

Study of Essential Oil Components and Some Phytochemical Characteristics of *Salvia officinalis* L. under Infrared and Combined (infrared- hot air) Drying Methods

Saeideh Alizadeh Salteh^{*1}, Samaye Panahi², Khosro Mohammadi-Ghermezhgoli³, Hossein Ghaffari³

Received: November 6, 2024

Accepted: March 3, 2025

1-Assoc., Prof., Dept. of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
2- MSc, Student, Dept. of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
3- Assist. Prof., and Assoc. Prof., Dept. of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
Corresponding Author Email: s.alizadeh@tabrizu.ac.ir

Abstract

Background & Objectives: The essential oil of the sage has numerous applications in the pharmaceutical, perfumery, and health and cosmetic products industries. On the other hand, the method of drying significantly affects the quantity and quality of the essential oil of medicinal plants. According to previous studies, the effect of infrared drying and the hybrid method (hot air-infrared) on the yield and components of the essential oil of sage have not yet been investigated. Therefore, due to economic importance of this plant's essential oil in various industries, the present study was conducted.

Materials and Methods: In this study, changes in essential oil compounds and some phytochemical properties under infrared drying treatments (0.4, 0.5 and 0.6 W/cm²), combined (hot air-infrared) And the shade drying were investigated in the form of a completely random design with three replications.

Results: According to the results obtained, the best method for preserving the color quality of the medicinal sage was infrared drying at 0.4 W/cm². Among the components of the essential oil, the amount of beta thujone compound was observed in infrared drying at 0.4 W/cm², and the maximum amount of camphor and alpha thujone were obtained in the combined drying method (infrared 0.4 W/cm² + hot air at 45°C). Also, the highest amount of 1,8-cineole compound was recorded in shade drying. The highest amount of flavonoid was found in the combined drying method (infrared 0.4 W/cm² + hot air at 45°C). The highest amount of antioxidant activity was observed in shade drying method with a slight difference compared to the combined drying method.

Conclusion: Based on the obtained results, the combined hot air-infrared drying method is recommended for maintaining both the appearance quality and the active compounds of sage essential oil.

Keywords: Alpha Thujone, Beta Thujone, Combined Drying, Camphor, Infrared, Medicinal Sage



This is an open-access article under the CC BY NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/>)

Copyright@ 2026 Saeideh Alizadeh Salteh Email: s.alizadeh@tabrizu.ac.ir

<https://doi.org/10.22034/saps.2025.64389.3306>



مطالعه تغییرات ترکیبات اسانس و برخی خصوصیات فیتوشیمیایی گیاه مریم‌گلی دارویی (*Salvia officinalis* L.) تحت تیمارهای خشکاندن با روش‌های مادون قرمز و ترکیبی (هوای گرم - مادون قرمز)

سعیده علیزاده سالطه^{۱*}، سمایه پناهی^۲، خسرو محمدی قرمزگلی^۳، حسین غفاری ستوبادی^۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۱۶

۱-دانشیار گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۲-کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۳-استادیار و دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

چکیده

مقدمه و اهداف: اسانس گیاه دارویی مریم‌گلی در صنایع داروسازی، عطرسازی و فرآورده‌های بهداشتی و آرایشی کاربردهای فراوانی دارد. از طرفی انتخاب روش خشک کردن بر کمیت و کیفیت اسانس گیاهان دارویی تاثیر بسزایی دارد. با توجه به بررسی مطالعات پیشین، اثر خشک کردن مادون قرمز و همچنین روش هیبریدی هوای گرم- مادون قرمز، بر عملکرد و اجزای اسانس گیاه دارویی مریم‌گلی تاکنون انجام نشده است، لذا با توجه به اهمیت اقتصادی اسانس این گیاه در صنایع مختلف، مطالعه حاضر صورت پذیرفت.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه، تغییرات ترکیبات اسانس و برخی خصوصیات فیتوشیمیایی تحت تیمارهای خشک کردن مادون قرمز (۰/۴، ۰/۵، ۰/۶ وات بر سانتی‌متر مربع)، ترکیبی (هوای داغ-مادون قرمز) و سایه خشک در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار بررسی شد.

یافته‌ها: با توجه به نتایج به دست آمده، بهترین روش برای حفظ کیفیت رنگ گیاه مریم‌گلی دارویی، روش خشک کردن با مادون قرمز ۰/۴ وات بر سانتی‌متر مربع بود. از بین ترکیبات تشکیل دهنده اسانس، مقدار ترکیب بتا توجون در روش خشک کردن با مادون قرمز ۰/۴ وات بر سانتی‌متر مربع، و حداکثر میزان ترکیبات کامفور و آلفا توجون، روش خشک کردن ترکیبی (مادون قرمز ۰/۴ وات بر سانتی‌متر مربع- هوای گرم ۴۵ درجه) بود. همچنین بیشترین میزان ترکیب (ا۸- سینئول در خشک‌کردن در سایه مشاهده گردید. بیشترین میزان فلاونوئید در روش خشک کردن ترکیبی (مادون قرمز ۰/۴ وات بر سانتی‌متر مربع- هوای گرم ۴۵ درجه) به دست آمد. بیشترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی در روش خشک کردن در سایه با اختلاف جزئی با روش خشک کردن ترکیبی (مادون قرمز ۰/۴ وات بر سانتی‌متر مربع- هوای گرم ۴۵ درجه) بود.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج به دست آمده، روش خشک کردن ترکیبی جهت حفظ کیفیت ظاهر و مواد مؤثره موجود در اسانس مریم‌گلی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آلفا توجون، بتاتوجون، خشک کردن ترکیبی، کامفور، مادون قرمز، مریم‌گلی دارویی

مقدمه

گیاه همچنين شامل مواد تلخ (۳ تا ۸ درصد)، مواد تاننی، فلاونوئید و مواد گلیکوزیدی و رزینی می‌باشد (زرگری ۲۰۰۶).

همانند دیگر گیاهان دارویی، کیفیت مواد مؤثره گیاه مریم‌گلی تر نمی‌تواند برای یک دوره طولانی حفظ شود، پس نیاز به یافتن راهی برای تولید مریم‌گلی با رطوبت کم و انتخاب یک روش نگهداری مناسب است که رایج‌ترین و موثرترین روش، خشک کردن این گیاه با ارزش می‌باشد.

فرایند پس از برداشت گیاهان دارویی به دلیل تأثیر مستقیم آن بر بافت، رنگ و کیفیت و کمیت مواد مؤثره یکی از مراحل مهم فرآوری گیاهان دارویی محسوب می‌شود (روچا و همکاران ۲۰۱۱). فرآیند خشک کردن با کاهش سرعت فعل و انفعالات شیمیایی، زمان ماندگاری محصول را افزایش و با کاهش وزن و حجم مواد، بسته‌بندی، حمل و نقل و انبارداری محصولات را سهولت می‌بخشد (لی و همکاران ۲۰۱۱).

روش خشک کردن طبیعی، به دلیل طولانی بودن زمان خشک کردن و وابسته بودن به شرایط جوی توصیه نمی‌شود. از معایب دیگر این روش می‌توان به مشکلات آلودگی، بازدهی انرژی پایین و استانداردهای کیفی پایین اشاره کرد (دیودی و همکاران ۲۰۱۲). همچنین امکان جابجایی مقادیر زیاد ماده گیاهی وجود نداشته و دستیابی به استانداردهای ثابت کیفیت مقدور نمی‌باشد. علاوه بر این دمای بالا و تشعشعات شدید خورشیدی، اثر منفی بر کیفیت نمونه‌ها دارد و موجب کاهش ویتامین‌ها، اسانس و یا تغییرات در رنگ محصولات خشک شده می‌شود. از سوی دیگر، برای خشک کردن گیاهان دارویی بهترین بازه دمایی جهت حفظ حداکثری کیفیت محصول نهایی بین ۳۰ تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (سویسال و اوزتکین ۲۰۰۱). خشک کردن با دمای بالا به طور قابل توجهی مقدار ترکیبات معطر را کاهش می‌دهد، زیرا ترکیبات معطر موادی حساس به حرارت هستند و می‌توانند به راحتی در طول

بهره‌برداری از گیاهان دارویی و معطر به روش صحیح، تهیه داروهای گیاهی به صورت مدرن، تعیین جایگاه گیاهان دارویی و معطر و فرآورده‌های آن‌ها در صادرات و مصارف صنعتی داخلی، نیازمند تحقیقات گسترده و شناخت پتانسیل‌های موجود می‌باشد. در اغلب روش‌های تولید گیاهان دارویی دسترسی سریع به تجهیزات استخراج ماده مؤثره به‌ویژه در سطوح بالا میسر نبوده و این امر نیازمند خشک کردن قسمت اعظمی از گیاهان و استخراج ماده مؤثره آنها می‌باشد (امیدبیگی ۲۰۰۴).

