

مقاله پژوهشی

بررسی سینتیک خشک‌شدن، تغییرات رنگ و فنل کل در غنچه گل محمدی در روش‌های مختلف خشک‌کردن

امیدرضا روستاپور^{۱*}، ابوالفضل گلشن تفتی^۲، حمیدرضا گازر^۳ و فاطمه سفیدکن^۴

۱، ۲ و ۳- به ترتیب: دانشیار؛ استادیار؛ و دانشیار مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۴- استاد موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۸/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۷

چکیده

تولید غنچه خشک گل محمدی با کیفیت ظاهری و عطر مناسب یکی از دغدغه‌های صنایع تبدیلی است. در این مقاله، تأثیر شش تیمار سایه خشک (شاهد) و خشک‌کن‌های "خورشیدی تابش غیرمستقیم، کابینتی در ماه‌های ۴۰، ۵۰ و ۶۰°C و انجمادی بر سینتیک خشک‌شدن غنچه گل محمدی بررسی شد. شاخص‌های کیفی رنگ و فنل کل غنچه‌های خشک‌شده نیز اندازه‌گیری و مقایسه شدند. بیشترین شدت خشک‌شدن در خشک‌کن کابینتی با دمای ۶۰°C و کمترین شدت خشک‌شدن در خشک‌کن انجمادی بود. درصد کاهش فنل کل در غنچه‌های خشک‌شده در کابینتی (۴۰، ۵۰ و ۶۰°C)، خورشیدی و انجمادی به ترتیب ۱۲، ۱۷، ۲۱/۷، ۲۲ و ۲۶ نسبت به روش شاهد (سایه خشک) مشاهده شد. شاخص L^* دارای بالاترین میزان در گلبرگ‌های بیرونی و درونی غنچه‌های خشک‌شده با روش انجمادی بود. این شاخص در گلبرگ‌های بیرونی و درونی غنچه خشک‌شده با خشک‌کن کابینتی در دمای ۵۰ به ترتیب ۵ و ۱/۹۳ درصد کمتر بود تا در دمای ۶۰°C و حاکی از تیرگی رنگ گلبرگ‌ها به دلیل طولانی‌تری شدن زمان فرآیند بود. بالاترین میزان a^* (۲۵/۶۱) در گلبرگ‌های بیرونی غنچه‌های خشک در روش کابینتی ۵۰°C بود. شاخص b^* در گلبرگ‌های بیرونی و درونی غنچه‌های خشک‌شده با خشک‌کن کابینتی در دمای ۵۰°C، خشک‌کن خورشیدی و روش سایه خشک اختلاف معنی‌داری نداشت.

واژه‌های کلیدی

سینتیک خشک‌کردن، شاخص رنگ، غنچه گل محمدی، فنل کل، کیفیت

مقدمه

منتهی به چند گل و دارای تیغ‌های پهن و برگشته است. میان‌های شاخه‌های گلدار غالباً دارای ۵ برگچه و به ندرت دارای ۷ تا ۹ برگچه، برگچه‌ها تخم‌مرغی یا تخم‌مرغی مستطیلی به طول ۶-۲ سانتی‌متر، دندان‌اره‌ای ساده، با سطح فوقانی بدون کرک، سطح تحتانی کم و بیش کرک‌دار، دم‌برگ خاردار، گوشواره‌ها گاهی شانه‌ای است. گل‌ها صورتی، کم و

گل محمدی (*Rosa damascena* Mill) درختچه‌ای به ارتفاع ۲ متر، تقریباً انبوه و پرتیغ است. ساقه‌ها متعدد با شاخه‌های تقریباً باریک با خارهای قلاب‌مانند سرعصایی محکم گاهی مخلوط با کرک‌های موی ریش مانند غده‌دار، سبزمات یا متمایل به زرد، ایستاده، تیغ‌دار، شاخه‌های آن

مرسوم (آفتابی و سایه) خشک می‌شوند. خشک کردن در هوای آزاد به دلیل نشست گرد و غبار و تردد جانوران و حشرات و نیز نداشتن دسترسی به استانداردهای ثابت کیفیت، باعث کاهش کیفیت محصول می‌شود (Khorrandel *et al.*, 2013). مقدار رطوبت گل محمدی خشک در محدوده ۶-۱۲ درصد است. گل محمدی در رطوبت‌های بیش از ۱۲ درصد، دچار کپک‌زدگی می‌شود و در رطوبت‌های کمتر از ۶ درصد نیز شکسته و خرد می‌شود. گل‌هایی که زیر نور مستقیم آفتاب خشک می‌شوند، بی‌کیفیت هستند. حداکثر دمای مناسب برای خشک کردن گل محمدی، ۳۸ درجه سلسیوس است. مهم‌ترین مشکل در خشک کردن گل محمدی، تغییر کیفیت و غلظت عطر گل در خلال این عملیات است (Ebrahimi & Sharifzadegan, 2016).

چن و همکاران (Chen *et al.*, 2000)، اثر زمان‌های مختلف انجماد و دماهای خشک کردن در خشک‌کن تحت خلأ را بر رنگ و استحکام ساقه و گلبرگ گل‌های رز و میخک ارزیابی کردند و نشان دادند دمای پایین‌تر خشک کردن منجر به تولید گل‌های خشک با رنگ نزدیک‌تر به گل‌های تازه می‌شود در حالی که دمای بالاتر خشک کردن منجر به تولید گل با رنگ تیره‌تر ولی با گلبرگ‌های مقاوم‌تر نسبت به گل‌های تازه می‌شود. در یک تحقیق، اثر روش‌های مختلف خشک کردن در آفتاب، سایه و آون در دماهای ۳۰ و ۴۰ درجه سلسیوس بر کمیت و کیفیت اسانس گلبرگ‌های سه ژنوتیپ گل محمدی، بررسی و اسانس نمونه‌ها با دستگاه‌های GC-MS و GC تجزیه و شناسایی شد. نتایج تحقیق نشان داد که اسانس گلبرگ‌های تازه دارای بالاترین کیفیت (درصد بالای ژرانپول و سیترونلول و کمترین میزان ترکیبات مومی) است. همچنین،

بیش بزرگ، معطر، غالباً مجتمع در گل آذینی دارای چند گل، با دمگلی اغلب کوتاه با تیغ‌هایی باریک و موپین هستند. برگ‌ها دارای دو جور تیغ، تیغ‌های عریض برگشته به پایین هستند، این گونه را دورگی ثابت از دو گونه *R. moscata* و *R. gallica* می‌دانند (Ghahreman, 1996; Mozaffarian, 2005).

بر اساس آمارنامه کشاورزی (Anon., 2021)، سطح زیرکشت گل محمدی در کشور حدود ۳۵۰۰۰ هکتار با عملکرد متوسط ۲ تن در هکتار گزارش شده است. فارس، کرمان، اصفهان، آذربایجان شرقی، خراسان رضوی و مرکزی از استان‌های عمده تولیدکننده گل محمدی هستند.

با توجه به وجود مقداری تانن، گالیک اسید، اسانس، مواد چرب و مواد رنگی در گلبرگ گل محمدی و نیز داشتن آسکوربیک اسید (ویتامین C) در میوه و همچنین کاربرد آن در تقطیر و تهیه گلاب و اسانس، که همگی از فرآورده‌های پایه‌ای و مهم هستند، استفاده‌های جانبی مانند تهیه مربا از گلبرگ‌های این گیاه نیز مرسوم است. گلبرگ‌های این گیاه از گذشته‌های دور در پزشکی سنتی مانند دارویی گیاهی برای اسهال، دردهای رماتیسمی، ناهنجاری‌های خونی و گلو درد کاربرد داشته است (Mehdizadeh Barzaki & Behmadi, 2019).

خشک کردن یکی از روش‌های نگهداری گل محمدی است. فرآیند خشک کردن شامل کاهش رطوبت محصول به منظور توقف فعالیت آنزیمی و رشد میکروارگانیسم‌ها و افزایش زمان نگهداری محصول است. تولید غنچه خشک گل محمدی برای مصارف خوراکی با هدف حفظ کیفیت و تولید غذای سالم از مسائل مورد توجه است. در حال حاضر، درصد زیادی از غنچه‌های گل محمدی به روش‌های

خشک‌کن، ظرفیت بالایی از مواد معطر حفظ شد. نتایج حاکی از حفظ بالای ترکیبات آنتی‌اکسیدانی در نمونه‌های خروجی از خشک‌کن خورشیدی بود (Barman *et al.*, 2022).

