

## بررسی تأثیر خشک کردن با تابش مادون قرمز و سرعت جریان هوا بر خصوصیات کیفی بابونه (*Matricaria chamomilla* L.)

عبدالباسط محمودی<sup>۱</sup>، محمد کرمی<sup>۱</sup>، محمدتقی عبادی<sup>۲\*</sup> و مهدی عیاری<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم باغبانی، گرایش گیاهان دارویی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲- نویسنده مسئول، استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

پست الکترونیک: mt.ebadi@modares.ac.ir

۳- استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: بهمن ۱۳۹۸

تاریخ اصلاح نهایی: اردیبهشت ۱۳۹۹

تاریخ پذیرش: تیر ۱۳۹۹

### چکیده

به منظور بررسی اثر خشک کردن با تابش مادون قرمز بر شاخص‌های رنگ، درصد و اجزای اسانس گل‌های بابونه (*Matricaria chamomilla* L.)، سه شدت مختلف مادون قرمز شامل: ۱۲۵، ۱۳۲ و ۲۲۰ وات همراه با سه سرعت جریان هوا ۰/۵، ۱ و ۱/۵ متر بر ثانیه که در مجموع ۹ تیمار بودند، در قالب طرح کاملاً تصادفی بررسی شد و گیاهان خشک شده در سایه به عنوان تیمار شاهد در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که تیمارهای خشک کردن اثر معنی‌داری بر زمان خشک کردن، شاخص‌های رنگ و درصد اسانس نمونه‌ها داشت. تیمارهای شاهد (سایه خشک) و شدت تابش ۲۲۰ وات به همراه سرعت جریان هوا ۰/۵ متر بر ثانیه به ترتیب بیشترین (۲۳۶۷ دقیقه) و کمترین (۸۳ دقیقه) زمان خشک کردن را داشتند. با افزایش شدت تابش مادون قرمز شاخص‌های اصلی رنگ مانند  $L$ ،  $a$ ،  $b$ ،  $\Delta E$  (تغییرات کلی رنگ) و BI (شاخص قهوه‌ای شدن) به صورت معنی‌داری نسبت به شاهد تغییر کردند اما در بعضی تیمارها با افزایش سرعت جریان هوا میزان تغییرات شاخص‌های ذکر شده حتی در شدت تابش‌های بالای مادون قرمز تغییر کمتری نسبت به همان شدت با سرعت جریان هوای کمتر نسبت به شاهد نشان دادند. بیشترین میزان اسانس (۲۳/۰٪ وزنی/وزنی) در شدت تابش ۱۲۵ وات همراه با سرعت جریان هوا ۰/۵ متر بر ثانیه بدست آمد و کمترین مقدار (۱۲/۰٪) در تیمارهای شدت تابش ۲۲۰ وات به همراه سرعت جریان هوا ۰/۵ متر بر ثانیه و شدت تابش ۲۲۰ وات به همراه سرعت جریان هوا ۱ متر بر ثانیه مشاهده شد. بررسی تغییرات ترکیب‌های اصلی اسانس نشان داد که بیشترین مقدار آلفا-بیسابولول-اکسید A (۶۰/۶٪)، Z-اسپیرو اتر (۱۶/۵٪) و کامازولن (۴/۶٪) به ترتیب مربوط به تیمارهای شدت تابش ۱۳۲ وات به همراه سرعت جریان هوا ۰/۵ متر بر ثانیه، شدت تابش ۲۲۰ وات به همراه سرعت جریان هوا ۰/۵ متر بر ثانیه و شاهد بود. به طور کلی نتایج این آزمایش نشان داد که تیمار استفاده از شدت تابش ۱۲۵ وات مادون قرمز همراه با سرعت جریان هوای ۰/۵ متر بر ثانیه به دلیل زمان خشک کردن کوتاه، حفظ مشخصه‌های رنگ و مقدار مطلوب درصد و اجزای اصلی اسانس می‌تواند روش مناسبی برای خشک کردن گل‌های بابونه باشد.

واژه‌های کلیدی: بابونه (*Matricaria chamomilla* L.)، آلفا-بیسابولول اکسید، اسانس، خشک کردن، رنگ.

## مقدمه

بابونه با نام علمی *Matricaria chamomilla* L. معروف به بابونه آلمانی از خانواده کاسنی (Asteraceae) می‌باشد (Franke & Schilcher, 2005) و دارای اثرهای دارویی مانند ضدالتهاب، ضد عفونی‌کننده، داروی مسکن، ترمیم‌کننده زخم و ضد تشنج می‌باشد (Schilcher, 1987). در اسانس بابونه آلمانی نزدیک به ۴۰ نوع ترکیب شناسایی شده است که مهمترین آنها شامل آلفا-بیسابولول، کامازولن، آلفا-بیسابولول اکسید A و B و بتا-فارنزن می‌باشند (Omidbaigi, 2006).

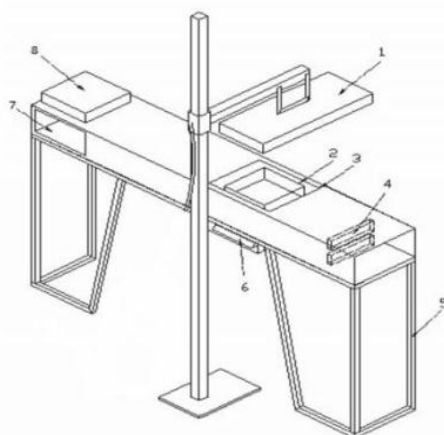
فرایند خشک کردن شامل حذف رطوبت با استفاده از عمل تبخیر تا حد رسیدن به یک آستانه خاص است تا بتوان محصول را برای مدت طولانی انبار کرد و فعالیت‌های آنزیمی، میکروارگانیسم‌ها و مخمرها در آن متوقف شود (Soysal & Öztekin, 2001). در مطالعات مربوط به روش‌های مختلف خشک کردن گیاهان دارویی به‌عنوان یکی از فرایندهای مهم پس از برداشت، همواره به اهمیت اثر آن بر مواد مؤثره تأکید شده است. به گونه‌ای که روش مناسب خشک کردن با توجه به نوع ماده مؤثره و نوع بافت گیاهی محل ذخیره‌سازی آن ترکیب‌ها متفاوت بوده و باید بر آن اساس روش مناسب تعیین شود (Omidbaigi et al., 2004). روش‌های مختلفی برای خشک کردن مواد گیاهی بعد از برداشت وجود دارد. خشک‌کن مادون قرمز به دلیل هزینه پایین و تجهیزات ساده در کشورهای در حال توسعه مورد استفاده قرار گرفته است (Mujumdar, 2006). کاهش زمان خشک شدن، یکنواخت گرم کردن گیاهان، کیفیت خوب محصولات خشک شده و کارایی مصرف انرژی بالا از جمله مزیت‌های خشک‌کن مادون قرمز می‌باشد (Sellami et al., 2011). مطالعات گسترده‌ای در رابطه با خشک کردن گیاهان دارویی تا به حال انجام شده است، به‌عنوان مثال مطالعه Ebadi و همکاران (۲۰۱۶) بر روی خشک کردن به‌لیمو (*Lippia citriodora* Kunth.) با دستگاه مادون قرمز نشان داد که با افزایش شدت تابش مادون قرمز در تمامی سرعت‌های جریان هوا میزان اسانس افزایش پیدا کرد. در مطالعه Pääkkönen و همکاران (۱۹۸۹) گزارش شد که