مریم‌گلی^۱ گیاهی علفی و چند ساله متعلق به تیره نعناع^۲ می‌باشد. این گیاه، معطر بوده و به دلیل محتوای اسانسی که دارد یک گیاه مهم اقتصادی در نظر گرفته می‌شود. امروزه اسانس آن در صنایع داروسازی، عطرسازی و فرآورده‌های بهداشتی و آرایشی کاربردهای مهمی دارد. اثرات درمانی مریم‌گلی دارویی شامل اثرات ضد آلزایمر، ضد باکتری، ضد سرطان، ضد تعرق، ضد نفخ، ضد قارچ، ضد التهاب، آنتی‌اکسیدان، ضد عفونی کننده، ضد اسپاسم، ضد ویروس، کاهش دهنده‌ی قند خون، ادرار آور، قاعده آور، خلط آور، کاهش دهنده‌ی فشار خون، آرام‌بخش، مقوی معده و ضد کرم می‌باشد (مظفریان ۲۰۱۲). اسانس مریم‌گلی در درمان طیف وسیعی از بیماری‌ها مثل بیماری‌های سیستم اعصاب، قلب و همچنین بیماری‌های تنفسی مورد استفاده قرار می‌گیرد (دوک ۲۰۰۲). ترکیبات مهم دارویی موجود در مریم‌گلی دارویی عبارتند از: دسته فنولیک اسیدها، فنولیک گلوکوزیدها، فلاونوئیدها، آنتوسیانین‌ها، کومارین‌ها، پلی ساکاریدها، استرول‌ها، تریپنوئیدها و اسانس‌ها. مقدار اسانس مریم‌گلی در شرایط اقلیمی مختلف، متفاوت و بین ۱ تا ۲/۵ درصد است. مهم‌ترین ترکیبات تشکیل دهنده اسانس آن عبارتند از: توجون ۳۰ تا ۵۰ درصد، سینئول (۱۰ تا ۱۵ درصد)، کامفور (۶ تا ۱۰ درصد) و بورنئول (۶ تا ۱۴ درصد)، پینن (۱ تا ۲ درصد).

² Lamiaceae¹ *Salvia officinalis* L.

خشک کردن کوتاه، حفظ مشخصه‌های رنگ و مقدار مطلوب درصد و اجزای اصلی اسانس می‌تواند روش مناسبی برای خشک کردن گل‌های بابونه باشد.

نتایج حاصل از بررسی تأثیر شدت تابش مادون قرمز (۲/۰، ۳/۰ و ۵/۰ وات بر سانتی متر مربع) و سرعت جریان هوا (۵/۰، ۱ و ۱/۵ متر بر ثانیه) بر برخی از خصوصیات کیفی و عملکرد و اجزای اسانس گیاه دارویی زوفا (جنگی و همکاران ۲۰۱۹) و به‌لیمو (عبادی و همکاران، ۲۰۱۶) نشان داد که بهره‌گیری از شدت تابش‌های پایین پرتو مادون قرمز در فرایند خشک کردن، ضمن حفظ خصوصیات رنگ گیاه، می‌تواند سبب حفظ محتوای اسانس و اجزای اصلی آن گردد.

قبائی و همکاران (۲۰۱۹) تأثیر روش‌های مختلف خشک کردن (سایه، آفتاب، گلخانه با پوشش پلاستیکی و خشک‌کن کابینتی - صنعتی با دماهای ۵۰، ۶۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد) بر کمیت و کیفیت ماده مؤثره سرخارگل را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که نمونه‌های خشک شده با استفاده از گلخانه با پوشش پلاستیکی و خشک کردن در سایه برای به دست آوردن بالاترین مقدار ترکیبات مؤثره در سرخارگل مناسب می‌باشد.

طی تحقیقات انجام شد، استفاده از روش‌ها و دماهای مختلف خشک کردن تأثیر بسزایی بر کمیت و کیفیت مواد مؤثره گیاهان دارویی دارد (عزیزی و همکاران ۲۰۰۹؛ آمبروز و همکاران ۲۰۱۳؛ کریمی و همکاران ۲۰۱۳).

خشک کردن گیاه مریم‌گلی با هوای داغ، تغییرات مقدار اسانس در طی فرایند خشک کردن در دماهای ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰ درجه سانتی‌گراد توسط محققان مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد افزایش دما تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد باعث کاهش اسانس نمی‌شود ولی با افزایش دمای خشک‌کن، میزان اسانس گیاه به شدت کاهش می‌یابد، لذا دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد برای خشک کردن مریم‌گلی مناسب نیست و باعث کاهش شدید ترکیبات فرار آن‌ها می‌گردد (ونسکوتنیس و همکاران ۱۹۹۷)

نتایج مشابهی در تحقیقات عرب حسینی و مولر (۲۰۱۴) در مورد تغییرات مقدار اسانس برگ نعناع و

خشک کردن از بافت‌های گیاهی تبخیر شوند (خانقلی و رضایی ۲۰۰۸). استفاده از خشک‌کن‌های مادون‌قرمز در سال‌های اخیر رونق زیادی داشته و به دلیل هزینه پایین و تجهیزات ساده و ارزان قیمت آن، در کشورهای در حال توسعه بیشتر مورد توجه قرار گرفته است (موجودار ۲۰۰۶). نرخ سریع خشک کردن مادون قرمز (در مقایسه با خشک کردن هوای داغ) و توانایی حفظ نرخ بالای خشک کردن در محتوای رطوبت پایین‌تر، خشک کردن با مادون قرمز را به یک روش جایگزین مناسب برای خشک کردن گیاهان دارویی تبدیل می‌کند (چو و همکاران ۲۰۱۹).

هوای گرم نیز از دیگر روش‌های خشک کردن محصولات کشاورزی است که باعث ایجاد واکنش‌های پیچیده شیمیایی و فیزیکی در سطح محصول می‌شود. در بسیاری از میوه‌ها در خلال فرایند خشک شدن به روش جریان هوای گرم، اغلب یک پوسته غیر قابل نفوذ و سخت در سطح محصول تشکیل می‌شود (سلیمی و همکاران ۲۰۱۰).

روش‌های خشک کردن ترکیبی، ترکیبی از دو یا چند روش خشک کردن برای غلبه بر مشکل خشک کردن تک مرحله‌ای هستند. این تکنیک‌های خشک کردن، به دلیل توانایی آن‌ها در کوتاه کردن زمان پردازش، به حداقل رساندن افت کیفیت و حفظ کارایی فرایند، اخیراً مورد توجه محققان بوده است. با این حال، اطلاعات در مورد اثرات این فناوری‌های ترکیبی بر کیفیت گیاهان خشک محدود است (تامکو و همکاران ۲۰۲۱). خشک کردن ترکیبی مادون قرمز و هوای داغ در مقایسه با روش خشک کردن جابه‌جایی هوای داغ از دماهای پایین‌تر استفاده می‌کند و می‌تواند روش جایگزین مناسب برای محصولات حساس به گرما باشد (مونگپرانی و همکاران ۲۰۰۲)

محمودی و همکاران (۲۰۲۰) اثر خشک کردن با تابش مادون قرمز (۱۲۵، ۱۳۲، و ۲۲۰ وات) و سرعت جریان هوا (۵/۰، ۱ و ۱/۵ متر بر ثانیه) بر خصوصیات کیفی بابونه را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که تیمار استفاده از شدت تابش ۱۲۵ وات مادون قرمز همراه با سرعت جریان هوای ۵/۰ متر بر ثانیه به دلیل زمان

مادون قرمز، خشک کردن ترکیبی (مادون قرمز- هوای گرم) و خشک کردن در سایه انجام گرفت. قبل از قرار دادن در دستگاه خشک کن، پاکسازی گیاه شامل عاری‌سازی گیاه از هرگونه خاک و گل و جدا کردن قسمت‌های چوبی گیاه انجام شد و پس از جداسازی برگ‌های گیاه، بر روی سینی دستگاه خشک-کن قرار گرفتند.