رائول و همکاران (Raol *et al.*, 2013)، از خشک‌کن کابینتی در دماهای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس، مایکروویو با سلیکاژل در دمای ۵۰ درجه سلسیوس، خشک‌کن تحت خلأ در دمای ۴۰ درجه سلسیوس و فشار ۷۶۰ میلی‌متر جیوه و روش‌های مرسوم (خشک‌کردن در سایه و در آفتاب) برای خشک‌کردن غنچه کامل گل محمدی استفاده کردند. بیشترین زمان خشک‌کردن در روش سایه (۵ روز) و کمترین زمان خشک‌کردن، در روش مایکروویو (۱۳ دقیقه) به‌دست آمد. روش مایکروویو با سلیکاژل در دمای ۵۰ درجه سلسیوس و پس از آن روش تحت خلأ در دمای ۴۰ درجه سلسیوس و فشار ۷۶۰ میلی‌متر جیوه بهترین روش‌های خشک‌کردن غنچه گل محمدی گزارش شدند. در خشک‌کن کابینتی با دمای ۴۰ درجه سلسیوس، مقدار رطوبت از ۸۰ درصد (بر پایه تر) به ۲۹ درصد (بر پایه تر) طی مدت زمان ۵ ساعت کاهش یافت. بیار و همکاران (Boyar *at al.*, 2013)، ویژگی‌ها و رفتار خشک‌شدن گل محمدی با روش سایه را بررسی کردند. در این بررسی، میانگین رطوبت اولیه گل‌ها ۷۹/۶ درصد (بر پایه تر) بود که پس از خشک‌شدن، به ۱۱/۷ درصد (بر پایه تر) رسید. زمان خشک‌شدن گل محمدی، بسته به شرایط آب و هوایی، در محدوده ۱۶۲-۷۲ ساعت (۷-۳ روز) بود. گل محمدی به شدت تحت تأثیر دما و رطوبت هوا در طی فرآیند خشک‌کردن در سایه قرار داشت.

در فرآیند خشک‌کردن غنچه گل محمدی، حفظ عطر و بو، اسانس، کیفیت ظاهری و رنگ مخصوصاً

اسانس حاصل از گلبرگ‌های خشک‌شده در سایه نسبت به اسانس حاصل از روش‌های دیگر تفاوت معنی‌داری ندارد ولی از لحاظ کیفیت دارای تفاوت چشمگیری است. بهترین روش خشک‌کردن گل محمدی برای حفظ مقادیر بالاتری از اسانس و اجزای معطر، خشک‌کردن در سایه توصیه شده است (Ahmadi *et al.*, 2008). هنین و همکاران (Hnin *et al.*, 2021) گل سرخ خوراکی را با خشک‌کن جدید هیبریدی فرورسرخ-انجمادی طی شرایط مجهز به سامانه توزیع گاز ضربانی و بدون در نظرگرفتن این سامانه در سه سطح دمای ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس خشک کردند. خشک‌کن هیبریدی مجهز به سامانه توزیع گاز باعث کاهش زمان خشک‌کردن (۸ تا ۳۰ درصد) و انرژی مصرفی (۱۵ تا ۳۶ درصد) نسبت به خشک‌کن انجمادی (شاهد) شد. محصول نهایی خروجی از خشک‌کن انجمادی دارای بیشترین روشنایی (L^*) و کمترین قرمزی (a^*) بود و شرایط بهتری را نسبت به خشک‌کن هیبریدی داشت. در یک پژوهش، خشک‌کردن گل‌های یاس در یک خشک‌کن خورشیدی غیرمستقیم با جریان هوای طبیعی ارزیابی گردید و با چهار روش خشک‌کردن (پهن‌کردن در برابر آفتاب، پهن‌کردن در سایه، خشک‌کن انجمادی، آون و جریان هوای گرم) مقایسه شد. نتایج این پژوهش نشان داد که میزان ترکیبات فنلی باقی‌مانده در محصول نهایی خشک‌شده در خشک‌کن‌های جریان هوای گرم و انجمادی نسبت به روش‌های دیگر بالاتر است. میزان وانیلیک اسید در خشک‌کن‌های جریان هوای گرم، انجمادی، آون، سایه‌خشک و خورشیدی به ترتیب ۰/۹۹، ۰/۹۶، ۰/۶۳، ۰/۵۳ و ۰/۱۶ میلی‌گرم در هر گرم ماده خشک گزارش شد. در این دو نوع

آزمایشگاه، غنچه‌های سالم، عاری از هرگونه آفت و بدون نشانه‌های آسیب‌دیدگی و کبودی، برای خشک کردن با روش‌های مختلف انتخاب شدند. متوسط رطوبت اولیه غنچه‌های گل محمدی ۷۳ درصد بر پایه‌ی تر به دست آمد و خشک شدن نمونه‌ها تا رسیدن به رطوبت متوسط ۱۲ درصد بر پایه‌ی تر ادامه یافت. تیمارهای خشک کردن شامل پهن کردن در سایه (سایه خشک)، خشک کن خورشیدی غیرمستقیم، خشک کن کابینتی در سه سطح دما و خشک کن انجمادی برای خشک کردن غنچه گل محمدی در محل مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی بررسی گردید. تغییرات وزن نمونه‌های آزمایشی با ترازوی دیجیتال ساخت شرکت AND ژاپن با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه گیری و ثبت شد.

پهن کردن در سایه (سایه خشک)

غنچه‌های گل محمدی در محیط باز و سایه با متوسط دمای ۲۲ درجه سلسیوس قرار داده شدند (شکل ۱). تغییرات وزن غنچه‌ها با توزین سبدهای حاوی نمونه در فاصله‌های زمانی ۲ تا ۳ ساعت ثبت شد.

رنگ غنچه در هسته مرکزی به منظور تولید محصول با ارزش افزوده بالا، بازارپسندی و صادرات ضروری است. یکی از معضلات خشک کردن غنچه، تغییر رنگ گلبرگ‌های داخلی به دلیل خارج نشدن مناسب رطوبت در حین فرآیند است. تاکنون تحقیق جامعی در راستای کاهش معضل یادشده و دستیابی به روش مکانیزه خشک کردن غنچه گل محمدی صورت نگرفته است. در تحقیق حاضر، با بررسی روش‌های مختلف خشک کردن و پرداختن به خواص کیفی محصول، در مقایسه با تیمار مرسوم سایه خشک به عنوان تیمار شاهد، نسبت به دستیابی روش مناسب خشک کردن اقدام شده است.

مواد و روش‌ها

غنچه‌های گل محمدی (*Rosa damascena* Mill.) از اواخر اردیبهشت ماه تا اواسط خرداد ماه ۱۴۰۲ از مزرعه گل محمدی واقع در استان مرکزی، بخش خرقان، روستای منجیقان به مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۲۱ دقیقه و ۴۷ ثانیه شمالی و ۴۹ درجه و ۵۰ دقیقه و ۲۰ ثانیه شرقی، در ساعات اولیه صبح برداشت و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شدند. در



شکل ۱- خشک کردن غنچه گل محمدی در سایه

Fig. 1- Shade drying of Rosa flower bud

خشک‌کن خورشیدی غیرمستقیم

محفظهٔ سینی‌های حاوی غنچه‌های گل محمدی جریان می‌یابد. عبور جریان هوای گرم از زیرسینی‌ها، باعث تبخیر رطوبت و خشک‌شدن محصول می‌شود. متوسط دمای هوای محیط محل استقرار خشک‌کن تا رسیدن به تغییرات جزئی در وزن نمونه‌ها در کل زمان فرآیند (حدود ۴۸ ساعت و ۲۰ دقیقه) معادل ۲۵ درجهٔ سلسیوس بود. دمای محیط با دماسنج-رطوبت‌سنج قابل حمل مدل HT-3006A ساخت شرکت Lutron تایوان اندازه‌گیری شد. تغییرات وزن غنچه‌ها با توزین سبدهای حاوی نمونه در فاصله‌های زمانی ۳ ساعت به‌دست آمد.

