۲/۸۲ درصد) را داشت.



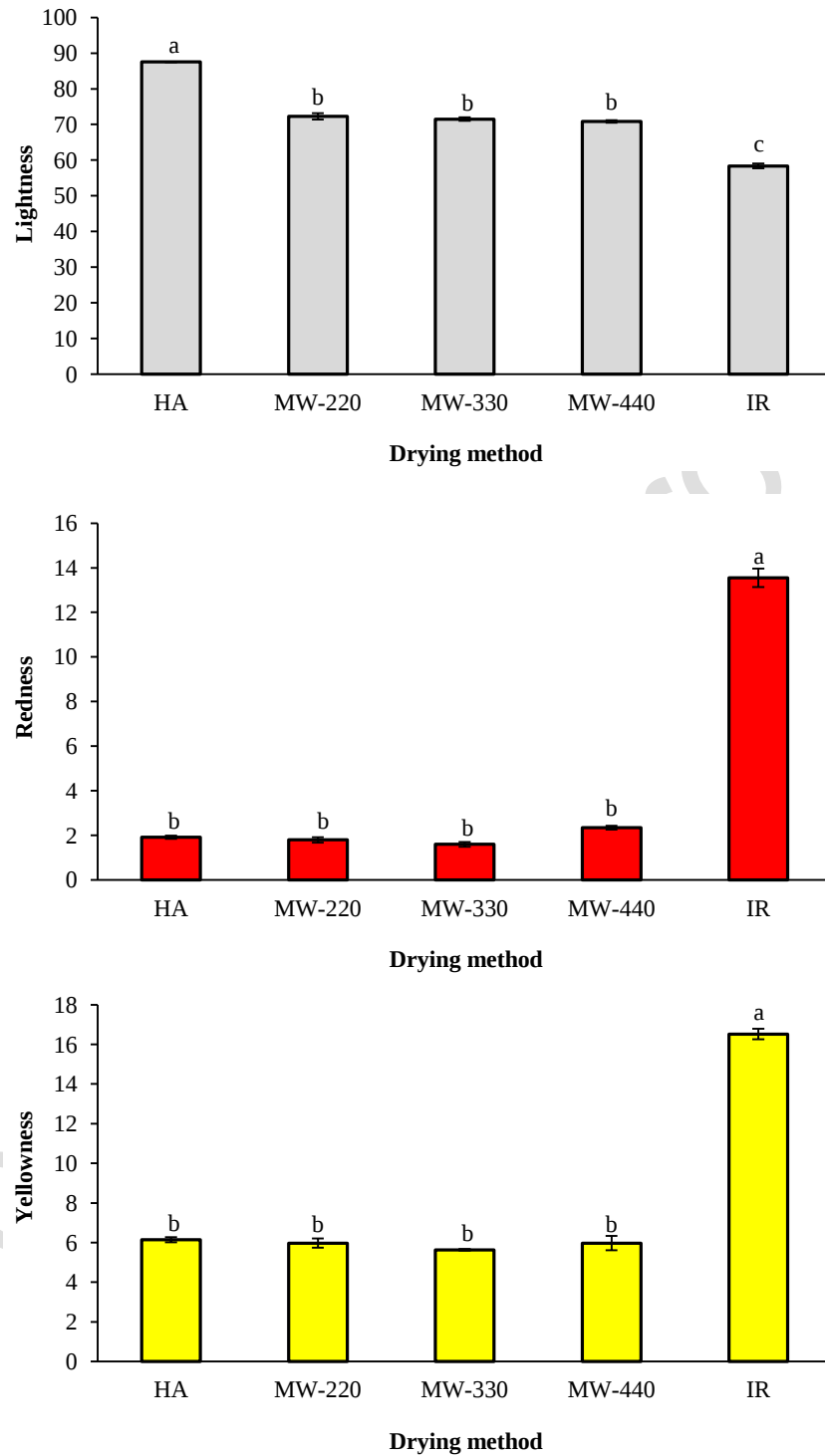
**Figure (5)** Effect of drying method (hot air (HA), microwave (MW), and infrared (IR)) on antioxidant capacity of Joghaseem

Different letters above the columns show significant difference ( $p < 0.05$ )