در ابتدا خشک کردن گیاهان در سه سطح مادون قرمز (۰/۴، ۰/۵، ۰/۶ وات بر سانتی متر مربع) و هر سطح با ۳ تکرار انجام شد. روش ترکیبی، هر دو روش خشک شدن به روش جریان هوای گرم و خشک شدن به روش مادون قرمز را در بردارد. برای این منظور نمونه‌های ۵۰ گرمی برگ و سرشاخه‌های مریم‌گلی روی سینی فلزی به ابعاد ۲۶.۵*۲۹ سانتی‌متر مربع چیده شد. درجه حرارت مطلوب برای خشک کردن اندام‌های هوایی دارای اسانس، دمای ۳۰ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است (مارتینوف ۲۰۱۴). بنابراین با توجه به نتایج تحقیقات انجام شده، دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد برای آزمایش خشک کردن ترکیبی (مادون قرمز- هوای داغ) مورد استفاده قرار گرفت. خشک کردن هیبریدی در بهترین سطح مادون قرمز (۰/۴ وات بر سانتی‌متر مربع بر اساس نتایج خشک کردن مادون قرمز) و بهترین دمای هوای گرم (۴۵ درجه) انجام شد. در طول دوره خشک شدن، وزن نمونه‌ها هر ۱۵ دقیقه به وسیله ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری و ثبت شده و خشک شدن تا زمان رسیدن وزن محصول به رطوبت ۱۲ درصد ادامه داشت.

در روش طبیعی خشک کردن در سایه، برگ‌های

گیاه پس از چیدن با دست، در یک اتاق بدون نور با دمای میانگین ۲۵ درجه سانتی‌گراد روی پارچه پهن شد تا خشک شوند و در نهایت رطوبت نمونه‌ها به حدود ۱۲ درصد بر پایه وزن تر برسد.

محتوای رطوبتی نمونه‌ها طبق استاندارد AOAC اندازه‌گیری شد. بدین صورت که قبل از شروع فرایند خشک کردن، حدود ۱۰ گرم از برگ‌های تازه سالم و همچنین پس از فرایند خشک کردن حدود ۵ گرم از محصول خشک شده در آن در دمای ۱۰۵ درجه

مریم‌گلی دارویی در حین فرایند خشک کردن با هوای داغ در دماهای ۴۰، ۵۰، و ۶۰ درجه سانتی‌گراد و با سرعت هوای ۰/۵ متر بر ثانیه حاصل شد، به طوری که نتایج نشان داد که کاهش میزان اسانس در طی فرایند خشک شدن در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مراتب بیشتر از دماهای ۴۰ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد بود همچنین در دماهای مورد آزمایش، متناسب با افزایش دما و افزایش زمان خشک شدن، میزان اسانس باقی مانده در محصول کاهش یافت.

ادامه فرایند خشک کردن پس از اینکه محصول به رطوبت انبارداری رسید، علاوه بر مصرف بیهوده انرژی و هزینه مصرفی بیشتر، باعث کاهش میزان اسانس موجود در محصول می‌شود. از آنجایی که خشک کردن سنتی و خشک کردن مستقیم زیر نور خورشید برای گیاهان دارویی معایبی مانند کاهش میزان اسانس و آلودگی میکروبی به دنبال دارد، امروزه خشک کردن به صورت صنعتی، مورد توجه محققان قرار گرفته است. با توجه به اینکه تأثیر خشک کن مادون قرمز روی گیاه مریم‌گلی دارویی بررسی نشده است، لذا در این مطالعه، تغییرات ترکیبات اسانس و برخی خصوصیات فیتوشیمیایی گیاه مریم‌گلی دارویی تحت تیمارهای خشک کردن مادون قرمز و ترکیبی (هوای داغ-مادون قرمز) به منظور حفظ مقدار ماده مؤثره و رنگ و شکل ظاهری مناسب برای افزایش بازاریابی محصول بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

برگ‌های تازه گیاه مریم‌گلی به صورت تازه از صبح کلکسیون گیاهان دارویی واقع در ایستگاه تحقیقاتی خلعت‌پوشان با مشخصات جغرافیایی (عرض جغرافیایی ۳۸ و ۰۲ دقیقه شرقی، طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۸ دقیقه شمالی و با ارتفاع ۱۵۵۶ متر از سطح دریا) جمع-آوری گردیده و به آزمایشگاه خواص بیوفیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی گروه مهندسی بیوسیستم منتقل شد. آزمایش‌ها به سه طریق کلی، خشک کردن با

اسپکتروفتومتر، درصد مهار رادیکال‌های DPPH توسط عصاره طبق فرمول ۳-۳ محاسبه گردید:

$$(3-3) \quad A_c - A_s / A_c * 100 = \text{درصد مهار رادیکال‌های آزاد}$$

که در این رابطه A_c و A_s به ترتیب جذب کنترل و جذب نمونه می‌باشند (بندت و همکاران ۱۹۹۷).

اسانس‌گیری به روش تقطیر با آب و با استفاده از دستگاه میکروکلونجر صورت گرفت. برای این منظور ۲۵ گرم از گیاه خشک شده درون بالن ۱۰۰۰ میلی‌لیتری ریخته و تا دو سوم از حجم بالن از آب مقطر پر شد. نمونه‌های اسانس جمع آوری شده و و تا زمان انجام آنالیز به وسیله دستگاه GC/MS در یخچال (دمای ۴ درجه سانتی‌گراد) نگهداری شدند. جداسازی و شناسایی ترکیبات تشکیل دهنده‌ی اسانس با استفاده از دستگاه‌های کروماتوگرافی گازی Agilent 6890N و کروماتوگرافی گازی متصل به طیف سنج جرمی 5973 Agilent تعیین و مورد بررسی قرار گرفت.

در این مطالعه از طرح کاملاً تصادفی استفاده شد و تجزیه و تحلیل داده‌های حاصله با استفاده از نرم‌افزار SPSS و مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد از طریق آزمون دانکن و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

شکل ۱ روند خشک شدن گیاه مریم‌گلی را به صورت محتوی رطوبتی در مقابل زمان خشک شدن، نشان می‌دهد. همانطور که در منحنی مشاهده می‌شود، نمودار خشک کردن به صورت نزولی می‌باشد. از این رو خشک کردن برگ‌های مریم‌گلی ابتدا در مرحله آهنگ نزولی قرار دارد ولی پس از آن به تدریج کاهش می‌یابد. علت این امر آن است که در ابتدای زمان خشک کردن به دلیل رطوبت بالای محصول، سرعت از دست دادن رطوبت زیاد بوده و منحنی دارای شیب تند می‌باشد. ولی در ادامه فرایند، به دلیل کاهش محتوای رطوبتی و چروکیدگی شدن بافت برگ‌ها، فرآیند خشک کردن آهنگ نزولی پیدا می‌کند (بلغیت و همکاران ۲۰۰۰، دویماز و همکاران ۲۰۰۶). در این تحقیق خشک شدن نمونه‌ها از

سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفت و سپس وزن نمونه با ترازوی دیجیتالی اندازگیری شد (سویسال و همکاران ۲۰۰۶). محتوای رطوبتی نمونه‌ها با استفاده از رابطه ۱ به دست آمد.