نمونه‌های گیاهان نعناع فلفلی و جعفری خشک شده توسط مادون قرمز در مقایسه با خشک‌کن هوای گرم دارای درصد اسانس بالاتری بودند و اجزای اصلی آنها بهتر حفظ شده بود. در مطالعه اثر خشک کردن بر گیاه برگ‌بو (*Laurus nobilis* L.) نتایج نشان داد که خشک کردن با هوا به‌همراه کاربرد مادون قرمز در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد اثر معنی‌داری بر افزایش محتوای اسانس داشت. به‌علاوه ترکیب ۸،۱-سینئول که جزء ترکیب‌های اصلی اسانس این گیاه بود در بیشتر تیمارها نسبت به شاهد کاهش پیدا کرده بود اما در دو تیمار مادون قرمز و آن مقدار این ترکیب افزایش معنی‌داری نشان داد (Sellami et al., 2011).

به‌طور معمول اولین ویژگی کیفی محصولات خشک شده که توسط مصرف‌کننده مورد توجه قرار می‌گیرد، شکل ظاهری و رنگ آن است (Maskan, 2001). برای بررسی میزان تغییرات ایجاد شده در ویژگی‌های رنگی نمونه‌های خشک شده، از اصطلاح شاخص‌های رنگی استفاده می‌شود. این پارامترها شامل میزان روشنایی یا L (از رنگ سیاه (۰) تا سفید (۱۰۰))، a یا میزان قرمزی، از سبز (مقادیر منفی) تا قرمز (مقادیر مثبت) و b یا میزان زردی، از آبی (مقادیر منفی) تا زرد (مقادیر مثبت) می‌باشند (Guine & Fernandes, 2006). پارامترهای دیگری که از پارامترهای رنگی ذکر شده بدست می‌آیند شامل تغییر رنگ کلی ( $\Delta E$ )، شاخص کروما، زاویه هیو و شاخص قهوه‌ای شدن (BI) است (Dadali et al., 2007). تغییر مقادیر L، a و b هنگام خشک شدن که در اثر تجزیه رنگدانه‌های موجود در نمونه‌های گیاهی اتفاق می‌افتد، می‌تواند باعث افزایش میزان  $\Delta E$  و BI و در نهایت افت کیفی محصول خشک شده شود. Maskan (۲۰۰۱) در بررسی اثر مایکروویو و هوای داغ بر روی پارامترهای رنگی کیوی نشان داد که مایکروویو بیشتر از هوای داغ پارامترهای رنگی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (افزایش a و کاهش L و b). علت این موضوع به میزان انرژی گرمایی که محصول در معرض آن قرار می‌گیرد مربوط است. نتایج بدست‌آمده از پژوهش Askari و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد که خشک کردن با هوای داغ به دلیل زمان طولانی فرایند خشک کردن بیشترین

روش خشک کردن در سایه (در مکان سایه با دمای حدود ۲۵ درجه سانتی‌گراد و دارای تهویه هوا) به‌عنوان تیمار شاهد در نظر گرفته شد و برای هر تکرار در این آزمایش ۱۰۰ گرم ماده گیاهی تر استفاده شد. برای تعیین رطوبت اولیه، تعداد ۴ نمونه ۵۰ گرمی از گل‌های بابونه داخل آون ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ ساعت قرار داده شد (Ebadi *et al.*, 2016). سپس وزن ثانویه نمونه‌ها اندازه‌گیری شد و تفاوت بین وزن اولیه و وزن ثانویه نمونه خشک شده، مقدار کل رطوبت را در نمونه‌ها نشان داد که وزن تقریبی نمونه‌ها با احتساب ۱۲٪ رطوبت برای خشک کردن با دستگاه طبق رابطه ۱ محاسبه گردید. در این رابطه MD: وزن نمونه با احتساب ۱۲٪ رطوبت، Md: وزن خشک نمونه بعد از گذشت ۳ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد و Mw: وزن رطوبت اولیه گیاه یا تفاوت وزنی بین وزن اولیه با وزن ثانویه نمونه بعد از گذشت ۳ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در آون می‌باشد. خشک کردن نمونه‌ها با دستگاه مادون قرمز تا زمانی که در سه بار وزن کردن متوالی، وزن آنها ثابت شود ادامه داشت که در حدود ۸۵ تا ۱۵۰ دقیقه (با توجه به نوع تیمار) طول کشید.

$$MD = Md + (0.12 \times Mw) \quad \text{رابطه ۱}$$



شکل ۱- طرح شماتیک خشک‌کن آزمایشگاهی تابش مادون قرمز

(۱) لامپ مادون قرمز، (۲) سینی نمونه، (۳) دریچه فوقانی کانال، (۴) المنت‌های گرمایی، (۵) شناسی،

(۶) ترازوی الکترونیکی، (۷) دریچه جانبی کانال، (۸) فن مکشی

آفت رنگی را در محصولات کشاورزی ایجاد می‌کند. در حالیکه کاربرد همزمان مایکروویو و هوای داغ به دلیل کاهش زمان خشک شدن می‌تواند تغییرات رنگی را تقلیل دهد.

با توجه به اهمیت فرایند خشک کردن در حفظ خصوصیات کیفی گل‌های بابونه، تمامی پژوهش‌های انجام شده در رابطه با این محصول مورد بررسی قرار گرفت ولی اطلاعاتی در رابطه با خشک کردن گل‌های بابونه آلمانی توسط اشعه مادون قرمز موجود نبود و با توجه به نیاز صنایع داروسازی و آرایشی بهداشتی و شرایط مناسب کشت و کار این گیاه در کشور، به‌منظور تعیین اثرهای خشک کردن توسط خشک‌کن مادون قرمز همراه با سرعت جریان هوای مناسب، این تحقیق انجام شد.