شکل (۵) اثر روش خشک کردن (هوای داغ (HA)، میکروویو (MW) و فرسرخ (IR)) بر ظرفیت آنتی اکسیدانی جوقاسم  
حروف متفاوت بالای ستون ها نشان دهنده تفاوت معنادار است ( $p < 0.05$ )

### ۳-۵- اثر روش خشک کردن بر شاخص های رنگ

شکل ۶ اثر خشک کردن به سه روش هوای داغ، میکروویو و فرسرخ بر شاخص های رنگ پودر جوقاسم را نشان می دهد. بیشترین مقدار شاخص روشنایی مربوط به پودر جوقاسم خشک شده با هوای داغ (۸۷/۵۰) و کمترین مقدار آن مربوط به نمونه خشک شده با پرتو فرسرخ (۵۸/۳۷) بود که اختلاف معناداری با سایر نمونه ها داشتند ( $p < 0.05$ ). بین پودر جوقاسم خشک شده با توان های مختلف میکروویو از نظر آماری اختلاف معناداری مشاهده نشد ( $p > 0.05$ ).



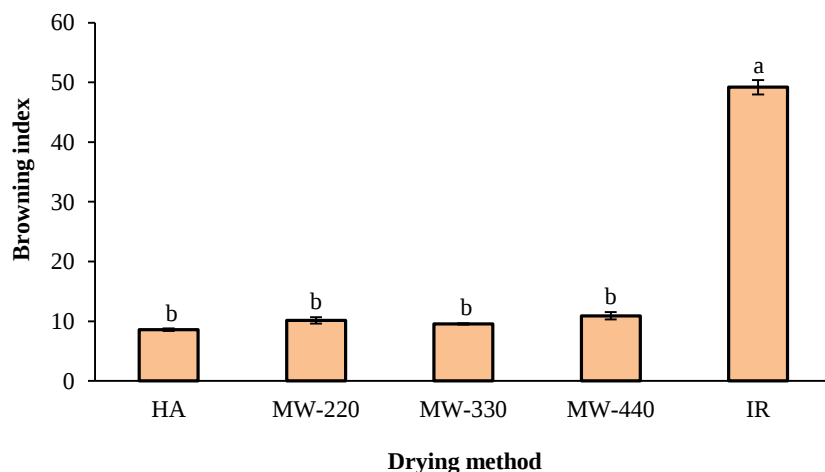
**Figure (6)** Effect of drying method (hot air (HA), microwave (MW), and infrared (IR)) on color indexes of Joghasem

Different letters above the columns show significant difference ( $p < 0.05$ )

شکل (۶) اثر روش خشک کردن (هوای داغ (HA)، مایکروویو (MW) و فرسرخ (IR)) بر شاخص‌های رنگ جوقاسم  
حروف متفاوت بالای ستون‌ها نشان‌دهنده تفاوت معنادار است ( $p < 0.05$ )

استفاده از پرتو فرسرخ باعث افزایش واکنش‌های قهوه‌ای شدن می‌شود، لذا شاخص‌های قرمزی و زردی افزایش و شاخص روشنایی کاهش می‌یابد. شکل ۶ اثر خشک کردن جوقاسم به سه روش هوای داغ، مایکروویو و فرسرخ بر شاخص‌های قرمزی و زردی را هم نشان می‌دهد. بیشترین مقدار شاخص‌های قرمزی و زردی مربوط به پودر جوقاسم خشک شده توسط خشک‌کن فرسرخ می‌باشد که از نظر آماری هم اختلاف معناداری با سایر نمونه‌ها دارد ( $p < 0.05$ ). از نظر شاخص‌های قرمزی و زردی بین پودرهای خشک شده با هوای داغ و مایکروویو اختلاف معناداری مشاهده نشد ( $p > 0.05$ ).

شاخص قهوه‌ای شدن به عنوان یک پارامتر کیفی مهم در ارزیابی اثرات حرارت بر رنگ و ترکیبات شیمیایی محصولات کشاورزی طی فرآیند خشک کردن به کار می‌رود. در شکل ۷ اثر روش خشک کردن بر شاخص قهوه‌ای شدن محصول گزارش شده است. بیشترین مقدار شاخص قهوه‌ای شدن مربوط به پودر جوقاسم خشک شده توسط خشک‌کن فرسرخ است که از نظر آماری اختلاف معناداری با سایر نمونه‌ها دارد ( $p < 0.05$ ). این شاخص بیانگر شدت واکنش‌های غیرآنزیمی مانند واکنش مایلارد و کاراملی شدن است که در اثر حرارت‌دهی به مواد غذایی رخ می‌دهند. نتایج گزارش شده در این نمودار هم‌راستا با نتایج بخش قبلی است. از نظر شاخص قهوه‌ای شدن بین پودرهای خشک شده با هوای داغ و مایکروویو اختلاف معناداری مشاهده نشد ( $p > 0.05$ ).