خشک‌کن خورشیدی غیرمستقیم شامل یک واحد جمع‌کننده برای گرم کردن هوا در اثر جذب انرژی تابشی خورشید، مخزن حاوی سینی‌های محصول و یک فن مکنده برای ایجاد جریان هوا در خشک‌کن است. این خشک‌کن را روستاپور و همکاران (Roustapour *et al.*, 2016)، طراحی کرده و ساخته است و ظرفیت ۱۰ کیلوگرم در هر وعده دارد (شکل ۲). در خشک‌کن خورشیدی غیرمستقیم، هوا پس از عبور از روی صفحهٔ جاذب مشکی واحد جمع‌کننده گرم می‌شود و با یک فن مکنده به داخل



شکل ۲- خشک‌کن خورشیدی غیرمستقیم در حین فرآیند خشک‌کردن غنچه گل محمدی
Fig. 2- Indirect solar dryer during drying process of Rosa flower bud

خشک‌کن جریان هوای گرم (کابینتی)

برای دستیابی به بهترین شرایط خشک‌شدن، سه سطح دمایی یادشده در این تحقیق انتخاب شد (Zheng *et al.*, 2015; Bhardwaj *et al.*, 2017; Hnin *et al.*, 2021). متوسط زمان خشک‌شدن تا رسیدن به تغییرات جزئی در وزن نمونه‌ها در دماهای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجهٔ سلسیوس، به ترتیب ۵/۳۷، ۱۵ ساعت تا رسیدن به متوسط رطوبت ۱۰ درصد بر پایه تر به‌دست آمد. تغییرات وزن غنچه‌ها با توزین سبدهای حاوی نمونه در فاصله‌های زمانی ۳ ساعت ثبت شد.

خشک‌کن کابینتی مورد استفاده، یک خشک‌کن جریان متقاطع با گرم‌کن‌های برقی ۱۵۰۰ وات و جریان هوای اجباری با فن دمنده است (شکل ۳). برای اجرای آزمایش، ۳ سطح دمای هوای ورودی ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجهٔ سلسیوس و سرعت جریان خروجی هوا معادل ۱ متر بر ثانیه در نظر گرفته شد. لازم است گفته شود ترکیب مناسب دما و حداقل زمان خشک‌شدن در حفظ ترکیبات فنلی ضروری است. از این رو بر اساس تحقیقات قبلی،

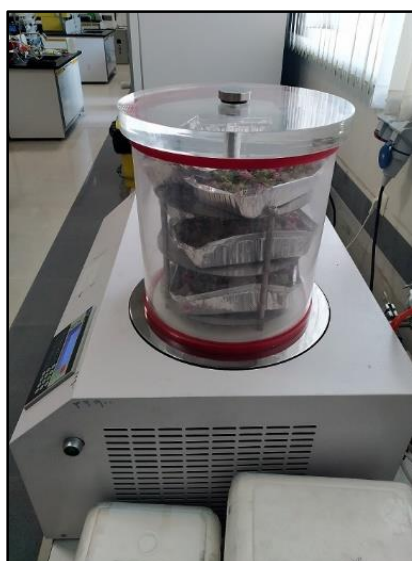


شکل ۳- خشک‌کن کابینتی مورد استفاده برای خشک‌کردن غنچه گل محمدی
Fig. 3- Cabinet dryer applying for Rosa flower bud drying

در ادامه، نمونه‌ها سریعاً به خشک‌کن انجمادی انتقال داده شدند و تحت فرآیند تصعید در دمای ۵۰ درجه سلسیوس و خلأ کمتر از ۴/۵۸ میلی‌متر جیوه قرار گرفتند. متوسط زمان خشک‌شدن تا رسیدن به تغییرات جزئی در وزن نمونه‌ها و رسیدن به رطوبت ۱۰ درصد بر پایه تر مساوی ۶۵ ساعت اندازه‌گیری شد.

خشک‌کن انجمادی

از خشک‌کن انجمادی، مدل FD-8505/FD-5005-HS-BT ساخت شرکت دنا با حجم ۵ لیتر و دارای پمپ خلأ با فشار خلأ ۰/۰۰۰۵ میلی‌متر جیوه استفاده شد (شکل ۴). نمونه‌های غنچه گل محمدی ابتدا به‌منظور انجماد عمیق به مدت ۲ ساعت در فریزر با دمای ۷۰- درجه سلسیوس قرار داده شدند.



شکل ۴- خشک‌کن انجمادی مورد استفاده برای خشک‌کردن غنچه گل محمدی
Fig. 4- Freeze dryer using for Rosa flower bud drying

بررسی سینتیک خشک‌شدن غنچه گل محمدی

تغییرات رطوبت غنچه بر پایه خشک طی فرآیند، با تعیین وزن نمونه‌های محصول در هر مرحله از توزین و تعیین ماده خشک محصول از رابطه ۱ به دست آمد.

$$X=(m-m_f)/m_f \quad (1)$$

که در آن،

X = درصد رطوبت بر پایه خشک (کیلوگرم بر کیلوگرم)؛ m = جرم نمونه در هر مرحله از توزین (گرم)؛ و m_f = جرم نهایی نمونه (گرم).

برای اندازه‌گیری ماده خشک و رطوبت اولیه غنچه‌های تازه از دستگاه آون اتمسفریک استفاده شد. نمونه‌های غنچه به مدت ۲۴ ساعت در دستگاه آون تحت دمای ۷۰ درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت قرار داده شدند (Anon, 1990). پس از آن، نمونه‌ها از آون خارج و با ترازوی دیجیتالی AND با دقت ۰/۰۱ گرم توزین و مقدار رطوبت بر پایه تر محاسبه شد (Raol et al., 2013). رطوبت اولیه غنچه با استقرار نمونه‌ها در آون اندازه‌گیری و معادل ۷۳ درصد بر پایه تر به دست آمد.

برای مطالعه سینتیک نیز تغییرات آهنگ خشک‌شدن (میزان رطوبت خارج شده به ازای جرم ماده خشک در زمان) در برابر گنجایش رطوبتی ماده به دست آمد (رابطه ۲). منحنی آهنگ خشک‌شدن در شرایط آزمایشگاهی پایا (دما و رطوبت) با اندازه‌گیری تغییرات زمانی جرم در یک نمونه از ماده قابل دستیابی است. به‌طور کلی، خشک‌شدن شامل دو مرحله خشک‌شدن با دبی ثابت و خشک‌شدن با دبی نزولی است (Pahlevanzadeh, 1998).

منحنی‌های سینتیک خشک‌شدن غنچه گل محمدی برای روش‌های خشک‌کردن در سایه، خشک‌کن خورشیدی غیرمستقیم و خشک‌کن کابینتی در سه سطح دمای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس به دست آمد. در روش خشک‌کن انجمادی به دلیل ناممکن بودن ثبت تغییرات زمانی رطوبت، منحنی‌های سینتیک بررسی نشدند.

$$W=\Delta m/(m_s \cdot \Delta t) \quad (2)$$

که در آن،

W = آهنگ خشک‌شدن (کیلوگرم بر کیلوگرم)؛ Δm = میزان آب تبخیر شده در یک فاصله زمانی (کیلوگرم)؛ Δt = فاصله زمانی بین دو مرحله نمونه‌گیری (دقیقه)؛ و m_s = جرم ماده خشک (کیلوگرم).

اندازه‌گیری ویژگی‌های رنگ و فنل کل در غنچه گل محمدی

تغییر رنگ غنچه خشک‌شده در سطح رویه و لایه داخلی به عنوان یکی از خواص فیزیکی در سیستم CIE Lab قبل و بعد از خشک‌کردن تعیین شد. رنگ با ۳ ویژگی روشنایی (L^*)، میزان قرمزی (a^*) و زردی (b^*) بیان می‌شود. میزان روشنایی بین صفر تا ۱۰۰ متغیر است که عدد صفر معرف تاریکی و ۱۰۰ معرف روشنایی است. میزان قرمزی بین a^- تا a^+ متغیر است به طوری که a^+ نشانگر قرمزی و a^- نشانگر سبزی است. زردی با b^+ و رنگ آبی با b^- مشخص می‌شود (Yam & Papadakis, 2004). یکی از معضلات در غنچه گل محمدی، خروج رطوبت از هسته مرکزی غنچه حین فرآیند خشک‌کردن به دلیل تراکم گلبرگ‌های غنچه است.

داده‌ها برای بررسی تفاوت‌های معنی‌دار تیمارها، با آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد با هم مقایسه شدند (Bassiri, 2008).