## مواد و روش‌ها

نحوه انجام آزمایش‌های خشک کردن

نمونه‌های گیاهی در مرحله گلدهی کامل از مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس جمع‌آوری شد و با دستگاه خشک‌کن مادون قرمز (شکل ۱) (Mohajeran *et al.*, 2006) در ۳ شدت: ۱۲۵، ۱۳۲ و ۲۲۰ (وات) و ۳ جریان هوا ۰/۵، ۱ و ۱/۵ (متر بر ثانیه) در قالب طرح کاملاً تصادفی در مجموع با ۹ تیمار و ۳ تکرار خشک گردید. در این مطالعه،

منابع از طریق تزریق هیدروکربن‌های نرمال (C<sub>8</sub>-C<sub>24</sub>) در شرایط یکسان با تزریق اسانس‌ها بدست آمد. همچنین مقایسه آنها با کتابخانه دستگاه که شامل Wiley, Adams و Main library بود، انجام شد.

#### محاسبه شاخص‌های رنگ

برای این منظور از هر تکرار از نمونه‌های خشک شده در حدود ۳ گرم برداشته و پودر گردید و پودر مورد نظر به صورت کاملاً یکنواخت در کف پتری‌دیش شیشه‌ای ریخته شد، به گونه‌ای که کف پتری‌دیش معلوم نباشد. نمونه‌های آماده شده در لایت‌باکس با ابعاد ۵۰×۵۰×۵۰ سانتی‌متر (طول×عرض×ارتفاع) قرار داده شد و توسط دوربین تعبیه شده با مدل HD Pro Webcam C920 (Logitech®) از آنها عکس‌برداری گردید. عکس‌های گرفته شده برای بدست آوردن شاخص‌های رنگی مورد استفاده قرار گرفت. بدین منظور در ابتدا شاخص‌های *r*، *g* و *b* به وسیله بارگذاری عکس‌ها در نرم‌افزار Average Color بدست آمد و اعداد مربوطه برای بدست آوردن *L*، *a* و *b* در نرم‌افزار Colormine درج شد. مقادیر مربوط به شاخص‌های دیگر رنگ با استفاده از رابطه‌های زیر محاسبه گردید. تغییرات کلی رنگ (Total Colour Difference): میزان تغییر رنگ نمونه‌ها یا میزان تیره شدن آنها را بعد از خشک شدن در مقایسه با قبل از آن نشان می‌دهد. در رابطه زیر علامت (0) نشانگر پارامترهای رنگی قبل از خشک شدن می‌باشد.

$$\Delta E = \sqrt{(L_0 - L)^2 + (a_0 - a)^2 + (b_0 - b)^2}$$

شاخص هیو (Hue Angel): نشان‌دهنده رنگ غالب نمونه می‌باشد و توسط رابطه زیر بدست می‌آید.

$$\text{Hue Angel} = \tan^{-1} \left( \frac{b}{a} \right)$$

استخراج اسانس و بررسی ترکیب‌های آن نمونه‌های گیاهی خشک شده با روش تقطیر با آب توسط دستگاه کلونجر به مدت ۳ ساعت اسانس‌گیری شد. برای بدست آوردن درصد اسانس، اسانس‌ها بعد از جمع‌آوری توزین شده و آبگیری اسانس توسط سولفات سدیم (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) انجام شد. اسانس‌ها داخل ظرف دربسته در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد تا زمان شناسایی ترکیب‌ها نگهداری گردید. دستگاه گاز کروماتوگراف (GC) Agilent مدل 7890B، ستون HP-5 به طول ۳۰ متر و قطر ۰/۳۲ میلی‌متر و ضخامت لایه فاز ساکن ۰/۲۵ میکرومتر بود. برنامه‌ریزی حرارتی آون با ۶۰ درجه سانتی‌گراد شروع و بعد با افزایش دمای ۵ درجه در دقیقه ادامه یافت و در نهایت به مدت ۲ دقیقه در دمای ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد حفظ شد. گاز حامل، هلیوم با درصد خلوص ۹۹/۹۹٪ بود و با سرعت ۱/۱ میلی‌لیتر بر دقیقه جریان داشت. دستگاه گاز کروماتوگراف متصل به طیف‌سنج جرمی (GC-MS) Thermoquest-Finnigan مدل Trace، ستون HP-5 به طول ۳۰ متر و قطر ۰/۲۵ میلی‌متر، ضخامت لایه فاز ساکن ۰/۲۵ میکرومتر، برنامه‌ریزی حرارتی مشابه دستگاه GC، دمای منبع یون و رابط حرارتی به ترتیب ۲۰۰ و ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد، انرژی یونیزاسیون ۷۰ الکترون‌ولت و گاز حامل هلیوم با درصد خلوص ۹۹/۹۹٪ بود و با سرعت ۱/۱ میلی‌لیتر بر دقیقه جریان داشت. شناسایی طیف‌ها به کمک محاسبه شاخص بازدارداری و مطابقت هر ترکیب با

شاخص کروما (Chroma Index): نشان‌دهنده میزان اشباع‌شدگی یا شدت رنگ است که براساس رابطه زیر بدست می‌آید.

$$\text{Chroma} = (a^2 + b^2)^{1/2}$$

پیدا کرده بود، هرچند بین این تیمارها اختلاف معنی‌دار آماری مشاهده نشد. همین روند در تیمارهای مربوط به شدت مادون قرمز ۱۳۲ وات با سرعت جریان هوای مربوطه مشاهده گردید. کمترین مدت زمان خشک شدن مربوط به تیمار شدت تابش ۲۲۰ وات به همراه سرعت جریان هوا ۰/۵ متر بر ثانیه با ۸۳/۳۳ دقیقه بود و با افزایش سرعت جریان هوا این مدت زمان افزایش پیدا کرد، اما هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد (جدول ۱).

#### درصد اسانس

طبق نتایج حاصل از تجزیه واریانس، تأثیر تیمارهای خشک کردن بر صفت درصد اسانس در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بالاترین درصد اسانس ۲۳/۰٪ (وزنی/وزنی) در شدت ۱۲۵ وات با سرعت جریان هوا ۰/۵ متر بر ثانیه بدست آمد و کمترین مقدار (۱۲/۰٪) متعلق به شدت بالای تابش مادون قرمز (۲۲۰ وات) به همراه سرعت جریان هوا ۰/۵ و ۱ متر بر ثانیه بود (جدول ۱).

#### شاخص‌های رنگ

نتایج مربوط به تجزیه واریانس شاخص‌های رنگ نمونه‌های خشک شده نشان داد که تیمارهای مختلف خشک کردن با دستگاه مادون قرمز، تأثیر معنی‌داری بر این شاخص‌ها داشت ( $P < 0.01$ ). مقایسه میانگین‌های مربوطه نشان داد که مقادیر شاخص‌های  $L$ ،  $a$ ،  $b$ ،  $\Delta E$ ،  $Chroma$ ،  $BI$  و  $Hue$  به ترتیب بین ۸۵/۶۰-۵۵/۳۹، ۳/۶۸-۴۰/۰۴، ۴۰/۰۶-۳۴/۳۱، ۱۱/۰۳-۷/۰۰، ۴۰/۲۷-۵۱-۳۴، ۱۴۰/۶۲-۱۴۰/۶۰ و ۸۸/۵۶-۸۳/۸۷ متغیر می‌باشد (جدول ۱).