$$(1) \quad MC_w = (m_1 - m_2 / m_1) * 100$$

MC_w : درصد رطوبت تر پایه نمونه‌ها

m_1 : جرم اولیه نمونه‌ها (گرم)

m_2 : جرم ماده خشک (گرم)

جهت تعیین شاخص‌های رنگ، در هر تکرار از هر تیمار قبل از انجام فرایند خشک شدن، ۶ برگ تصادفی از گیاه‌های چیده شده روی سینی، برداشته شد و در داخل محفظه هانترب لیب قرار داده شد و از نمونه عکس‌برداری انجام شد. پس از اتمام فرایند خشک شدن، همان ۶ برگ قبلی دوباره در محفظه هانترب لیب قرار گرفته و مجدد عکس‌برداری انجام شد. شاخص‌های رنگ L , a , b که به ترتیب بیانگر زردی و آبی، قرمزی و سبزی و نهایتاً میزان شفافیت نمونه‌ها می‌باشند. تفاوت رنگ کل نمونه‌های خشک شده با نمونه‌های تازه در طی یک فرایند خشک شدن به عنوان معیاری برای تغییر رنگ کلی (ΔE) در طی خشک شدن از رابطه ۲ به دست آمدند (ستاره و همکاران ۲۰۲۳):

$$(2) \quad \Delta E = \sqrt{(L_0 - L_i)^2 + (a_0 - a_i)^2 + (b_0 - b_i)^2}$$

اندیس‌های 0 و 1 به ترتیب بیانگر مشخصه‌های

رنگی گیاه تر و گیاه خشک شده می‌باشد.

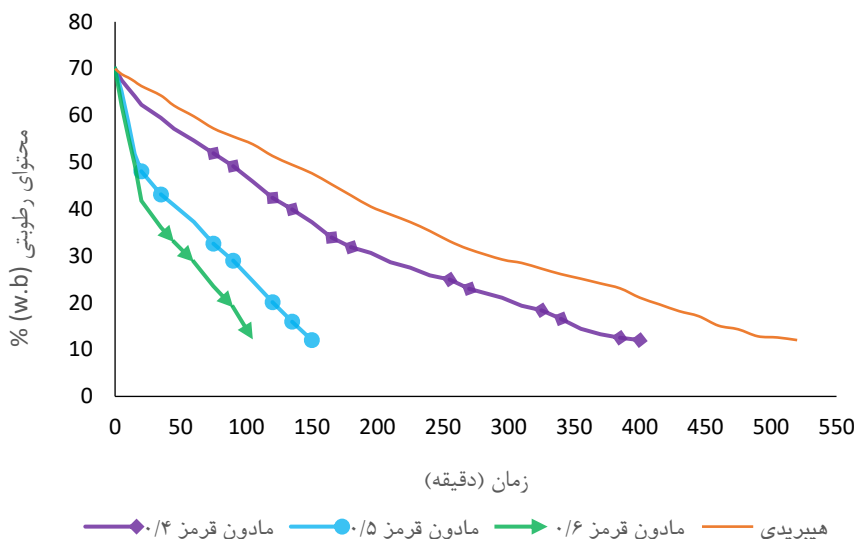
برای اندازه‌گیری میزان فنل کل گیاه مریم‌گلی از معرف فولین سیوکالتو استفاده شد. میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۶۵ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر قرائت شد. منحنی استاندارد بر اساس اسید گالیک، ترسیم و نتایج به صورت میلی‌گرم اسید گالیک بر گرم وزن خشک گزارش شد

برای اندازه‌گیری میزان فلاونوئید کل از معرف آلومینیوم کلرید استفاده شد. میزان فلاونوئید کل عصاره‌ها بر اساس میلی‌گرم معادل کوئرستین بر گرم وزن خشک گیاه گزارش شد (چانگ و همکاران ۲۰۰۲).

جهت تعیین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها از طریق خنثی‌کنندگی رادیکال آزاد DPPH و با استفاده از دستگاه

زیاد گیاه، مواد مؤثره موجود در آن کاهش می‌یابد (سوئیسال و اوزتکین ۱۹۹۹).

محتوای رطوبتی ۷۰٪ تا رسیدن به محتوی رطوبتی ۱۲٪ ادامه یافته است، که دلیل رسیدن به این محتوی رطوبتی، بخاطر حفظ ماده‌ی مؤثره موجود در گیاه مریم‌گلی می‌باشد، چون پایین‌تر از این مقدار، به دلیل خشک شدن



شکل ۱- نمودار زمان خشک شدن گیاه مریم‌گلی در روش‌های مختلف خشک کردن

قرمز توسط مولکول‌های آب می‌باشد بطوری‌که گرما در درون بافت گیاهی تولید می‌شود و مشکلات مربوط به هدایت گرمایی و خشک شدن لایه سطحی که در خشک-کن‌های هوای گرم متداول وجود دارد، تا حدود زیادی برطرف شده و در نتیجه زمان خشک شدن کاهش می‌یابد (مهاجران و همکاران ۲۰۰۶). از آنجایی که کاهش زمان خشک کردن محصولات گیاهی در کاهش هزینه‌های مربوط به مصرف انرژی برای خشک کردن اهمیت زیادی دارد (سلامی و همکاران ۲۰۱۱). بنابراین کاربرد خشک‌کن‌های مادون قرمز می‌تواند در کاهش هزینه‌های فرایند خشک کردن گیاه دارویی مریم‌گلی موثر باشد.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس، نشان دهنده اختلاف معنی‌داری بین تیمارها در سطح احتمال ۵ درصد و تأثیر روش‌های خشک کردن بر کیفیت رنگ نمونه‌های خشک شده بود (جدول ۱).

مدت زمان مورد نیاز برای خشک کردن با روش ترکیبی (مادون قرمز ۰/۴ وات بر سانتی‌متر مربع- هوای گرم ۴۵ درجه) به مدت ۵۲۰ دقیقه، خشک کردن با مادون قرمز ۰/۴ وات بر سانتی‌متر مربع به مدت ۴۰۰ دقیقه، خشک کردن با مادون قرمز ۰/۵ وات بر سانتی‌متر مربع ۱۵۰ دقیقه بود. کمترین زمان خشک شدن به خشک کردن با مادون قرمز ۰/۶ وات بر سانتی‌متر مربع مربوط می‌شود که ۱۰۵ دقیقه به طول انجامید (شکل ۱). خشک کردن در روش سایه در دمای اتاق ۱۱۶ ساعت طول کشید که در بین تیمارها بیشترین زمان بود.

افزایش شدت تابش مادون قرمز سبب بالا رفتن دمای نمونه‌ها می‌گردد، در نتیجه رطوبت با سرعت بیشتری از محصول تبخیر می‌شود (موجودمدار ۲۰۰۶). کاهش مدت زمان خشک شدن با افزایش شدت تابش مادون قرمز، احتمالاً ناشی از جذب بالای امواج مادون

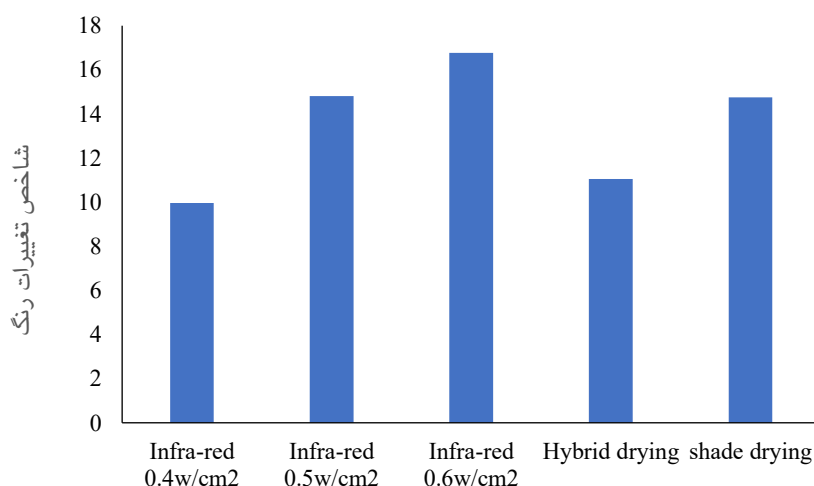
جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس تأثیر خشک کردن بر صفات مختلف مریم گلی

منابع تغییر	درجه آزادی	تغییرات رنگ	فنل کل	فلاونوئید	DPPH	بازده اسانس
تیمار	۴	۲۴/۳۳۵*	۱۴۶۱/۱۵۸ ^{ns}	۴۸/۲۵۹*	۲۱۲۸/۲۰۸*	۰/۰۲۹**
خطا	۱۰	۱۹/۱۴۵	۲۲۷۳/۷۲۹	۵/۳۲۰	۲۱۸/۷۱۹	۰/۰۰

ns: غیر معنی‌دار، *: معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و **: معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد است.