نتایج و بحث

منحنی‌های سینتیک خشک کردن غنچه گل محمدی

غنچه گل محمدی در شرایط آزمایشگاهی و محیطی، هر دو، خشک شد. خشک کردن در شرایط آزمایشگاهی شامل خشک‌کن کابینتی (در سه سطح دما) و در شرایط محیطی شامل خشک کردن در محیط آزاد در سایه (سایه خشک) و خشک‌کن خورشیدی غیرمستقیم بود. منحنی‌های سینتیک خشک شدن در این دو شرایط یادشده به صورت مجزا مقایسه شدند.

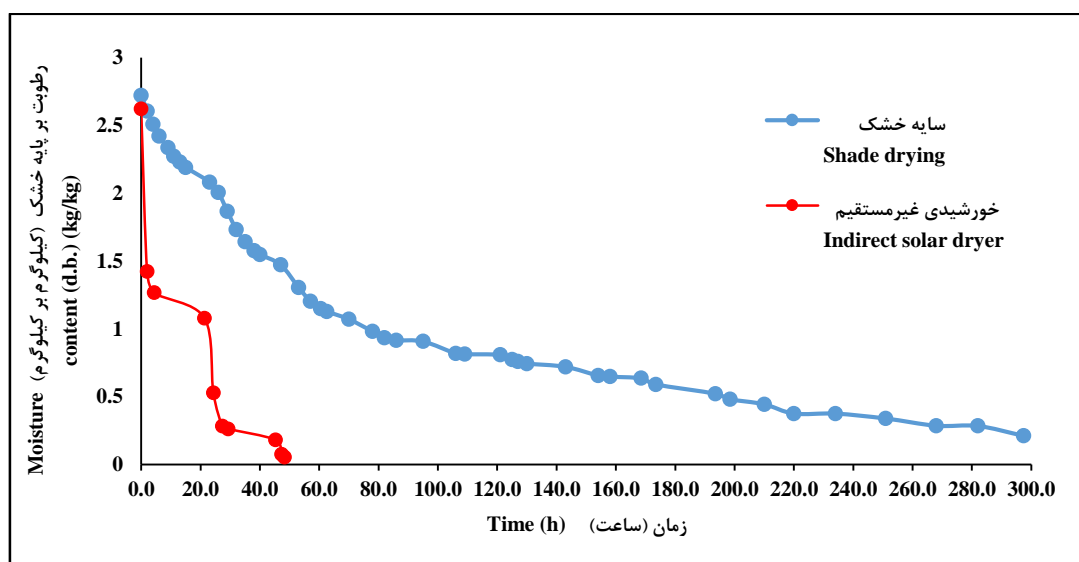
منحنی تغییرات رطوبت- زمان

روند تغییرات رطوبت در زمان تا خشک شدن کامل غنچه در شرایط سایه خشک و خشک‌کن خورشیدی غیرمستقیم تعیین و مقایسه شد (شکل ۵).

افزایش دما در فرآیند خشک کردن باعث تبخیر آب درونی غنچه می‌شود و به علت ماندگاری آب در حال تبخیر در هسته مرکزی، گلبرگ‌های درونی تیره می‌شوند. تغییر رنگ گلبرگ‌های هسته مرکزی غنچه باعث کاهش کیفیت ظاهری گل و پایین آمدن بازارپسندی آن خواهد شد. از این رو بررسی تغییر رنگ هم در گلبرگ‌های بیرونی و هم در گلبرگ‌های درونی ضروری است. رنگ گلبرگ‌های درونی و بیرونی غنچه گل محمدی با دستگاه رنگ‌سنج مدل DP 25-9000 ساخت شرکت Hunterlab آمریکا اندازه‌گیری شد. مقدار فنل کل با استفاده از معرف فولین سیکالتو^۱ اندازه‌گیری و نتایج به صورت میلی گرم گالیک اسید بر گرم نمونه بیان شد (Hnin et al., 2021).

تجزیه و تحلیل آماری

این تحقیق در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. داده‌ها با نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ مورد تجزیه واریانس یک طرفه قرار گرفتند و میانگین



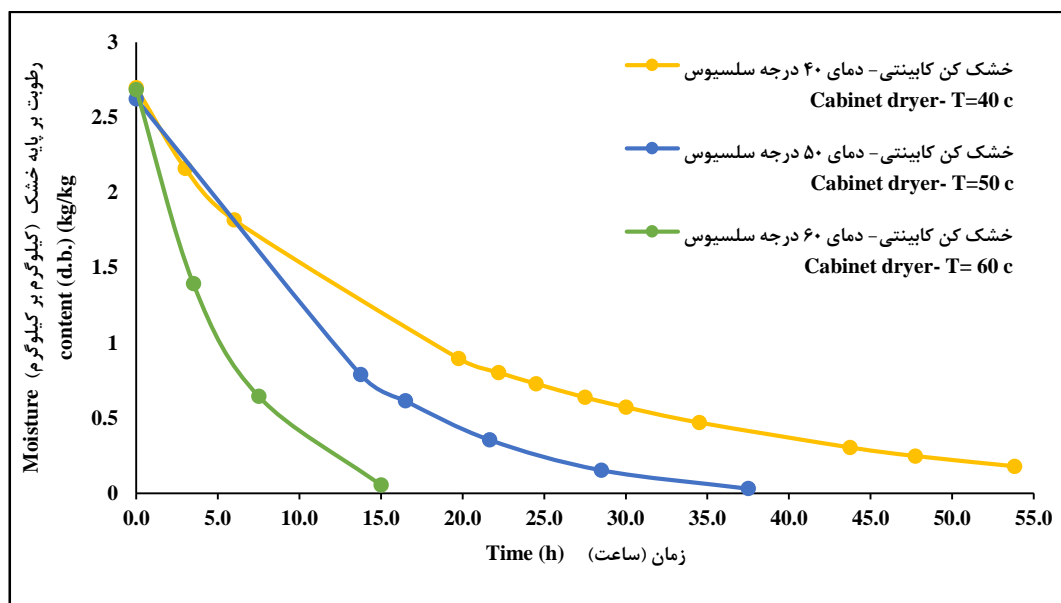
شکل ۵- تغییرات رطوبت در زمان در دو روش سایه خشک و خشک‌کن خورشیدی غیرمستقیم

Fig. 5- Drying rate in two methods of shade drying and indirect solar drying

۶۰ درجه سلسیوس تعیین و با یکدیگر مقایسه شد (شکل ۶). با توجه به شکل ۶ می‌توان دریافت که سرعت کاهش رطوبت با افزایش دمای هوای ورودی خشک‌کن افزایش یافته است، به طوری که مدت زمان خشک‌شدن غنچه‌در دمای ۴۰ درجه سلسیوس حدود ۵۴ ساعت تا رسیدن به رطوبت ۰/۱۸ کیلوگرم بر کیلوگرم بر پایه خشک؛ در دمای ۵۰ درجه سلسیوس ۳۷ ساعت و نیم تا رسیدن به رطوبت ۰/۱۷ کیلوگرم بر کیلوگرم بر پایه خشک و در دمای ۶۰ درجه سلسیوس ۱۵ ساعت تا رسیدن به رطوبت حدود ۰/۱ کیلوگرم بر کیلوگرم بر پایه خشک بوده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، فرآیند خشک‌کردن سایه‌خشک نسبت به خشک‌کن خورشیدی غیرمستقیم مدت زمان بسیار طولانی‌تری (حدود ۲۹۸ ساعت معادل ۱۲ روز و ۱۰ ساعت) تا رسیدن به رطوبت ۰/۲ کیلوگرم بر کیلوگرم بر پایه خشک (۱۷ درصد بر پایه تر) نیاز دارد. در خشک‌کن خورشیدی غیرمستقیم، روند خشک‌شدن با شدت بیشتری رخ داده است و فرآیند در زمان کمتری (۴۸ ساعت تا رسیدن به رطوبت ۵ درصد بر پایه تر) تکمیل شد.