**شاخص L:** مقدار شاخص تیرگی-روشنی بین ۱۰۰-۰ است که بالا بودن آن نشان‌دهنده روشن‌تر بودن و کمتر شدن آن نشان‌دهنده تیرگی نمونه‌ها می‌باشد. بیشترین مقدار  $L$  در نمونه شاهد (سایه خشک) با مقدار ۸۵/۶۰ و کمترین آن در تیمار شدت تابش ۲۲۰ وات به همراه سرعت جریان هوا ۰/۵ متر بر ثانیه با مقدار ۵۵/۳۹ بدست آمد. همان‌گونه که

شاخص قهوه‌ای شدن ( $BI$ ) (Browning Index): پارامتر رنگی است که میزان تغییر رنگ محصول به سمت رنگ قهوه‌ای را نشان می‌دهد.

$$BI = \frac{(100 - (x - 0.31))}{0.71}$$

که در آن  $x$  برابر است با:

$$x = \frac{a + 1.75L}{5.645L + a - 3.012b}$$

#### محاسبات آماری

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.2 براساس طرح کاملاً تصادفی با ده تیمار و سه تکرار و مقایسه میانگین داده‌ها براساس آزمون LSD (حداقل اختلاف معنی‌دار) در سطح احتمال ۱٪ انجام شد.

#### نتایج

##### زمان خشک شدن

طبق نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای خشک کردن بر زمان خشک شدن معنی‌دار بود ( $P < 0.01$ ). همان‌گونه که در نتایج مربوط به مقایسه میانگین‌ها مشاهده می‌شود، نمونه شاهد دارای طولانی‌ترین زمان خشک شدن می‌باشد و با تیمارهای خشک کردن با خشک‌کن مادون قرمز دارای اختلاف معنی‌داری است. همان‌طور که مشاهده می‌شود زمان خشک شدن در بین تیمارها با افزایش شدت مادون قرمز و سرعت جریان هوا روند کاهشی داشته است. در تیمار شدت تابش ۱۲۵ وات به همراه سرعت جریان هوا ۱ متر بر ثانیه که سرعت جریان هوا در آن نسبت به تیمار شدت تابش ۱۲۵ وات به همراه سرعت جریان هوا ۰/۵ متر بر ثانیه دو برابر شده بود، مدت زمان خشک شدن افزایش پیدا کرده بود. همچنین با افزایش سرعت جریان هوا به ۱/۵ متر بر ثانیه در همین شدت تابش مادون قرمز مدت زمان خشک شدن نسبت به سرعت جریان هوای ۱ متر بر ثانیه کاهش

تابش ۱۳۵ وات به همراه سرعت جریان هوا ۱/۵ متر بر ثانیه اختلاف معنی داری مشاهده شد و با افزایش سرعت جریان هوا مقدار این شاخص کاهش یافت. در تیمار شدت تابش مادون قرمز ۲۲۰ وات با جریان هوای مربوطه این شاخص دارای بیشترین مقادیر خود بود و با افزایش سرعت جریان هوا از مقدار آن کاسته شد. به علاوه اینکه بین این سه تیمار از نظر آماری تفاوت معنی داری مشاهده گردید (جدول ۱).

**شاخص b:** شاخص b+ نشانگر زردی افزایشی و b- نشانگر آبی افزایشی می باشد. همان گونه که در جدول ۱ مشاهده می شود، با افزایش تابش شدت مادون قرمز این شاخص کاهش یافت و رنگ زرد نمونه ها کمتر شد. بیشترین مقدار (۴۰/۰۶) این شاخص در تیمار شاهد دیده شد که با تمام تیمارها بجز تیمار شدت تابش ۱۲۵ وات به همراه سرعت جریان هوا ۱/۵ متر بر ثانیه دارای اختلاف معنی دار بود و کمترین مقدار (۳۴/۳۱) نیز مربوط به تیمار شدت تابش ۲۲۰ وات به همراه سرعت جریان هوا ۰/۵ متر بر ثانیه بود. در سرعت جریان هوای بالا مقدار این شاخص در تمام تیمارها در شدت تابش مادون قرمز مربوطه افزایش یافت، به گونه ای که کمترین مقدار آن در تیمار شدت تابش ۲۲۰ وات به همراه سرعت جریان هوا ۰/۵ متر بر ثانیه مشاهده شد و در این شدت از اشعه مادون قرمز با سرعت جریان هوای ۱/۵ متر بر ثانیه مقدار شاخص افزایش پیدا کرده و دارای اختلاف معنی داری نیز بود (جدول ۱).

**شاخص AE:** این شاخص نشان دهنده تغییرات رنگی در طول خشک شدن نمونه می باشد و بزرگ بودن آن نشان دهنده تفاوت بیشتر با نمونه شاهد از نظر رنگ می باشد. همان گونه که در جدول ۱ مشاهده می شود بیشترین و کمترین مقدار (۱۱) و (۷) به ترتیب مربوط به تیمارهای شدت تابش ۲۲۰ وات به همراه سرعت جریان هوا ۰/۵ متر بر ثانیه و سایه خشک بود و در تیمارهای دیگر با افزایش شدت مادون قرمز روندی افزایشی داشت ولی در تیمارهایی که سرعت جریان هوا بیشتر بود، مقدار این صفت نسبت به همان شدت مادون قرمز با سرعت جریان هوای کمتر، با داشتن اختلاف معنی دار آماری کاهش پیدا کرده است (جدول ۱).

مشاهده می شود مقدار این شاخص با افزایش شدت مادون قرمز کاهش پیدا کرد. در تیمارهای با شدت تابش مادون قرمز ۱۲۵ وات و سرعت جریان هوای مختلف، این صفت با نمونه شاهد دارای اختلاف معنی داری بود و نسبت به شاهد کمتر بود اما بین خود تیمارها تفاوت آماری مشاهده نشد. در شدت ۱۳۲ وات تابش مادون قرمز همراه جریان هوای مختلف، تقریباً نتایج مشابه شدت تابش ۱۲۵ وات بود. اما در شدیدترین تیمار مادون قرمز (۲۲۰ وات) این شاخص کاهش بیشتری نشان داد، به گونه ای که در تیمار شدت تابش ۲۲۰ وات به همراه سرعت جریان هوا ۰/۵ متر بر ثانیه سرعت جریان هوا ملایم تر بوده ولی شدت مادون قرمز بالا است، کمترین مقدار شاخص L بدست آمد که با دو تیمار دیگر در این شدت از تابش مادون قرمز اختلاف معنی دار آماری وجود داشت (جدول ۱).