که هر چقدر شاخص تغییرات رنگ، عدد کوچک‌تری باشد بدین معناست که تیمار مربوطه در حفظ رنگ گیاه به خوبی عمل کرده است، پس می‌توان گفت بهترین کیفیت رنگ برگ‌های مریم‌گلی مربوط به تیمار مادون قرمز ۰/۴ است. با افزایش شدت تابش مادون قرمز، رنگ گیاه مورد نظر تیره‌تر شده، و مقدار ΔE افزایش یافته است.

شاخص ΔE نشان‌دهنده تغییرات رنگی در طول خشک شدن نمونه می‌باشد و بزرگ بودن آن نشان‌دهنده تفاوت بیشتر با نمونه شاهد از نظر رنگ می‌باشد. بیشترین مقدار مربوط به تیمار مادون قرمز ۰/۶ وات بر سانتی‌متر مربع ($\Delta E=16.7664$) و کمترین مقدار مربوط به تیمار خشک کردن با مادون قرمز ۰/۴ وات بر سانتی‌متر مربع ($\Delta E=9.9653$) بود. با توجه به این نکته

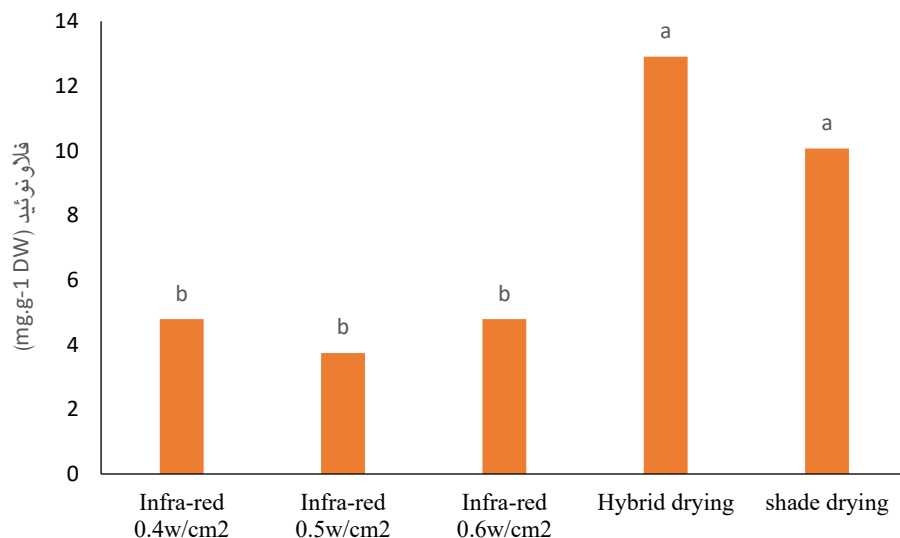


شکل ۲- نمودار اثر روش‌های مختلف خشک کردن بر شاخص تغییرات رنگ

از فرایند خشک شدن ناشی از تخریب کلروفیل می‌باشد (بوچاپلوت و همکاران ۲۰۰۹).

نتایج این تحقیق نشان داد که شدت تابش مادون قرمز ۰/۴ وات بر سانتی‌متر مربع توانست محصولی با رنگ سبز مطلوب‌تر و میزان قهوه‌ای شدن کمتر حاصل نماید. با توجه به جدول ۱ نتایج آنالیز واریانس نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای مختلف خشک کردن بر میزان فنل گیاه وجود ندارد. همچنین اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بین تیمارهای مختلف خشک کردن بر میزان فلاونوئید کل گیاه وجود دارد.

در مطالعه‌ای روی تغییرات کیفی قارچ در روش هیبریدی مایکروویو و خلأ تحت تابش مادون قرمز به این نتیجه رسیدند که تابش مادون قرمز موجب افزایش کیفیت رنگ قارچ خشک شده می‌شود (کانترونک و همکاران ۲۰۱۴). رنگ سبز طبیعی برگ‌ها به دلیل وجود ترکیبی به نام کلروفیل می‌باشد که به طور مستقیم به منیزیم در ارتباط است. در طی خشک شدن، درجه حرارت بالا منجر به جایگزینی هیدروژن به جای منیزیم در کلروفیل می‌شود و در نتیجه کلروفیل به فئوفیتین تبدیل می‌شود (امید بیگی، ۲۰۱۳). درجه حرارت‌های بالا باعث تیره شدن رنگ گیاه می‌شود که این رنگ تیره بعد

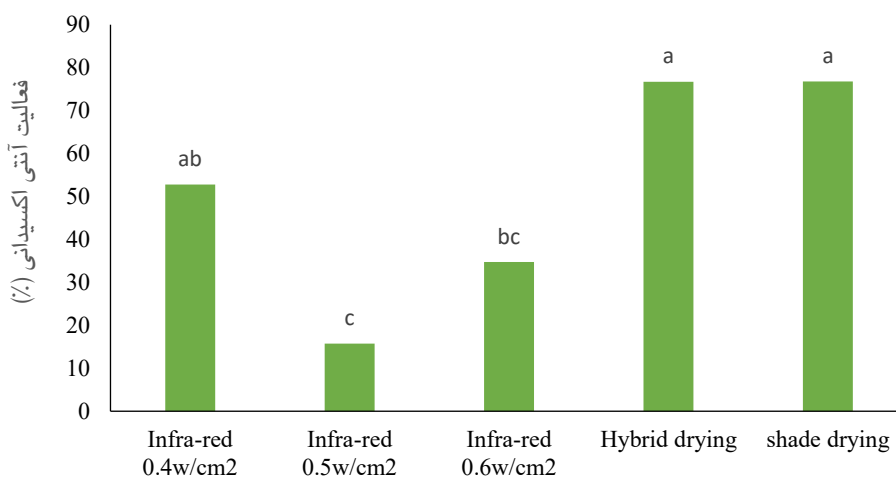


شکل ۳- نمودار مقایسه میانگین میزان فلاونوئید کل در روش‌های مختلف خشک کردن

قرمز از لحاظ میزان فلاونوئید کل اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

مقایسه میانگین قدرت به‌دام‌اندازی رادیکال‌های آزاد DPPH اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بین تیمارهای مختلف خشک کردن بر میزان آنتی‌اکسیدان گیاه نشان داد.