این منحنی برای خشک‌کردن غنچه گل محمدی در خشک‌کن کابینتی در سه سطح دمایی ۴۰، ۵۰ و



شکل ۶- تغییرات رطوبت در زمان در خشک‌کن کابینتی در سه سطح دمای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس
Fig. 6- Drying rate in Cabinet dryer in three levels of inlet air temperature "40, 50, 60 °C"

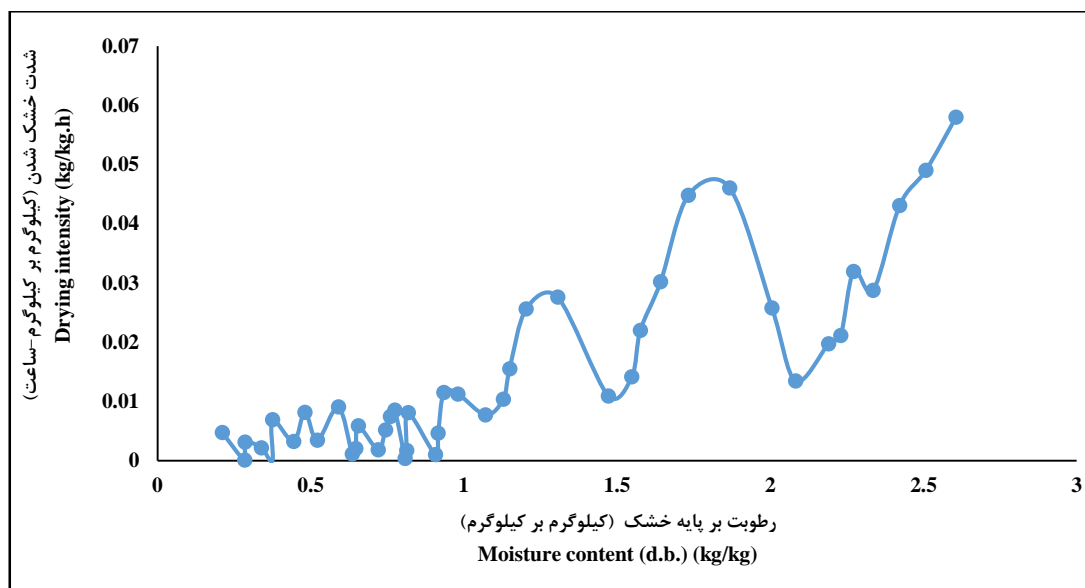
از روزنه‌های سطح غنچه اتفاق می‌افتد. در این مرحله، با کاهش رطوبت ماده شدت تبخیر نیز شروع به کاهش می‌کند. زمانی که دمای ماده بالا می‌رود، بخار آب درون ماده شروع به حرکت به سمت سطح ماده می‌کند و در محیط خشک‌کن تبخیر می‌شود. این روند تا تبخیر کامل آب و خشک‌شدن ماده ادامه

منحنی شدت خشک‌شدن - گنجایش رطوبتی
منحنی‌های شدت خشک‌شدن غنچه گل محمدی در روش‌های مختلف خشک‌کردن نشان می‌دهند خشک‌شدن غنچه در مرحله نزولی قابل مشاهده است. مرحله نزولی، تبخیر آب درون ذرات ماده در اثر پدیده نفوذ به لایه‌های سطحی و تبخیر

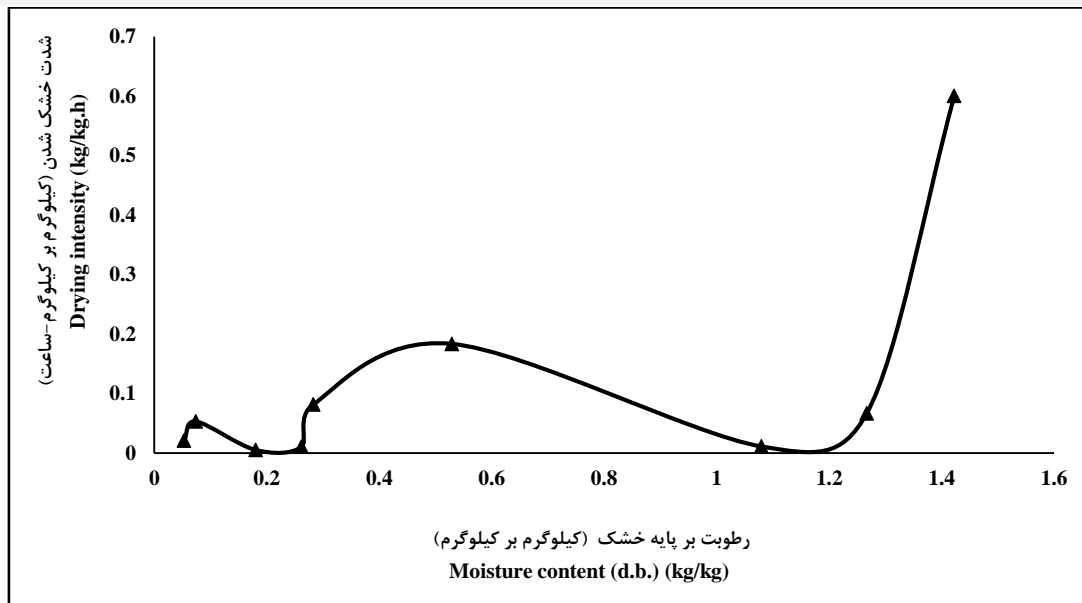
کاهش تابش خورشید در غروب آفتاب و حذف آن در شب است. در رطوبت بحرانی ۱/۴۲ کیلوگرم بر کیلوگرم در خشک‌کن خورشیدی غیرمستقیم، شدت خشک‌شدن مساوی ۰/۶ کیلوگرم بر کیلوگرم-ساعت بوده است. شدت خشک‌شدن در خشک‌کن خورشیدی غیرمستقیم بسیار بیشتر از شدت خشک‌شدن در سایه است (شکل ۷). بررسی منحنی شدت خشک‌شدن غنچه در خشک‌کن کابینتی در سه سطح دمایی نشان می‌دهد در گنجایش رطوبتی مشابه ۰/۸ کیلوگرم بر کیلوگرم، شدت خشک‌شدن در دماهای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس، به ترتیب ۰/۰۴، ۰/۱۳ و ۰/۲۲ کیلوگرم بر کیلوگرم-ساعت است (شکل ۹).

می‌یابد. منحنی شدت خشک‌شدن غنچه در روش سایه‌خشک در شکل ۷ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، فرآیند فقط شامل مرحله نزولی است. با غروب خورشید و فرارسیدن شب، فرآیند خشک‌شدن متوقف می‌شود و ممکن است از محیط نیز جذب رطوبت به ماده عملی شود. در شروع روز بعد، فرآیند خشک‌شدن و نفوذپذیری در مرحله دبی نزولی ادامه می‌یابد.

منحنی شدت خشک‌شدن غنچه در خشک‌کن خورشیدی غیرمستقیم در شکل ۸ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، شدت خشک‌شدن در خلال فرآیند کاهش و پس از آن افزایش یافته است. کاهش شدت فرآیند حاکی از

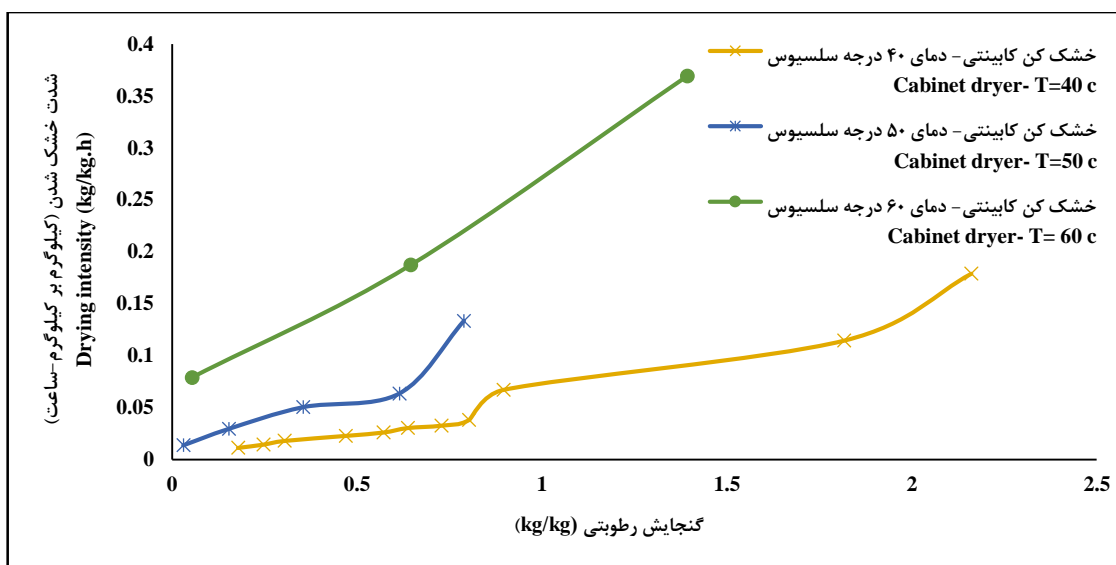


شکل ۷- شدت خشک‌شدن در روش سایه‌خشک
 Fig. 7- Drying intensity in method of shade drying