**شاخص a:** شاخص قرمزی-سبزی می باشد که افزایش آن نشانگر قرمزی بیشتر و کاهش آن نشانگر سبزی بودن نمونه است. این شاخص شامل مقادیر مثبت و منفی می باشد و مقدار آن هرچه منفی تر باشد، رنگ نمونه ها متمایل به رنگ سبز است. در این آزمایش مقدار این شاخص در نمونه شاهد کمترین (۴/۰۴-) بود، به علاوه اینکه بیشترین (۳/۶۸) مقدار هم مربوط به تیمار شدت تابش ۲۲۰ وات به همراه سرعت جریان هوا ۰/۵ متر بر ثانیه و در شدت های مادون قرمز تقریباً با افزایش شدت این مقدار روندی افزایشی داشت. مقدار شاخص a در تیمارهای شدت تابش ۱۲۵ وات به همراه سرعت جریان هوا ۰/۵، ۱ و ۱/۵ متر بر ثانیه با نمونه شاهد دارای اختلاف معنی داری بود، هر چند که با افزایش سرعت جریان هوا مقدار آن کمتر شده بود، ولی بین این تیمارها اختلاف معنی دار آماری مشاهده نشد. در تیمار شدت تابش ۱۳۵ وات به همراه سرعت جریان هوا ۰/۵ متر بر ثانیه که سرعت جریان هوا کمترین مقدار می باشد، شاخص a نسبت به دو تیمار دیگر در این سطح از شدت مادون قرمز بیشتر بود و دارای اختلاف معنی دار آماری با دو تیمار دیگر بود. همچنین بین دو تیمار شدت تابش ۱۳۵ وات به همراه سرعت جریان هوا ۱ متر بر ثانیه و شدت

جدول ۱- نتایج مقایسه میانگین مربوط به اثر خشک کردن مادون قرمز بر شاخص‌های کمی و کیفی *Matricaria chamomilla*

Hue Angel	BI	Chroma	$\Delta E$	b	a	L	زمان خشک کردن (دقیقه)	درصد اسانس	تیمار
-۸۴/۲۳g	۱۴۰/۶۲a	۴۰/۲۷a	۷/۰۰f	۴۰/۰۶a	-۴/۰۴g	۶۰/۸۵a	۲۳۶۷a	۰/۲۰b	شاهد
۸۸/۱۱a	۱۴۰/۶۱cb	۳۸/۴۴b	۹/۳۹d	۳۸/۴۲b	۱/۲۶f	۵۹/۵۳b	۱۱۷b	۰/۲۳a	۱۲۵ وات $\times ۰/۵$ متر بر ثانیه
۸۸/۵۶a	۱۴۰/۶۱ab	۳۷/۸۸b	۸/۸۴e	۳۷/۸۷b	۰/۹۴f	۵۹/۲۶b	۱۴۳b	۰/۲۰b	۱۲۵ وات $\times ۱$ متر بر ثانیه
۸۸/۵۳a	۱۴۰/۶۰d	۳۹/۴۳a	۹/۵۸d	۳۹/۴۲a	۱/۰۰f	۵۹/۴۵b	۱۲۷b	۰/۱۹b	۱۲۵ وات $\times ۱/۵$ متر بر ثانیه
۸۶/۳۹c	۱۴۰/۶۱dcb	۳۶/۹۴c	۹/۶۹dc	۳۶/۸۶c	۲/۳۲d	۵۷/۲۰c	۱۰۳b	۰/۱۷c	۱۳۲ وات $\times ۰/۵$ متر بر ثانیه
۸۷/۱۸b	۱۴۰/۶۰dc	۳۶/۹۷c	۹/۲۶de	۳۶/۹۳c	۱/۸۱e	۵۶/۴۳d	۱۱۷b	۰/۱۵c	۱۳۲ وات $\times ۱$ متر بر ثانیه
۸۸/۴۱a	۱۴۰/۶۰d	۳۸/۰۴b	۸/۸۱e	۳۸/۰۳b	۱/۰۵f	۵۷/۳۳c	۱۱۵b	۰/۱۶c	۱۳۲ وات $\times ۱/۵$ متر بر ثانیه
۸۳/۸۷f	۱۴۰/۶۱ab	۳۴/۵۱d	۱۱/۰۳a	۳۴/۳۱d	۳/۶۸a	۵۵/۳۹e	۸۳b	۰/۱۲d	۲۲۰ وات $\times ۰/۵$ متر بر ثانیه
۸۴/۵۸e	۱۴۰/۶۲a	۳۴/۶۷d	۱۰/۴۹b	۳۴/۵۱d	۳/۲۷b	۵۶/۲۷d	۹۷b	۰/۱۲d	۲۲۰ وات $\times ۱$ متر بر ثانیه
۸۵/۵۴d	۱۴۰/۶۰dcb	۳۶/۲۴c	۱۰/۱۰bc	۳۶/۱۳c	۲/۸۱c	۵۶/۴۷d	۱۱۲b	۰/۱۵c	۲۲۰ وات $\times ۱/۵$ متر بر ثانیه

در هر ستون حروف مشابه نشانه عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها می‌باشد.

B. کامازولن، سیس-اسپیرواتر و ترانس-بتا-فارزنن. در ادامه به تغییرات آنها تحت تیمارهای مختلف خشک کردن پرداخته می‌شود.

آلفا-بیسابلول اکسید A: همان‌گونه که مشاهده می‌شود این ترکیب فراوان‌ترین جزء اسانس بود که بیشترین مقدار آن (۶۰/۶٪) در تیمار شدت تابش مادون قرمز ۱۳۲ وات به همراه سرعت جریان هوا ۰/۵ متر بر ثانیه بدست آمد. این مقدار اختلاف ناچیزی با ۶۰/۴٪ و ۶۰/۱٪ به ترتیب در تیمارهای شدت تابش ۱۲۵ وات به همراه سرعت جریان هوا ۰/۵ متر بر ثانیه و شدت تابش ۱۲۵ وات به همراه سرعت جریان هوا ۱/۵ متر بر ثانیه داشت و افزایشی در حدود ۷٪ را نسبت به شاهد نشان داد. کمترین مقدار این ترکیب در تیمار شدت تابش ۱۲۵ وات به همراه سرعت جریان هوا ۱ متر بر ثانیه با مقدار ۵۴/۸٪ بدست آمد و نمونه شاهد دارای ۵۶/۲٪ از این ترکیب بود. با توجه به نتایج بدست آمده، مقدار این ترکیب در تمام تیمارها به غیر از تیمار شدت تابش ۱۲۵ وات به همراه سرعت جریان هوا ۱ متر بر ثانیه بیشتر از شاهد بود، به‌طور کلی در شدت‌های تابش پایین‌تر این افزایش بیشتر بود (جدول ۲).