**Figure (7)** Effect of drying method (hot air (HA), microwave (MW), and infrared (IR)) on browning index of Joghaseem

Different letters above the columns show significant difference ( $p < 0.05$ )

شکل (۷) اثر روش خشک کردن (هوای داغ (HA)، مایکروویو (MW) و فرسرخ (IR)) بر شاخص قهوه‌ای شدن جوقاسم  
حروف متفاوت بالای ستون‌ها نشان‌دهنده تفاوت معنادار است ( $p < 0.05$ )

## ۴- نتیجه گیری

این پژوهش نشان داد که روش و شرایط خشک کردن تأثیر قابل توجهی بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و کیفی جوقاسم (پیاز زعفران وحشی) دارد. مقایسه بین سه روش خشک کردن (هوای داغ، مایکروویو و فرسرخ) حاکی از آن است که استفاده از مایکروویو با توان ۴۴۰ وات بهترین عملکرد را از نظر سرعت خشک کردن، حفظ ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، مقدار فنل کل و ویژگی‌های رنگی مناسب دارد. اگرچه روش فرسرخ بیشترین مقدار فنل کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را حفظ کرد، اما موجب کاهش شدید روشنایی محصول شد و اثرات ناخواسته‌ای بر ظاهر محصول داشت. در مقابل، مایکروویو با توان بالا توانست تعادلی مطلوب میان کیفیت تغذیه‌ای و ویژگی‌های بصری ایجاد کرده و زمان خشک کردن را به‌طور چشمگیری کاهش دهد. از نظر مدل‌سازی سینتیکی، مدل پیچ بهترین برازش را برای داده‌های خشک کردن در تمام روش‌ها داشت و می‌تواند به‌عنوان ابزار پیش‌بینی مناسب برای فرآیندهای صنعتی مشابه مورد استفاده قرار گیرد. در مجموع، برای فرآوری صنعتی جوقاسم و حفظ ارزش تغذیه‌ای و کیفی آن، استفاده از مایکروویو با توان ۴۴۰ وات به‌عنوان گزینه‌ای بهینه و مؤثر توصیه می‌شود.

## ۵- تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

## ۶- تشکر و قدردانی

هزینه‌های انجام این پژوهش از محل پژوهانه به شماره ۱۰۰۴۴۹۸، تأمین شده از سوی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه بوعلی سینا، پرداخت شده است. لذا نویسندگان از معاونت محترم پژوهش و فناوری دانشگاه بوعلی سینا به خاطر حمایت مالی و معنوی از این پژوهش تشکر و قدردانی می‌نمایند.

## منابع

- [1] Moudi, M., Zivyar, N., & Bagherzade, G. (2020). Identification of phenolic and flavonoid compounds in *Crocus pallasii* subsp. *haussknechtii* (Boiss. & Reut. ex Maw) B.Mathew. and antibacterial analysis. *Journal of Saffron Research*, 8, 127-140. <https://doi.org/10.22077/jsr.2020.2857.1115>
- [2] Najari, G., Aazami, F., Taghi Mollaei, Y., & Fattahi, S. (2016). The morphological survey of wild saffron species in forests and rangeland of ilam province. *Forest Strategical Approachment Journal*, 1, 46-53.
- [3] Tahmasebi, Z., Feyzi, H., Fallahi, N., & Mohammadi, S. (2025). Identification and sequencing of CCD4a and CCD4b genes in wild saffron. *Saffron Agronomy and Technology*, 12, 471-485. <https://doi.org/10.22048/jsat.2025.476038.1539>
- [4] Khodadadi, M., & Masoumi, A. (2025). Recent drying technologies used for drying poultry litter (principles, advantages and disadvantages): A comprehensive review. *Poultry Science*, 104, 104677. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.104677>