شکل ۸- شدت خشک‌شدن در خشک‌کن خورشیدی غیرمستقیم

Fig. 8- Drying intensity in indirect solar dryer



شکل ۹- شدت خشک‌شدن در خشک‌کن کابینتی در سه سطح دمای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس

Fig. 9- Drying intensity in cabinet dryer in three levels of inlet air temperature "40, 50, 60 °C"

بر ویژگی‌های رنگ گلبرگ‌های بیرونی و درونی غنچه گل محمدی در سطح احتمال یک درصد داشته‌اند. از لحاظ شاخص L^* ، بالاترین میزان در گلبرگ‌های بیرونی (۴۹/۴۲) مربوط به غنچه‌های خشک‌شده با روش انجمادی است که با غنچه تازه و دیگر نمونه‌ها اختلاف معنی‌داری دارد. این شاخص

تأثیر روش‌های خشک‌کردن بر رنگ غنچه گل محمدی

نتایج تجزیه واریانس اثر روش‌های خشک‌کردن بر تغییرات شاخص‌های رنگ در غنچه گل محمدی، در مقایسه با غنچه تازه، در جدول ۱ آورده شده است. روش‌های مختلف خشک‌کردن، اثر معنی‌داری

درجه سلسیوس (۱/۰۸-)، خورشیدی غیرمستقیم (۰/۲۱) و سایه (۰/۳۱) اختلاف معنی‌داری ندارد. به‌طور کلی، کاهش شاخص L^* بیانگر تیره‌شدن رنگ نمونه‌های خشک است. افزایش ضخامت لایه محصول در خشک‌کن، دمای بالا و طولانی‌بودن زمان خشک‌شدن در کاهش این شاخص مؤثر است (Roozdar *et al.*, 2014). در پژوهشی، چن و همکاران (Chen *et al.*, 2000) اثر فرآیندهای مختلف خشک‌کردن انجمادی را روی برخی ویژگی‌های گل‌های رز بررسی و گزارش کردند که هرچه دمای خشک‌کردن تحت خلأ پائین‌تر باشد، رنگ گل‌های خشک‌شده به گل‌های تازه نزدیک‌تر است. در پژوهشی دیگر گزارش شده است گلبرگ‌های خشک‌شده گل محمدی در خشک‌کن هوای گرم با دمای ۵۵ درجه سلسیوس، نسبت به نمونه‌های خشک‌شده در دمای ۲۵ درجه سلسیوس، دارای رنگ روشن‌تری هستند و با افزایش زمان خشک‌شدن، رنگ گلبرگ‌های گل محمدی تیره‌تر می‌شود (Ziolhagh *et al.*, 2022).

همچنین در گلبرگ‌های درونی غنچه‌های خشک‌شده با روش انجمادی (۴۴/۹۴) بالاتر است که با غنچه تازه (۴۴/۰۵) اختلاف معنی‌داری ندارد. این شاخص در گلبرگ‌های درونی غنچه‌های خشک‌شده با دیگر روش‌ها (به‌جز انجمادی) اختلاف معنی‌داری نشان نمی‌دهد (جدول ۲).

شاخص a^* در گلبرگ‌های بیرونی غنچه تازه برابر ۴۱/۴۴ است. بیشترین میزان این شاخص پس از غنچه‌های تازه در گلبرگ‌های بیرونی غنچه‌های خشک‌شده با روش هوای گرم ۵۰ درجه سلسیوس (۲۵/۶۱) مشاهده شده است. این شاخص در گلبرگ‌های درونی غنچه تازه گل محمدی برابر ۳۸/۳۰ است. این شاخص در گلبرگ‌های درونی غنچه‌های خشک‌شده با روش‌های سایه (۱۵/۹۰)، هوای گرم ۵۰ درجه سلسیوس (۱۵/۴۸) و هوای گرم ۴۰ درجه سلسیوس (۱۴/۴۰) بعد از غنچه تازه بیشترین است و اختلاف معنی‌داری در این روش‌ها نشان نمی‌دهد (جدول ۲). همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، شاخص b^* در گلبرگ‌های بیرونی غنچه تازه گل محمدی برابر ۴/۷۰- است که با غنچه‌های خشک‌شده با روش‌های هوای گرم ۵۰

جدول ۱- تجزیه واریانس تأثیر روش‌های مختلف خشک‌کردن بر فنل کل گلبرگ‌های تازه و خشک و نیز شاخص‌های رنگ گلبرگ‌های تازه و خشک بیرونی و درونی غنچه گل محمدی

Table 1- Analysis of Variance of the effect of various drying methods on total phenol of the fresh and dry and the color indices of the fresh and dry inner and outer petals of Rosa flower bud

میانگین مربعات						فنل کل Total phenol	df	منابع تغییر Source of variation
شاخص‌های رنگ گلبرگ‌های درونی Color indices of inner petals			شاخص‌های رنگ گلبرگ‌های بیرونی Color indices of outer petals					
b^*	a^*	L^*	b^*	a^*	L^*			
190.731	236.246	24.512	36.543	187.084	46.826	16879.815	5	روش خشک‌کردن Drying method
27.076**	65.248**	8.135**	4.523**	35.890**	20.780**	109.248**		مقدار F
7.044	3.621	3.013	8.080	5.213	2.253	154.509	18	خطا Error

** Significant difference at 1% level

** وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر روش خشک‌کردن بر شاخص‌های رنگ گلبرگ‌های غنچه گل محمدی

Table 2- The mean comparison of the effect of various drying methods on the color indices of the petals of Rosa flower bud

شاخص رنگ						تیماز
گلبرگ‌های درونی Inner petals			گلبرگ‌های بیرونی Outer petals			
b*	a*	L*	b*	a*	L*	
-2.45 ^d	38.30 ^a	44.05 ^{ab}	-4.7 ^c	41.44 ^a	43.93 ^b	غنچه تازه Fresh bud
2.76 ^c	15.90 ^b	41.02 ^{bc}	0.31 ^{bc}	18.32 ^{de}	38.82 ^{cd}	غنچه خشک- روش سایه خشک Dried bud- Shade drying method
17.0 ^a	10.80 ^c	44.94 ^a	2.76 ^{ab}	16.38 ^e	49.42 ^a	غنچه خشک- روش انجمادی Dried bud- Freeze drying method
10.76 ^b	14.40 ^b	39.14 ^c	7.57 ^a	16.43 ^e	39.05 ^{cd}	غنچه خشک- روش هوای گرم ۴۰ درجه سلسیوس Dried bud- Cabinet drying method at 40 °c
7.64 ^b	15.48 ^b	39.57 ^c	-1.08 ^{bc}	25.61 ^b	36.64 ^d	غنچه خشک- روش هوای گرم ۵۰ درجه سلسیوس Dried bud- Cabinet drying method at 50 °c
17.67 ^a	9.79 ^c	40.35 ^c	3.66 ^{ab}	17.23 ^{de}	38.54 ^d	غنچه خشک- روش هوای گرم ۶۰ درجه سلسیوس Dried bud- Cabinet drying method at 60 °c
17.89 ^a	9.95 ^c	36.12 ^d	0.21 ^{cb}	24.64 ^{bc}	38.47 ^d	غنچه خشک- روش خورشیدی غیرمستقیم Dried bud- Indirect solar drying method

در هر ستون، میانگین‌های با حروف مشابه در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

In every column, there is no significant difference between mean data with similar alphabet letters ($\alpha=5\%$)

فراصوت را ۵۴۸/۳ میلی‌گرم گالیک اسید در گرم و در عصاره استخراج شده با روش خیساندن را ۵۲۱/۴ میلی‌گرم گالیک اسید در گرم گزارش کرده‌اند.