با توجه به شکل مشاهده می‌شود که بیشترین میزان فلاونوئید کل (۱۲.۹۱۰۸) در نمونه‌های خشک شده با روش ترکیبی (مادون قرمز ۰/۴ وات بر سانتی‌متر مربع - هوای داغ ۴۵ درجه) وجود داشت و کمترین میزان در روش خشک کردن با مادون قرمز ۰/۵ وات بر سانتی‌متر مربع مشاهده شد و بین سطوح مختلف تابش مادون



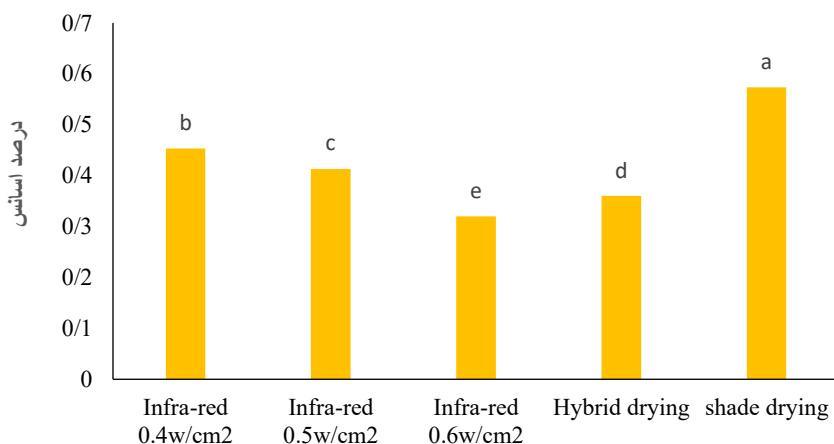
شکل ۴- نمودار مقایسه میانگین فعالیت آنتی‌اکسیدانی در روش‌های مختلف خشک کردن

- هوای داغ ۴۵ درجه) و روش خشک کردن در سایه به دست آمد.

بیشترین میزان آنتی‌اکسیدانی گیاه در روش خشک کردن ترکیبی (مادون قرمز ۰/۴ وات بر سانتی‌متر مربع

روش خشک کردن بر درصد اسانس، در سطح احتمال ۱ درصد وجود دارد (جدول ۱).

نتایج تجزیه واریانس تأثیر روش‌های خشک کردن بر بازده اسانس، نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین تأثیر



شکل ۵- نمودار مقایسه میانگین بازده اسانس در روش‌های مختلف خشک کردن

الوج و همکاران (۲۰۱۹) با بررسی ترکیبات شیمیایی گیاه مریم‌گلی، کامفور (۳۳.۶۱ درصد)، ۸و۱-سینئول (۲۲.۲۲ درصد) و آلفا توجون (۲۱.۴۳ درصد) را به عنوان ترکیبات اصلی این گیاه شناسایی کردند. همچنین در مطالعه انجام شده توسط تاریت و همکاران (۲۰۰۹) مهم-ترین ترکیبات تشکیل دهنده اسانس این گیاه، ۸و۱-سینئول، آلفا توجون، وریدیفلرول و بتا توجون معرفی گردید. تفاوت در میزان ترکیبات اصلی مریم‌گلی را می‌توان به دلایلی همچون تفاوت‌های اکولوژیکی نسبت داد. ترکیبات موجود در اسانس گیاهان ناشی از تفاوت‌های اکولوژیکی مانند طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع، دما، رطوبت، اقلیم و خاک، مسیرهای متابولیکی و بیوسنتز مواد موثر در این گیاهان است که در نتیجه متابولیک‌های ثانویه متنوعی تحت شرایط محیطی متفاوت بیوسنتز می‌شود (الیوریا و همکاران ۲۰۱۶).

مهم‌ترین جزء اسانس گیاه مریم‌گلی دارویی را ترکیب بتا توجون تشکیل می‌دهد. میزان این ترکیب با بالا رفتن شدت تابش مادون قرمز روند کاهشی داشت. بالاترین میزان این ترکیب (۳۶.۲۵ درصد) در نمونه‌های خشک شده با تابش مادون قرمز ۰/۴ وات بر سانتی‌متر مربع مشاهده شد و کمترین میزان (۱۴.۴۵) به تیمار خشک

بر اساس نتایج مقایسه میانگین در این آزمایش، بازده اسانس از ۰.۳۲ تا ۰.۷/۵ درصد متغیر می‌باشد. بیشترین بازده اسانس (۰.۷/۵ درصد) مربوط به تیمار خشک کردن در سایه و بعد از آن، با مقدار ۰.۵/۴ درصد مربوط به تیمار خشک کردن با مادون قرمز ۰/۴ وات بر سانتی‌متر مربع و کمترین مقدار (۰.۳۲ درصد) مربوط به تیمار خشک کردن با مادون قرمز ۰.۶ وات بر سانتی‌متر مربع بود. با بالا رفتن شدت تابش مادون قرمز میزان اسانس روند کاهشی داشت، به طوری که در شدت تابش ۰/۴ وات بر سانتی‌متر مربع بازده اسانس ۰.۵/۴ درصد بود و در شدت تابش مادون قرمز ۰.۶ وات بر سانتی‌متر مربع این مقدار به ۰.۳۲ درصد رسید. میزان اسانس در روش خشک کردن با مادون قرمز ۰/۴ و ۰/۵ وات بر سانتی‌متر مربع بیشتر از میزان اسانس روش خشک کردن ترکیبی (مادون قرمز ۰/۴ وات بر سانتی‌متر مربع- هوای داغ ۴۵ درجه) بود که با نتایج مطالعه پاکونن و همکاران (۱۹۹۹) روی نمونه‌های گیاهان نعناع فلفلی و جعفری خشک شده توسط تابش مادون قرمز و هوای گرم هم‌خوانی دارد.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده توسط دستگاه GC-MS، تعداد ۱۹ ترکیب مهم شناسایی شد. مهم‌ترین اجزای اسانس مریم‌گلی عبارت بودند از: بتا توجون، کامفور، آلفا توجون، ۸و۱-سینئول.

سانتی‌متر مربع و دمای ۴۵ درجه) و بعد از آن با میزان ۳۱.۱۳ درصد در روش خشک کردن با تابش مادون قرمز ۰.۶ وات بر سانتی‌متر مربع مشاهده شد. کمترین میزان از این ترکیب (۲۵.۸ درصد) مربوط به تیمار خشک کردن در سایه بود.

کردن با مادون قرمز ۰.۶ وات بر سانتی‌متر مربع تعلق داشت. دومین ترکیب مهم در اجزای اسانس گیاه مریم‌گلی، کامفور بود که بالاترین درصد از این ترکیب (۳۱.۵۸ درصد) در روش ترکیبی (مادون قرمز ۰/۴ وات بر

جدول ۲- ترکیبات اسانس گیاه مریم‌گلی دارویی در تیمارهای مختلف خشک

ردیف	نام ترکیب	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
۱	pinene Alpha	۱/۷۶	۱/۷۳	۰/۶۳	۱/۹۵	۱/۵۹
۲	Camphene	۲/۴۳	۲/۵۶	۰/۹۱	۳/۲۳	۲/۴۳
۳	Beta pinene	۱/۶۲	۱/۳۶	۰/۳۹	۱/۵۹	۲/۱۲
۴	1,8-Cineole	۹/۰۴	۹/۵۲	۶/۴۲	۱۰/۰۹	۱۲/۴۲
۵	Alpha Thujone	-	۳/۳	۱۱/۶۲	۱۴/۹۱	-
۶	Beta Thujone	۳۶/۲۵	۳۱/۰۳	۱۴/۴۵	۱۹/۵۲	۲۹/۴۶
۷	Camphor	۲۹/۰۴	۳۱/۰۳	۳۱/۱۳	۳۱/۵۸	۲۵/۸
۸	Bornyl Acetate	۰/۵۱	-	۰/۶۴	-	-
۹	Caryophyllene	۳/۱۵	۳/۶۴	۴/۰۳	۲/۵۴	۱/۲۶
۱۰	Alloaromadendrene	۱/۲۲	۱/۱۹	۱/۹۶	۰/۸۰	۰/۷۱
۱۱	Humulene	۳/۹۹	۴/۳۵	۴/۴۱	۳/۰۸	۱/۰۸
۱۲	Caryophyllene oxide	۱/۸۶	۲/۴۹	۲/۴۸	۳/۱	۵/۵۲
۱۳	Veridiflorol	۲/۱۷	۴/۰۷	۴/۳۹	۱/۸۷	۱/۰۱
۱۴	alpha Farnesene	۰/۲۲	-	۱/۲۸	-	۰/۴۴
۱۵	Cadinol alpha	۲/۰۹	-	-	۲/۳۸	۳/۸۸
۱۶	Valencene	۰/۷۴	۰/۹۶	۱/۲۸	۰/۵۶	-
۱۷	azulene Cycloprop	-	-	۴/۲۶	-	-
۱۸	selinene alpha	-	-	۱/۰۷	-	-
۱۹	beta bisabolene	۰/۱۵	-	-	۰/۲۹	۰/۷۱
۲۰	مونوترپن‌ها هیدروکربنی	۵/۸۱	۵/۶۵	۱/۵۴	۶/۷۷	۶/۱۴
۲۱	مونوترپن‌های اکسیژن‌دار	۷۴/۳۳	۷۴/۸۸	۶۲/۸۲	۷۶/۱	۶۷/۶۸
۲۲	سزکوئی‌ترین‌های هیدروکربنی	۹/۴۷	۱۰/۱۴	۱۰/۴۶	۷/۲۷	۴/۲
۲۳	سزکوئی‌ترین‌های اکسیژن‌دار	۶/۱۲	۶/۵۶	۶/۸۸	۷/۳۵	۱۰/۴۱