سیس-اسپیرواتر: این ترکیب دومین ترکیب اصلی در اسانس این گیاه بود که بیشترین مقدار آن (۱۶/۵ درصد) در تیمار شدت تابش ۲۲۰ وات به همراه سرعت جریان هوا ۰/۵ متر بر ثانیه مشاهده شد و با تیمار شدت تابش ۱۳۵ وات به همراه سرعت جریان هوا ۱/۵ متر بر ثانیه (۱۶/۳ درصد) اختلاف ناچیزی داشت. کمترین مقدار آن (۱۲/۰ درصد) در شدت تابش ۱۳۵ وات به همراه سرعت جریان هوا ۱ متر بر ثانیه بدست آمد که اختلاف زیادی با تیمارهای شدت تابش ۲۲۰ وات به همراه سرعت جریان هوا ۱ متر بر ثانیه و شدت تابش ۱۲۵ وات به همراه سرعت جریان هوا ۰/۵ متر بر ثانیه نداشت. البته نمونه شاهد در این مطالعه دارای حد متوسطی از این ترکیب بود (جدول ۲).

شاخص کروما: کروما تعیین‌کننده شدت رنگ محصول است و در حقیقت درجه خلوص یک رنگ را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار شاخص کروما (۴۰/۲۷) مربوط به نمونه سایه خشک بود که تنها با تیمار شدت تابش ۱۲۵ وات به همراه سرعت جریان هوا ۱/۵ متر بر ثانیه اختلاف معنی‌دار نداشت و کمترین آن (۳۴/۵۱) مربوط به تیمار شدت تابش ۲۲۰ وات به همراه سرعت جریان هوا ۰/۵ متر بر ثانیه بود. به‌علاوه اینکه روند کاهش آن مانند شاخص‌های دیگر با افزایش شدت مادون قرمز مشاهده شد ولی در تیمارهایی که شدت تابش مادون قرمز یکسان بود و سرعت جریان هوا متفاوت، مقدار آن با بیشترین سرعت جریان هوا نسبت به دو تیمار دیگر با اختلاف معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۱).

شاخص قهوه‌ای شدن (BI): این شاخص یکی دیگر از پارامترهای مربوط به رنگ بوده که میزان تغییر رنگ محصول را به سمت رنگ قهوه‌ای نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشترین مقدار آن (۱۴۰/۶۲۲۱۷) مربوط به تیمار شاهد و کمترین مقدار (۱۴۰/۶۰۲۱۴) مربوط به تیمار شدت تابش ۱۳۵ وات به همراه سرعت جریان هوا ۱/۵ متر بر ثانیه بود.

شاخص هیو: شاخص هیو نشان‌دهنده رنگ غالب نمونه می‌باشد و تحت تأثیر دو شاخص a و b قرار دارد و هرچه رنگ نمونه متمایل به سبز باشد، مقدار شاخص a منفی بوده و متعاقباً مقدار هیو نیز منفی بدست می‌آید که در نمونه شاهد این حالت دیده می‌شود. بیشترین و کمترین مقدار آن (۸۸/۵۶ و -۸۴/۲۳) به ترتیب در نمونه‌های A×E و شاهد مشاهده گردید (جدول ۱).

#### اجزای اسانس

در شناسایی اجزای اسانس، تعداد ۱۷ ترکیب مختلف شناسایی شده که گستره ۹۸/۴-۹۵/۱٪ از اسانس را شامل می‌شدند. مهمترین اجزای اسانس با بونیه عبارت بودند از: آلفا-بیسابلول اکسید A، آلفا-بیسابلول اکسید



۲۲۰ وات به همراه سرعت جریان هوا ۱/۵ متر بر ثانیه و شدت تابش ۱۲۵ وات به همراه سرعت جریان هوا ۱ متر بر ثانیه بود. مقدار این ترکیب تقریباً در تمام تیمارها، بجز تیمار شدت تابش ۲۲۰ وات به همراه سرعت جریان هوا ۱/۵ متر بر ثانیه افزایش یافته بود (جدول ۲).

ترانس-بتا-فارنزن: این ترکیب تقریباً در تمام تیمارها دارای حدود ۲٪ بود، ولی در نمونه شاهد مقدار این ترکیب ۵/۹٪ بود که کاهش زیادی در تیمارهای مختلف خشک کردن نشان داد (جدول ۲).

در ارتباط با نوع، تعداد و درصد ترکیب‌های موجود در اسانس، در این گیاه تحت تیمارهای داده شده تغییراتی در مقدار ترکیب‌های مونوترپنی، سزکوئی‌تریپنی و ترکیب‌های غیرتریپنی وجود داشت. همان‌گونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود بیشترین نوع ترکیب‌ها جزء سزکوئی‌تریپن‌ها بوده و درصد بالایی از اسانس را به خود اختصاص می‌دادند. به گونه‌ای که گستره این ترکیب‌ها ۸۲/۹-۷۷/۴٪ بود. در مقابل ترکیب‌های مونوترپنی هرچند تعداد بالایی داشتند اما درصد قابل توجهی را نداشتند (۱/۸-۰/۳٪). ترکیب‌های غیرتریپنی جزء دسته دوم از نظر مقدار در این گیاه بودند که درصد قابل توجهی را به خود اختصاص داده بودند (۱۷/۶-۱۲/۱۸٪) (جدول ۳).

**آلفا-بیسابولون اکسید A:** از نظر درصد سومین ترکیب شاخص در اسانس گیاه مورد مطالعه بود. مقدار این ترکیب به ترتیب از ۷٪ تا ۱۰/۳٪ مربوط به تیمارهای شدت تابش ۲۲۰ وات به همراه سرعت جریان هوا ۰/۵ متر بر ثانیه و شدت تابش ۱۲۵ وات به همراه سرعت جریان هوا ۰/۵ متر بر ثانیه متفاوت بود. مقدار این ترکیب در تمامی تیمارها بجز تیمار شدت تابش ۲۲۰ وات به همراه سرعت جریان هوا ۱ متر بر ثانیه، نسبت به شاهد روندی کاهشی داشت (جدول ۲).

**کامازولن:** کامازولن که عامل رنگ آبی اسانس این گیاه می‌باشد، در شدت‌های مختلف مادون قرمز و سرعت جریان هوا تغییر کرده و بیشترین آن در نمونه شاهد (۴/۶٪) و بعد شدت ۱۳۲ وات با سرعت جریان هوا ۱ متر بر ثانیه بدست آمد و اختلاف زیادی با شدت تابش ۲۲۰ وات به همراه سرعت جریان هوا ۱/۵ متر بر ثانیه و شدت تابش ۱۲۵ وات به همراه سرعت جریان هوا ۱ متر بر ثانیه که حاوی درصد پایین تری از این ترکیب بودند، داشت (جدول ۲).