- [5] Khodadadi, M., Masoumi, A., & Sadeghi, M. (2024). Drying, a practical technology for reduction of poultry litter (environmental) pollution: methods and their effects on important parameters. *Poultry Science*, 103, 104277. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.104277>
- [6] Salehi, F. (2023). Recent progress and application of freeze dryers for agricultural product drying. *ChemBioEng Rev.*, 10, 618-627. <https://doi.org/10.1002/cben.202300003>
- [7] Heirani, S., Movagharnejad, K., & Nanvakenari, S. (2024). Optimization and modeling of the stale bread drying with three different dryers. *Innov. Food Technol.*, 12, 17-33. <https://doi.org/10.22104/ift.2024.7082.2181>
- [8] Safari, J., Hashemi, J., & Ranjbar Nedamani, A. (2023). Investigating changes in color and shrinkage of dried apple slices using image processing. *Iran. Food Sci. Technol. Res. J.*, 19, 527-540. <https://doi.org/10.22067/iftstrj.2022.77460.1188>
- [9] Salehi, F., Goharpour, K., & Razavi Kamran, H. (2024). Effects of different pretreatment techniques on the color indexes, drying characteristics and rehydration ratio of eggplant slices. *Results Eng.*, 21, 101690. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101690>
- [10] Aarabi jeshvaghani, A., Omid, S., Zaki Dizaji, H., & Shahdadi, F. (2024). Producing beetroot powder by using foaming agent maltodextrin and milk protein concentrate in foam mat-microwave drying method. *Innov. Food Technol.*, 11, 114-139. <https://doi.org/10.22104/ift.2024.6679.2165>
- [11] Salehi, F. (2020). Recent applications and potential of infrared dryer systems for drying various agricultural products: A review. *Int. J. Fruit Sci.*, 20, 586-602. <https://doi.org/10.1080/15538362.2019.1616243>
- [12] Jafari, F., Movagharnejad, K., & Sadeghi, E. (2023). Evaluation of far-infrared drying on the quality properties of zucchini slices: influence of operating parameters. *Innov. Food Technol.*, 11, 47-59. <https://doi.org/10.22104/ift.2023.6235.2138>
- [13] Castro, A.M., Mayorga, E.Y., & Moreno, F.L. (2018). Mathematical modelling of convective drying of fruits: A review. *J. Food Eng.*, 223, 152-167. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.12.012>
- [14] Akermi, S., Chaari, M., Elhade, K., Sharma, A., Dey, A., Choudhary, A., Sinha, S., Festuccia, R., Mellouli, L., & Smaoui, S. (2025) Chapter 13 - Bioactive compounds and cancer prevention: a nutritional approach, in: T. Sarkar, S. Smaoui, A.T. Petkoska (Eds.) *Unleashing the Power of Functional Foods and Novel Bioactives*, Academic Press, pp. 257-270.
- [15] Chocie, P., Foss, K., Jabłońska, M., Ustarbowska, M., & Sawicki, T. (2024). The profile and content of polyphenolic compounds and antioxidant and anti-glycation properties of root extracts of selected medicinal herbs. *Plant Foods Hum. Nutr.*, 79, 468-473. <https://doi.org/10.1007/s11130-024-01180-z>
- [16] Pinela, J., Dias, M.I., Pereira, C., & Alonso-Esteban, J.I., Antioxidant activity of foods and natural products, in: *Molecules*, 2024.
- [17] Doymaz, I. (2007). The kinetics of forced convective air-drying of pumpkin slices. *J. Food Eng.*, 79, 243-248.
- [18] Esmaili Adabi, M., Mosavi Seyedi, S.R., Kalantari, D., & Ghavami Adl, B. (2015). Mathematical modelling, kinetics and energy consumption for drying aloe vera gel in hot air dryer with exhaust air recycle. *Journal of food science and technology(Iran)*, 13, 73-83.
- [19] Salehi, F. (2023). Effects of ultrasonic pretreatment and drying approaches on the drying kinetics and rehydration of sprouted mung beans. *Legum. sci.*, 5, e211. <https://doi.org/10.1002/leg3.211>