T₁: روش خشک کردن با مادون قرمز ۰/۴ وات بر سانتی‌متر مربع، T₂: روش خشک کردن با مادون قرمز ۰/۵ وات بر سانتی‌متر مربع، T₃: روش خشک کردن با مادون قرمز ۰.۶ وات بر سانتی‌متر مربع، T₄: روش خشک کردن ترکیبی (مادون قرمز ۰/۴ وات بر سانتی‌متر مربع و دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد)، T₅: خشک کردن در سایه

برای به دست آوردن این ترکیبات سطح بالای تابش مادون قرمز (۰.۶ وات بر سانتی‌متر مربع) مناسب‌تر از سطح پایین تابش مادون قرمز (۰.۴ وات بر سانتی‌متر مربع) است.

بیشترین میزان سزکوئی‌ترین‌های هیدروکربنی در تیمار خشک کردن با مادون قرمز ۰.۶ وات بر سانتی‌متر مربع (۰.۶/۱۴ درصد) و کمترین میزان سزکوئی‌ترین‌های هیدروکربنی در روش خشک کردن در سایه (۴.۲ درصد) مشاهده شد. باتوجه‌به اینکه با افزایش سطح تابش مادون قرمز از ۰.۴ وات بر سانتی‌متر مربع به ۰.۶ وات بر سانتی‌متر مربع مقدار این ترکیبات افزایش یافته است پس برای به دست آوردن این ترکیبات سطح بالای تابش مادون قرمز (۰.۶ وات بر سانتی‌متر مربع) مناسب‌تر از سطح پایین تابش مادون قرمز (۰.۴ وات بر سانتی‌متر مربع) است.

بیشترین مقدار مونوترپن‌های هیدروکربنی (۶.۷۷ درصد) مربوط به خشک کردن ترکیبی (مادون قرمز ۰.۴ وات بر سانتی‌متر مربع و هوای گرم ۴۵ درجه سانتی‌گراد) و کمترین مقدار (۱.۵۴ درصد) مربوط به تیمار خشک کردن مادون قرمز ۰.۶ وات بر سانتی‌متر مربع است. با توجه به اینکه با افزایش سطح تابش مادون قرمز مقدار این ترکیبات روند نزولی داشته و از مقدار ۵.۸۱ درصد به ۱.۵۴ درصد کاهش یافته است برای به دست آوردن این ترکیبات سطوح بالای تابش مادون قرمز مناسب نیست.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به جمع‌بندی نتایج این آزمایش، موارد زیر نتیجه‌گیری و جمع‌بندی می‌گردد:

کمترین میزان تغییرات رنگ (بهترین کیفیت رنگ) در روش خشک کردن با مادون قرمز ۰.۴ وات بر سانتی‌متر مربع به دست آمد.

بیشترین میزان ترکیب بتا توجون در روش خشک کردن با مادون قرمز ۰.۴ وات بر سانتی‌متر مربع به دست آمد. بیشترین میزان ترکیب کامفور در روش خشک کردن ترکیبی (مادون قرمز ۰.۴ وات بر سانتی‌متر مربع -

سومین ترکیب اصلی در اسانس آلفا توجون بود که بیشترین مقدار آن (۱۴.۹۱ درصد) مربوط به تیمار خشک کردن ترکیبی (مادون قرمز ۰.۴ وات بر سانتی‌متر مربع و هوای داغ ۴۵ درجه) بود. در بالاترین سطح از تابش مادون قرمز (۰.۶ وات بر سانتی‌متر مربع) میزان این ترکیب ۱۱.۶۲ درصد بود و در خشک کردن با تابش مادون قرمز ۰.۵ وات بر سانتی‌متر مربع مقدار این ترکیب به ۳.۳ درصد کاهش یافت و در خشک کردن با تابش مادون قرمز ۰.۴ وات بر سانتی‌متر مربع، این ترکیب مشاهده نشد و چون مقدار این ترکیب در سطوح بالای تابش مادون قرمز بیشتر است به نظر می‌رسد که برای به دست آوردن این ترکیب، سطح پایین تابش مادون قرمز مناسب نیست. همچنین این ترکیب در روش خشک کردن در سایه هم مشاهده نشد.

چهارمین ترکیب اصلی اسانس گیاه، ۸۱ سینئول بود که بیشترین مقدار آن در خشک کردن در سایه (۱۲.۴۲ درصد) و بعد از آن در تیمار خشک کردن ترکیبی (مادون قرمز ۰.۴ وات بر سانتی‌متر مربع و هوای داغ ۴۵ درجه) (۱۰.۰۹ درصد) مشاهده شد. کمترین مقدار از این ترکیب (۵.۶۲ درصد) در روش خشک کردن با تابش مادون قرمز ۰.۶ وات بر سانتی‌متر مربع وجود داشت.

از میان ترکیبات شناسایی شده بیشترین درصد از ترکیبات اسانس‌ها در همه تیمارها، مربوط به ترکیبات مونوترپن‌های اکسیژن‌دار بود. تیمار خشک کردن ترکیبی (مادون قرمز ۰.۴ - هوای داغ ۴۵ درجه) بیشترین میزان اختصاص داده بود و کمترین مقدار از این ترکیبات (۶۲.۸۲ درصد) مربوط به بالاترین سطح از تابش مادون قرمز (۰.۶ وات بر سانتی‌متر مربع) بود.

بیشترین میزان سزکوئی‌ترین‌ترین اکسیژن‌دار (۰.۱/۱۴ درصد) در روش خشک کردن در سایه و کمترین مقدار این ترکیبات (۶.۱۲ درصد) در روش خشک کردن با تابش مادون قرمز ۰.۴ وات بر سانتی‌متر مربع حاصل شد. با توجه به اینکه با افزایش شدت تابش مادون قرمز از ۰.۴ وات بر سانتی‌متر مربع به ۰.۶ وات بر سانتی‌متر مربع، مقدار این ترکیبات از ۶.۱۲ درصد به ۶.۸۸ درصد رسید

در روش خشک کردن در سایه و بعد از آن با اختلاف خیلی کمی در روش خشک کردن ترکیبی (مادون قرمز ۰/۴ وات بر سانتی‌متر مربع-هوای گرم ۴۵ درجه) حاصل شد.

سپاسگزاری

از همکاری و مساعدت کارشناس آزمایشگاه تولید و فراوری گیاهان دارویی دانشگاه تبریز در راستای انجام پژوهش سپاسگزاری می‌گردد.