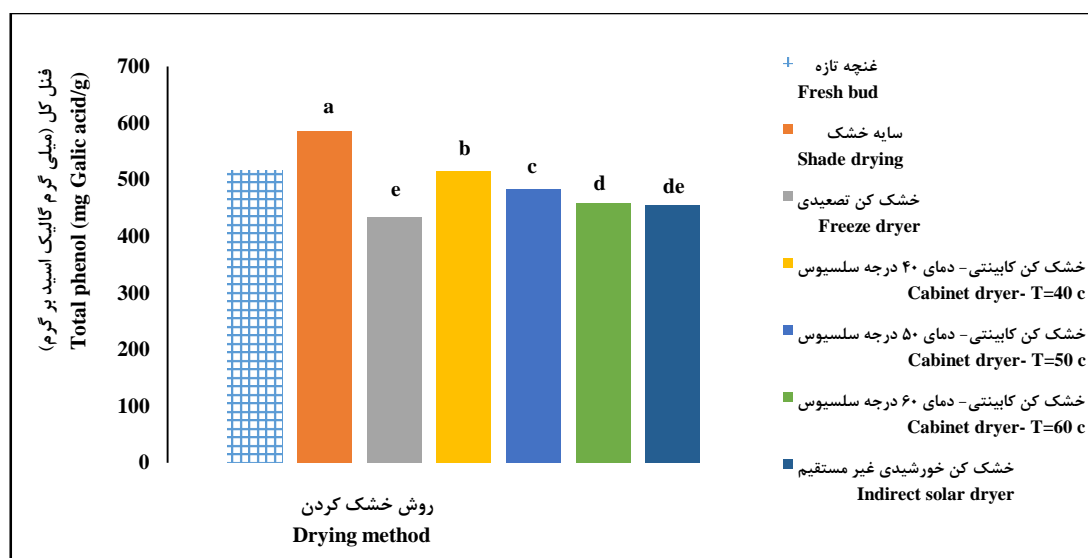
روش‌های مختلف خشک‌کردن، اثر معنی‌داری بر فنل کل غنچه گل محمدی در سطح احتمال یک درصد داشته است (جدول ۱). مقایسه مقادیر فنل کل نشان می‌دهد، بیشترین مقدار فنل کل در غنچه‌های خشک‌شده با روش سایه و پس از آن روش هوای گرم با دماهای ۴۰ و ۵۰ درجه سلسیوس بوده است. به هر حال، فرآیند خشک‌کردن و افزایش

تأثیر روش‌های خشک‌کردن بر فنل کل غنچه گل محمدی

میزان فنل کل در غنچه تازه گل محمدی، ۵۱۶/۶۶ میلی‌گرم گالیک اسید در گرم اندازه‌گیری شده است. ترکیبات فنلی در گل محمدی شامل کامپفرول، کوئرستین، گالیک اسید، سیانیدین ۳ و ۵ دگلوکوزیک است که این ترکیبات خاصیت ضداکسیدانی دارند. پورابراهیم و همکاران (Pourebrahim et al., 2023)، مقدار ترکیب فنلی گل محمدی در عصاره استخراج‌شده با روش

اثر خشک کردن، مقدار ترکیبات فنلی در نعنا فلفلی کاهش می‌یابد و در بین تیمارهای خشک کردن، نمونه‌های خشک‌شده با روش‌های میکروویو ۹۰۰ وات و سایه بیشترین مقدار فنل کل و نمونه‌های خشک‌شده در آن در دمای ۷۰ درجه سلسیوس کمترین مقدار فنل کل را داشته‌اند. دمای بالا با تأثیر بر ترکیبات تاننی و تجزیه شدن آن‌ها سبب از بین رفتن ترکیبات فنلی می‌شود.

دمای هوای خشک‌کن سبب کاهش معنی‌دار فنل کل در گلبرگ‌های غنچه گل محمدی شده است، به طوری که با افزایش دمای هوای گرم در خشک‌کن کابینتی از ۴۰ درجه سلسیوس به ۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس، مقدار فنل کل به ترتیب از ۵۱۴/۳۳، به ۴۸۳/۳۳ و ۴۵۸/۳۳ میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم کاهش یافته است (شکل ۱۰). روزدار و همکاران (Roozdar *et al.*, 2014) نیز گزارش کردند که در



شکل ۱۰- اثر روش‌های خشک کردن بر مقدار فنل کل گلبرگ‌های غنچه گل محمدی

Fig. 10- The effect of drying method on total phenol of the petals of Rosa flower bud

۱۰ درصد برپایه‌تر) و خشک‌کن کابینتی در دمای ۶۰ درجه سلسیوس کمترین زمان خشک شدن (۱۵ ساعت تا رسیدن رطوبت غنچه به حدود ۵/۵ درصد برپایه‌تر) را دارند. در گنجایش رطوبتی مشابه (۰/۸ کیلوگرم بر کیلوگرم)، شدت خشک شدن در خشک‌کن کابینتی در دماهای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس، به ترتیب ۰/۰۴، ۰/۱۳ و ۰/۲۲ کیلوگرم بر کیلوگرم است. براساس نتایج مقایسه رنگ غنچه‌های خشک‌شده در روش‌های مختلف، شاخص روشنایی (L*)، دارای بالاترین میزان در گلبرگ‌های

نتیجه‌گیری

در فرایند خشک شدن غنچه گل محمدی، رایحه و رنگ گلبرگ‌های غنچه خصوصاً گلبرگ‌های درونی آن از مسائل بسیار مهم در تولید غنچه خشک با کیفیت مناسب است. مطالعه سینتیک خشک کردن غنچه گل محمدی نشان می‌دهد که در روش سایه خشک، فرآیند طولانی و حدود ۱۳ روز برای رسیدن به رطوبت نهایی ۱۷ درصد بر پایه توافق می‌افتد. خشک‌کن انجمادی، بیشترین زمان خشک شدن (۶۴ ساعت تا رسیدن رطوبت غنچه به

روش‌های خشک‌کردن کمترین مقدار بود. شاخص b^* در گلبرگ‌های بیرونی غنچه تازه گل محمدی با غنچه‌های خشک‌شده با روش‌های هوای گرم ۵۰ درجه سلسیوس، خورشیدی غیرمستقیم و سایه اختلاف معنی‌داری نداشت. فرآیند خشک‌کردن و افزایش دمای هوای خشک‌کن سبب کاهش معنی‌دار فنل کل در گلبرگ‌های غنچه گل محمدی شد، به طوری که با افزایش دمای هوای گرم در خشک‌کن کابینتی از ۴۰ درجه سلسیوس به ۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس، مقدار فنل کل به ترتیب از ۵۱۴/۳۳، به ۴۸۳/۳۳ و ۴۵۸/۳۳ میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم کاهش یافت. بر اساس نتایج به دست آمده، غنچه‌های خشک‌شده با روش سایه و روش هوای گرم با دماهای ۴۰ و ۵۰ درجه سلسیوس به ترتیب و به طور معنی‌داری بیشترین مقدار فنل کل را دارا بودند. کمترین میزان فنل مربوط به روش خشک‌کن انجمادی و خشک‌کن خورشیدی غیرمستقیم به ترتیب با مقادیر ۴۳۴ و ۴۵۴ میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم به دست آمد. با توجه به زمان طولانی مورد نیاز برای خشک‌کردن غنچه‌های گل محمدی در سایه و خواص کیفی غنچه خشک‌شده در شرایط مختلف، روش خشک‌کردن در خشک‌کن کابینتی با دمای ۴۰ درجه سلسیوس پیشنهاد می‌شود.