- [20] Salehi, F., & Satorabi, M. (2021). Influence of infrared drying on drying kinetics of apple slices coated with basil seed and xanthan gums. *Int. J. Fruit Sci.*, 21, 519-527. <https://doi.org/10.1080/15538362.2021.1908202>
- [21] Abd El-Baset, W.S., & Almoselhy, R.I. (2023). Effect of baking temperature on quality and safety of school meal biscuits. *Food Sci. Appl. Biotechnol.*, 6, 250-262. <https://doi.org/10.30721/fsab2023.v6.i2.258>
- [22] Salehi, F., & Kashaninejad, M. (2014). Effect of different drying methods on rheological and textural properties of balangu seed gum. *Drying Technol.*, 32, 720-727. <https://doi.org/10.1080/07373937.2013.858264>
- [23] İlter, I., Akyıl, S., Devseren, E., Okut, D., Koç, M., & Kaymak Ertekin, F. (2018). Microwave and hot air drying of garlic puree: drying kinetics and quality characteristics. *Heat Mass Transfer.*, 54, 2101-2112. <https://doi.org/10.1007/s00231-018-2294-6>
- [24] Aghili nategh, N., & Dalvand, M.J. (2023). Measurement and prediction of microwave efficiency during drying of apple leaves. *Journal of Research in Mechanics of Agricultural Machinery*, 12, 11-21. <https://doi.org/10.22034/jrmam.2023.14049.610>

## Investigation the effect of drying methods on the quality properties of wild saffron corm (Joghasem)

Fakhreddin Salehi <sup>1</sup>, Hamidreza Ghorbani <sup>2</sup>, Kimia Samary <sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Food Industry, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

<sup>2</sup> BSc Student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Food Industry, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

<sup>3</sup> MSc Student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Food Industry, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

\*Corresponding Author's E-mail: F.Salehi@Basu.ac.ir

### ABSTRACT

**Introduction:** *Joghasem* is the local name for the wild saffron corm (*Crocus haussknechtii*), which grows naturally in some mountainous regions of Iran, particularly in Lorestan Province. This plant is known for its high nutritional and medicinal value and has attracted the attention of researchers and the food industry due to its rich phenolic and antioxidant compounds. The purpose of drying agricultural products is to reduce their moisture content in order to prevent microbial growth and spoilage. This process also increases shelf life and facilitates easier storage and transportation. Microwave dryers significantly reduce drying time, increasing production efficiency while better preserving nutrients, color, and the natural quality of the product compared to traditional methods. Infrared dryers provide rapid and uniform heat transfer, leading to reduced energy consumption and better preservation of product quality. So, in this study, three drying methods include hot air, microwave, and infrared radiation were used to dry *Joghasem* (wild saffron corm) (*Crocus haussknechtii*).

**Materials and methods:** Initially, the outer skin of fresh *Joghasem* corm was removed, and the drying process was conducted at 70°C for hot air, at power levels of 220, 330, and 440 watts for microwave drying, and at 250 watts for infrared drying. Weight changes during drying were recorded using a precise digital scale. Kinetic drying models were analyzed using experimental data and MATLAB software. After drying, the effective moisture diffusivity coefficient was calculated, and drying kinetics data were fitted using various mathematical models that ultimately, the Page model was selected as the most appropriate model. Finally, total phenolic content, antioxidant capacity, and color parameters of the dried samples were measured.

**Results and discussion:** The dried samples were ground and evaluated for total phenolic content, antioxidant capacity, and color indexes including lightness, redness, and yellowness. The results showed that the highest total phenolic content (1184.92 µg gallic acid per gram) was observed in the sample dried with infrared radiation, which was significantly different from other methods ( $p < 0.05$ ). On the other hand,

the highest antioxidant capacity (96%) was recorded in the sample dried using microwave at 440 watts, which also corresponded with the highest effective moisture diffusivity coefficient ( $1.99 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ ) and the shortest drying time. Meanwhile, the lowest lightness index and the highest redness and yellowness indexes were found in the infrared-dried *Joghasem* powder, showing significant differences compared to other samples ( $p < 0.05$ ).

**Conclusion:** Therefore, considering the high moisture diffusivity, preservation of bioactive compounds, and desirable product color, microwave drying at 440 watts is recommended as the appropriate method for drying *Joghasem*.

**Keywords:** Color indexes, Effective moisture diffusivity coefficient, Kinetic modeling, Page model.