**آلفا-بیسابولول اکسید B:** این ترکیب یکی دیگر از ترکیب‌های بیسابولولی بوده که جزء ترکیب‌های اصلی محسوب می‌شده است. گستره این ترکیب، ۲/۸-۶/۴٪ بود که به ترتیب مربوط به نمونه‌های شدت تابش

جدول ۲- مقایسه ترکیب‌های موجود در اسانس *Matricaria chamomilla* خشک شده تحت سرعت‌های جریان هوا و شدت‌های تابش مادون قرمز

درصد ترکیب‌های اسانس										شاخص بازداری محاسباتی	نام ترکیب	ردیف
شدت تابش مادون قرمز (W) × سرعت جریان هوا (m/s)												
۱/۵×۲۲۰	۱×۲۲۰	۰/۵×۲۲۰	۱/۵×۱۳۲	۱×۱۳۲	۰/۵×۱۳۲	۱/۵×۱۲۵	۱×۱۲۵	۰/۵×۱۲۵	شاهد			
۱/۲	tr	tr	tr	tr	tr	tr	۰/۱	tr*	۰/۱	۹۵۹	$\alpha$ -fenchene	۱
۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۱	۰/۲	tr	tr	tr	۱۰۰۷	iso-sylvestrene	۲
۰/۴	۰/۵	۰/۲	۰/۷	۰/۷	۰/۶	۰/۸	۱/۰	۰/۵	۰/۷	۱۰۵۸	artemisia ketone	۳
۰/۱	۰/۱	tr	۰/۲	۰/۲	۰/۱	۰/۲	۰/۲	۰/۱	۰/۲	۱۰۹۶	fenchone	۴
۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۲	۰/۳	۰/۵	۰/۳	۰/۳	۱۲۰۵	shisofuran	۵
۲/۴	۲/۴	۲/۴	۲/۲	۲/۳	۱/۷	۱/۹	۱/۶	۲/۰	۵/۹	۱۴۵۲	trans- $\beta$ -Farnesene	۶
۱/۷	۱/۶	۱/۸	۱/۷	۲/۴	۱/۷	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۰/۸	۱۵۸۴	$\beta$ -vetivenene	۷
۰/۷	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۹	۰/۷	۰/۶	۰/۵	۰/۶	۰/۵	۱۶۴۸	$\gamma$ -cadinol	۸
۲/۸	۴/۰	۴/۳	۳/۶	۴/۶	۳/۶	۴/۰	۶/۴	۴/۲	۳/۷	۱۶۶۱	$\alpha$ -bisabolol oxide B	۹
۱/۰	۰/۷	۰/۸	۰/۸	۰/۹	۱/۰	۰/۷	۱/۰	۰/۸	tr	۱۶۷۱	cis- $\alpha$ -santalol	۱۰
۸/۶	۱۱/۶	۷/۰	۸/۸	۸/۵	۹/۲	۸/۲	۱۰/۰	۱۰/۳	۱۰/۲	۱۶۹۰	$\alpha$ -bisabolone oxide A	۱۱
۲/۰	۳/۳	۲/۶	۲/۸	۳/۹	۳/۳	۳/۰	۲/۱	۲/۸	۴/۶	۱۷۴۲	chamazulene	۱۲
۵۸/۱	۵۸/۳	۵۹/۱	۵۶/۷	۵۹/۲	۶۰/۶	۶۰/۱	۵۴/۸	۶۰/۴	۵۶/۲	۱۷۶۶	$\alpha$ -bisabolol oxide A	۱۳
۰/۱	۰/۲	tr	۰/۱	۰/۲	tr	۰/۱	۰/۲	tr	-	۱۷۸۱	14-hydroxy- $\alpha$ -muurolene	۱۴
۱۵/۴	۱۲/۱	۱۶/۵	۱۶/۳	۱۲/۰	۱۳/۱	۱۳/۸	۱۴/۷	۱۲/۵	۱۴/۳	۱۸۹۸	Z-spiroether	۱۵
۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۵	۰/۲	۰/۴	۰/۴	۰/۲	۰/۳	۰/۳	۱۹۱۱	E-spiroether	۱۶
۰/۵	۰/۳	۰/۴	۰/۳	۰/۳	۰/۴	۰/۴	۰/۳	۰/۳	۰/۶	۱۹۶۸	7-isopropyl-1,4-dimethyl-2-azulenol	۱۷
۹۵/۸	۹۶/۵	۹۶/۵	۹۵/۹	۹۶/۷	۹۶/۹	۹۶/۲	۹۵/۱	۹۶/۶	۹۸/۴		کل	

tr\*: مقدار ناچیز، کمتر از ۰/۱٪

جدول ۳- نوع، تعداد و درصد گروه‌های اجزای اسانس *Matricaria chamomilla*

کل	غیر تریپنی	سزکوئی‌ترین	مونوترپین	ترکیب	نمونه
۱۶	۴	۸	۴	تعداد	شاهد
۹۸/۴	۱۵/۵	۸۱/۹	۱/۰	درصد	
۱۷	۴	۹	۴	تعداد	۱۲۵ وات $\times 0/5$ متر بر ثانیه
۹۶/۶	۱۳/۴	۸۲/۶	۰/۶	درصد	
۱۷	۴	۹	۴	تعداد	۱۲۵ وات $\times 1$ متر بر ثانیه
۹۵/۱	۱۵/۷	۷۸/۱	۱/۳	درصد	
۱۷	۴	۹	۴	تعداد	۱۲۵ وات $\times 1/5$ متر بر ثانیه
۹۶/۲	۱۴/۹	۷۷/۴	۱/۲	درصد	
۱۷	۴	۹	۴	تعداد	۱۳۲ وات $\times 0/5$ متر بر ثانیه
۹۶/۹	۱۴/۱	۸۱/۸	۰/۸	درصد	
۱۷	۴	۹	۴	تعداد	۱۳۲ وات $\times 1$ متر بر ثانیه
۹۶/۷	۱۲/۸	۸۲/۹	۱/۰	درصد	
۱۷	۴	۹	۴	تعداد	۱۳۲ وات $\times 1/5$ متر بر ثانیه
۹۵/۹	۱۷/۴	۷۷/۳	۱/۱	درصد	
۱۷	۴	۹	۴	تعداد	۲۲۰ وات $\times 0/5$ متر بر ثانیه
۹۶/۵	۱۷/۶	۷۸/۶	۰/۳	درصد	
۱۷	۴	۹	۴	تعداد	۲۲۰ وات $\times 1$ متر بر ثانیه
۹۶/۵	۱۳/۱	۸۲/۷	۰/۷	درصد	
۱۷	۴	۹	۴	تعداد	۲۲۰ وات $\times 1/5$ متر بر ثانیه
۹۵/۸	۱۶/۶	۷۷/۴	۱/۸	درصد	

## بحث

قرمز در سال‌های اخیر در حال گسترش است و دلایلی مانند سرعت خشک کردن بالا، کیفیت مطلوب محصولات خشک شده، مصرف انرژی پایین و همچنین هزینه ساخت بسیار کمتر از خشک‌کن‌های میکروویو و تحت خلأ سبب این رویکرد شده است (Ebadi et al., 2016).