بیرونی (۴۹/۴۲) مربوط به غنچه‌های خشک‌شده با روش انجمادی بود که با غنچه تازه و دیگر نمونه‌ها اختلاف معنی‌داری داشت. این شاخص در گلبرگ‌های درونی غنچه‌های خشک‌شده به روش سایه خشک و کابینتی در سه سطح دمای هوا اختلاف معنی‌داری نداشتند. کمترین میزان شاخص روش‌نایی در خشک‌کن خورشیدی غیرمستقیم مشاهده شد. این شاخص در خشک‌کن کابینتی در دمای ۵۰ درجه سلسیوس برابر با ۳۶/۶۴ در گلبرگ‌های بیرونی و ۳۹/۵۷ در گلبرگ‌های درونی، و در دمای ۶۰ درجه سلسیوس برابر ۳۸/۵۴ در گلبرگ‌های بیرونی و ۴۰/۳۵ در گلبرگ‌های درونی به دست آمد. بنابراین، طولانی‌تری شدن زمان فرآیند در دمای ۵۰ درجه سلسیوس باعث تیره‌تر شدن رنگ گلبرگ‌ها شده است. بیشترین میزان شاخص a^* پس از غنچه‌های تازه در گلبرگ‌های بیرونی غنچه‌های خشک‌شده با روش هوای گرم ۵۰ درجه سلسیوس (۲۵/۶۱) مشاهده شد. این شاخص در گلبرگ‌های درونی غنچه‌های خشک‌شده با روش‌های سایه (۱۵/۹۰)، هوای گرم ۵۰ درجه سلسیوس (۱۴/۴۰) و هوای گرم ۴۰ درجه سلسیوس (۱۴/۴۰) بعد از غنچه تازه بیشترین بود و اختلاف معنی‌داری را در این روش‌ها نشان نداد. این شاخص در دیگر

تعارض منافع

نویسندگان در خصوص مقاله ارائه شده به طور کامل از سوء اخلاق نشر، از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پرهیز نموده‌اند و منافی تجاری در این راستا وجود ندارد.

مراجع

Ahmadi, K., Sefidkon, F., & Assareh, M. H. (2008). The effects of different drying methods on essential oil content and composition of three genotypes of *Rosa damascena* Mill. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 24(2), 162-176. (in Persian)

- Anon. (1990). AOAC standard. Official methods of analysis (15th Ed). Association of Official Analytical Chemists. Washington DC, USA.
- Anon. (2021). Agricultural statistics. Chapter 3: Horticultural and greenhouse products. Information Technology, Ministry of Agriculture- Jahad. (in Persian)
- Barman, M., Soren, M., Mishra, C., & Mitra, A. (2022). Dehydrated jasmine flowers obtained through natural convective solar drying retain scent volatiles and phenolics– A prospective for added-value utility. *Industrial Crops and Products*, 177, 114483. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114483>.
- Bassiri, A. (2008). *Statistical designs in agricultural sciences* (11th Ed). Shiraz University Pub. (in Persian)
- Bhardwaj, A. K., Chauhan, R., Kumar, R., & Sethi, M. (2017). Experimental investigation of an indirect solar dryer integrated with phase change material for drying *valeriana jatamansi* (medicinal herb). *Case Studies in Thermal Engineering*, 10, 302-314. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2017.07.009>.
- Boyar, S., Bayhan, A. K., & Dikmen, E. (2013). Investigation on drying behavior of Isparta Rose flowers (*Rosa damascene* Mill.) under natural shade conditions. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 19(2), 361-374.
- Chen, W., Gast, K. L. B., & Smithey, S. (2000). The effects of different freeze-drying processes on the moisture content, color, and physical strength of roses and carnations. *Scientia Horticulturae*, 84(3-4), 321-332. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(99\)00106-5](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(99)00106-5).
- Ebrahimi, M., & Sharifzadeghan, H. (2016). Knowing about the principles of Rosa damascene planting. *Extension magazine*. Agricultural Research, Education & Extension Organization Pub. (in Persian)
- Ghahreman, A. (1996). *Flora of Iran*. Research Institute of Forests and Rangelands & Tehran University Pub. (in Persian)
- Hnin, K. K., Zhang, M., Ju, R., & Wang, B. (2021). A novel infrared pulse-spouted freeze drying on the drying kinetics, energy consumption and quality of edible rose flowers. *LWT- Food Science and Technology*, 136, 110318. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110318>.
- Khorramdel, S., Shabahang, J., & Asadi, G.A. (2013). Effect of drying methods on drying time, essential oil quantitative and qualitative of some of medicinal plants. *Eco- phytochemical Journal of Medical Plants*, 1(1), 36-48. Dor: 20.1001.1.23223235.1392.1.1.4.5. (in Persian)
- Mabellinia, A., Ohaco, E., Ochoa, M. R., Kesselera, A. G., Marqueza C. A., & De Michelis, A. (2011). Chemical and physical characteristics of several wild rose species used as food or food ingredient. *International Journal of Industrial Chemistry*, 2(3), 158-171.
- Mehdizadeh Barzaki, Z., & Behmadi, H. (2019). *Rosa damascena* Mill- *Properties, applications and Challenges*. The Sixth National Conference of Medical Herbs Conventional Medicine and Organic Agriculture. August 22. Agriculture and Natural Resources Research and Education Center of Hamedan. Hamedan, Iran. (in Persian)
- Mozaffarian, V. (2005). *Trees and Shrubs of Iran*. A Publication of Farhang Moaser. (in Persian)
- Pahlevanzadeh, H. (1998). *Drying: principles, applications and design*. Tarbiat Modarres University Pub, Tehran, Iran. (in Persian)
- Pourebrahim, N., Elhamirad, A. H. Einafshar, S., & Armin, M. (2023). Effect of ultrasound-assisted extraction method on the contents of phenolic compounds and anti-oxidant properties of Damask Rose (*Rosa damascena* Mill.) extract. *Journal of Innovation in Food Science and Technology*, 15(2), 1-14. (in Persian)

- Raol, J. B., Kumpavat, M. T., & Vyas, D. M. (2013). Drying characteristics of rose flowers. *Journal of Agricultural Engineering*, 50(1), 39-46.
- Roostapour, F., Azizi, M., Ghani, A., & Davarynejad, G. (2014). The Effects of drying methods on drying time and some biochemical characteristics of *Mentha piperita* L. *Journal of Horticultural Science*, 28(3), 407-415. <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.42865>. (in Persian)
- Roostapour, O. R., Zomorodian, A., Gazor, H. R., Roushazadeh, H., Joukar, A., & Joukar, L. (2016). *Design, manufacture and evaluation of mixed solar dryer with variable inclination mechanism in order to dry apple (Golab Variety)*. Agricultural Engineering Research Institute Pub. (in Persian)
- Yam, K. L., & Papadakis, S. E. (2004). A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. *Journal of Food Engineering*, 61(1), 137-142. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00195-X](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00195-X).
- Zheng, M., Xia, Q., & Lu, S. (2015). Study on drying methods and their influences on effective components of loquat flower tea. *LWT- Food Science and Technology*, 63, 14-20. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.090>.
- Ziolhagh, S. H. R., Babakhanzadeh Sajirani, E., & Hosseini, S. A. (2022). *Investigation the effect of drying temperature on weight loss and color of the petals of Rosa damascena Mill. Medicinal Plants: Mechanization and Processing Congress*. Feb. 21-23. Imam Khomeini Higher Education Center, Karaj, Iran. (in Persian)



Research Paper

Investigation of Rosa Flower Bud Drying Kinetics, Total Phenol and Color Indices Variations at Different Drying Methods

O. R. Roustapour*, A. Golshan Tafti, H. R. Gazor and F. Sefidkon

*Corresponding Author: Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. Email: roustapour@gmail.com

Received: 19 November 2024, Accepted: 18 January 2025

<https://doi.org/10.22092/amsr.2025.367749.1505>

Abstract

Production of dried Rosa flower bud with high quality of color and essential oil is concerned for related industries. Six methods of drying process including shade drying (control), indirect solar dryer, cabinet dryer in three levels of inlet air temperature (40, 50, 60°C) and freeze dryer were compared in order to dry flower bud. Kinetics of drying, color indices and total phenol were determined in three replications and compared for the sixth drying methods. Results showed that the highest intensity of drying occurred in cabinet dryer (60°C) and the lowest intensity of drying occurred in freeze dryer. The phenol reduction in buds dried in cabinet dryer (40, 50, 60°C), solar dryer and freeze dryer were 12, 17, 21.7, 26 percent respectively, compared to control (shade drying). The maximum color index (L^*) in the inner and outer petals of dried buds happened in freeze dryer. This index in the inner and outer petals of dried buds dried in cabinet dryer (50°C) was 5 and 1.93 percents less than the index in the petals dried in cabinet dryer (60°C). The prolongation of drying process caused decrease in the brightness of petals. The maximum value of a^* index (25.61) was observed in the outer petal buds which dried in cabinet dryer (50°C). No significant difference was shown in the b^* index in the outer and inner petal bud, dried in cabinet dryer (50°C), solar dryers and in shade.

Keywords: Color Index, Kinetics of Drying, Quality, Rosa Flower Bud, Total Phenol



© 2024 Agricultural Mechanization and Systems Research, Karaj, Iran. This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license)