هوای گرم ۴۵ درجه) حاصل شد. بیشترین میزان آلفا توجون در روش خشک کردن ترکیبی (مادون قرمز ۰/۴ وات بر سانتی‌متر مربع-هوای گرم ۴۵ درجه) حاصل شد. بیشترین میزان ترکیب او۸-سینئول در روش خشک کردن در سایه به دست آمد. بیشترین میزان فلاونوئید در روش خشک کردن ترکیبی (مادون قرمز ۰/۴ وات بر سانتی‌متر مربع-هوای گرم ۴۵ درجه) حاصل شد. بین روش‌های مختلف خشک کردن در میزان فنل اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. بیشترین میزان آنتی‌اکسیدان

منابع مورد استفاده

- Ambrose DC, Annamalai S, Naik R. 2013. Effect of drying on the volatile oil yield of patchouli. *Indian Journal of Science and Technology* 6:5559-5562.
- Arab hoseini A, Mooler Y. 2014. Evaluation of changes in Essential oil amount during Drying process. Second symposium of medicinal plants and sustainable agriculture. Hamedan, 1-8.
- Azizi M, Rahmati M, Ebadi T and Hasanzadeh khayyat M. 2009. The effects of different drying methods on weight loss rate, essential oil and chamazulene contents of chamomile (*Matricaria recutita*) flowers. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 25(2): 182-192. (In persian). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2009.7239>
- Belghit A, Kouhila M, Boutaleb B. 2000. Experimental study of drying kinetics by forced convection of aromatic plants. *Energy Conversion and Management* 41:1303-1321. [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(99\)00162-4](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(99)00162-4)
- Bondet V, Brand-Williams W, Berset C. 1997. Kinetics and mechanisms of antioxidant activity using the DPPH. free radical method. *LWT-Food Science and Technology* 30: 609-615.
- Buchaillet A, Caffin N, Bhandari B. 2009. Drying of lemon myrtle (*Backhousia citriodora*) leaves: Retention of volatiles and color. *Drying Technology* 27: 445-450. <https://doi.org/10.1080/07373930802683740>
- 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>
- Chua LY, Chong CH, Chua BL, Figiel A. 2019. Influence of drying methods on the antibacterial, antioxidant and essential oil volatile composition of herbs: a review. *Food and Bioprocess Technology* 12: 450-476. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2227-x>
- Doymaz İ, Tugrul N, Pala M. 2006. Drying characteristics of dill and parsley leaves. *Journal of Food Engineering* 77: 559-565. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.06.070>
- Duke J. 2002. *Handbook of medicinal herbs*: CRC Press.
- Dwivedy S, Rayaguru K, Sahoo G. 2012. Effect of drying methods on quality characteristics of medicinal Indian borage (*Coleus aromaticus*) leaves. *Journal of Food Processing Technology* 3:1-6. □ DOI:10.4172/2157-7110.1000188
- Ebadi MT, Sefidkon F, Azizi M and Ahmadi N. 2016. Effects of air velocity and infrared radiation intensity on drying factors of lemon verbena (*Lippia citriodora* Kunth.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 32(1): 161-173. (In persian). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2016.106145>

- El Euch SK, Hassine D, Cazaux S, Bouzouita N, Bouajila J. 2019. *Salvia officinalis* essential oil: Chemical analysis and evaluation of anti-enzymatic and antioxidant bioactivities. *South African Journal of Botany* 120: 253-260. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2018.07.010>
- Ghabaei T, Nazirzadeh S and Nourafcan H. 2019. Effect of different drying methods on quantity and quality of active substances of Purple coneflower (*Echinacea purpureae* L.). *Journal of Herbal Drugs* 9(3): 115-120.
- Jangi F, Ebadi MTand Ayyari M. 2019. Evaluation of qualitative characteristics of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) in infrared drying. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 35 (5): 876-887. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2019.125942.2540>
- Karimi SR, Shahhoseini R and Zakeri S. 2013. Assessment of drying process, quantity of essential oil and mathematical modeling of lemon verbena (*Lippia citriodora* H. B. et K.) using hot air. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 28(4): 684- 698. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2013.2919>
- Kantrong H, Tansakul A, Mittal GS. 2014. Drying characteristics and quality of shiitake mushroom undergoing microwave-vacuum drying and microwave-vacuum combined with infrared drying. *Journal of food science and technology* 51:3594-3608. doi: 10.1007/s13197-012-0888-4.
- Khangholil S, Rezaeinodehi A. 2008. Effect of drying temperature on essential oil content and composition of sweet wormwood (*Artemisia annua*) growing wild in Iran. *Pakistan journal of biological sciences* 11:934-937. doi: 10.3923/pjbs.2008.934.937.
- Li Z, Raghavan G, Wang N, Vigneault C. 2011. Drying rate control in the middle stage of microwave drying. *Journal of Food Engineering* 104: 234-238. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.12.014>
- Mahmoudi A Karami M, Ebadi M.T. and Ayyari M. 2020. Effects of infrared drying and air flow rate on qualitative parameters of *Matricaria chamomilla* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research* 36(5): 709-723. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2020.341490.2701>
- Martinov M. 2014. *Medicinal and Aromatic Crops: Harvesting, Drying, and Processing*. CRC Press.
- Mohajeran S, Khoush TM, Moazami GA. 2006. Effect of rough rice temperature and air velocity on grain crack during infrared radiation drying. *Journal of food science and technology* 3(2): 57-66. (In persian).
- Mongpraneet S, Abe T, Tsurusaki T. 2002. Accelerated drying of welsh onion by far infrared radiation under vacuum conditions. *Journal of Food Engineering* 55:147-156. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00058-4](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00058-4)
- Mozaffarian V. 2012. *Medicinal plants of Iran*. 1st Edition. FFarhange Moaser Publications. Tehran
- Mujumdar AS. 2006. *Handbook of industrial drying*. CRC press.
- Oliveira GC, Vieira WL, Bertolli SC, Pacheco AC. 2016. Photosynthetic behavior, growth and essential oil production of *Melissa officinalis* L. cultivated under colored shade nets. *Chilean journal of agricultural research* 76:123-128. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392016000100017>
- Omidbaigi R. 2004. *Production and processing of medicinal plants*. 1st edition, Astan ghods razavi publications
- Pääkkönen K, Havento J, Galambosi B. 1999. Infrared drying of herbs (Research Note). *Agricultural and Food Science* 8: 19-27.
- Rocha R, Melo EC, Radünz L. 2011. Influence of drying process on the quality of medicinal plants: A review. *Journal of Medicinal Plants Research* 5:7076-7084. DOI: 10.5897/JMPRx11.001
- Salimi Hizadji A , Maghsoudou H, Mirzaii HA and Kashani nejad M. 2010. Effect of shelf life on quality changes of potato dried powder and cubes to select the best usage duration and variety. *Journal of Food Science and Technology* 7 (2): 69-83. (In persian).

- Sellami IH, Wannas WA, Bettaieb I, Berrima S, Chahed T, Marzouk B, Limam F. 2011. Qualitative and quantitative changes in the essential oil of *Laurus nobilis* L. leaves as affected by different drying methods. *Food chemistry* 126:691-697. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.11.022>
- Setareh R, Mohammadi-Ghermezgoli K, Ghaffari-Setoubadi H, Alizadeh-Salteh S. 2023. The effectiveness of hot-air, infrared and hybrid drying techniques for lemongrass: appearance acceptability, essential oil yield, and volatile compound preservation. *Scientific Reports* 13: 18820. doi: 10.1038/s41598-023-44934-6.
- Soysal Y, Öztekin S. 1999. Equilibrium moisture content equations for some medicinal and aromatic plants. *Journal of Agricultural Engineering Research* 74:317-324.
- Soysal Y, Öztekin S, Eren Ö. 2006. Microwave drying of parsley: modelling, kinetics, and energy aspects. *Biosystems Engineering* 93:403-413. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2006.01.017>
- Taarit MB, Msaada K, Hosni K, Hammami M, Kchouk ME, Marzouk B. 2009. Plant growth, essential oil yield and composition of sage (*Salvia officinalis* L.) fruits cultivated under salt stress conditions. *Industrial Crops and Products* 30:333-337. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.06.001>
- Thamkaew G, Sjöholm I, Galindo FG. 2021. A review of drying methods for improving the quality of dried herbs. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 61: 1763-1786. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1765309>
- Venskutonis P. 1997. Effect of drying on the volatile constituents of thyme (*Thymus vulgaris* L.) and sage (*Salvia officinalis* L.). *Food chemistry* 59:219-227. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(96\)00242-7](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(96)00242-7)
- Zargari A. 2006. Medicinal plants. 3rd vol, 6th edidtion. Publication of university of Tehran. 7.