در این تحقیق مشاهده شد که با افزایش شدت تابش مادون قرمز و کاهش سرعت جریان هوا، زمان خشک شدن کاهش یافت، به گونه‌ای که کمترین زمان خشک شدن مربوط به تیمار شدت تابش ۲۲۰ وات به همراه سرعت

حفظ خصوصیات کیفی گیاهان دارویی در مرحله پس از برداشت یکی از دغدغه‌های اصلی صنایع تولید و فرآوری گیاهان دارویی است (Ebadi et al., 2015). خشک کردن به‌عنوان یکی از مهمترین پس از برداشت نقش بسزایی در کیفیت گیاهان دارویی و معطر دارد و انتخاب روش مناسب خشک کردن با توجه به خصوصیات رنگ، ترکیب‌های ارزشمند دارویی، مصرف انرژی و ... باید انجام شود (Hasani et al., 2019). استفاده از خشک‌کن‌های مادون

زیستی بر گیاهان اسانس دار تبعیت می‌نماید. افزایش شدت تابش مادون قرمز باعث کاهش مقدار اسانس گردید که احتمالاً به دلیل افزایش دمای نمونه‌ها و تسریع در تبخیر اسانس از گلچه‌های لوله‌ای بوده است. نتایج مشابهی توسط سایر محققان در رابطه با تأثیر مثبت شدت‌های پایین تابش مادون قرمز بر میزان اسانس گیاهان دارویی گزارش شده است (Pääkkönen et al.; Hamrouni Sellami et al., 2011). البته برخی از محققان نتایج مثبتی را در استفاده از شدت‌های بالای تابش مادون قرمز بر میزان اسانس گیاهان دارویی گزارش نموده‌اند. به‌طور مثال Ebadi و همکاران (۲۰۱۶) در خشک کردن گیاه به‌لیمو به این نتیجه رسیدند که افزایش شدت تابش مادون قرمز در تمامی سرعت‌های جریان هوا سبب افزایش درصد اسانس شد (Ebadi et al., 2016). به‌علاوه اینکه مطالعه Pääkkönen و همکاران (۱۹۹۹) نشان داد که دو گونه نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) و جعفری (*Petroselinum crispum* L.) که توسط خشک‌کن مادون قرمز خشک شده بود در مقایسه با خشک‌کن هوای گرم دارای درصد اسانس بالاتر بوده و اجزای اصلی آنها بهتر حفظ گردیده بود. از این رو اینگونه به‌نظر می‌رسد که نوع گیاه دارویی، محل ذخیره‌سازی اسانس، نوع اجزای اسانس و عوامل دیگری از این قبیل سبب پاسخ متفاوت محصولات به شدت‌های مختلف تابش مادون قرمز در فرایند خشک کردن می‌شوند، بنابراین مطالعات اختصاصی برای هر گیاه دارویی مورد نیاز است.

در این مطالعه مقدار برخی از اجزای اصلی اسانس مانند ترانس-بتا-فارنزن، آلفا-بیسابولون اکسید A و کامازولن در شدت‌های مختلف تابش مادون قرمز دچار کاهش گردید ولی برخی دیگر مانند آلفا-بیسابولون اکسید B، آلفا-بیسابولون اکسید A و اسپیروتر افزایش یافت. مشاهدات مختلفی در رابطه با کاهش یا افزایش ترکیب‌های اسانس در اثر گرم شدن نمونه‌های گیاهی در طی فرایند خشک شدن گزارش شده است. به‌عنوان مثال Rushing و همکاران (۲۰۰۳) بیان کردند که با افزایش درجه حرارت در فرایند

جریان هوا ۰/۵ متر بر ثانیه بود، هرچند با تیمارهای دیگر اختلاف معنی‌داری نداشت. با افزایش شدت مادون قرمز دمای نمونه‌ها بالا رفته، در نتیجه رطوبت با سرعت بیشتری از محصول خارج می‌شود (Mohajeran et al., 2006); در مورد طولانی‌تر شدن زمان خشک شدن با افزایش سرعت جریان هوا، احتمالاً این پدیده ناشی از خنک‌سازی سطح نمونه به‌دلیل جریان هوای عبوری است، به‌طوری که با افزایش سرعت جریان هوا دمای نمونه‌ها کاهش یافته، در نتیجه سرعت تبخیر رطوبت کمتر شده و طولانی شدن زمان خشک شدن را در پی داشته است (Ebadi et al., 2011; Sharma et al., 2004). کاهش زمان خشک کردن محصولات گیاهی در کاهش هزینه‌های مربوط به مصرف انرژی برای خشک کردن اهمیت زیادی دارد (Motevali et al., 2011); از این جهت کاربرد خشک‌کن‌های مادون قرمز می‌تواند در کاهش هزینه‌های فرایند تولید گیاه دارویی با بونه آلمانی مؤثر باشد. نتایج این تحقیق مبنی بر کاهش زمان خشک شدن در اثر کاهش سرعت جریان هوا و افزایش شدت مادون قرمز با نتایج سایر محققان در رابطه با خشک کردن انواع محصولات کشاورزی مطابقت داشت (Kocabiyyik & Tezer, 2009); (Ebadi et al., 2011; Amirnejat et al., 2011).

همان‌گونه که مشاهده شد، بیشترین مقدار اسانس (۲۳٪) در تیمار شدت تابش ۱۲۵ وات به‌همراه سرعت جریان هوا ۰/۵ متر بر ثانیه که کمترین شدت مادون قرمز و سرعت جریان هوا را داشت، بدست آمد و در تیمارهایی که با همان شدت مادون قرمز بود و فقط سرعت جریان هوا به ۱ و ۱/۵ متر بر ثانیه تغییر کرده بود اختلاف معنی‌داری با نمونه شاهد وجود نداشت اما در تیمارهای بعدی مقدار اسانس نسبت به نمونه شاهد کاهش معنی‌داری نشان داد. احتمالاً دلیل افزایش میزان اسانس نسبت به شاهد در اثر شدت پایین تابش مادون قرمز، تأثیر مثبت آن بر بیوسنتز اسانس در گل‌های در حال خشک شدن که هنوز زنده هستند، می‌باشد که از سازوکار مشابه با تأثیر تنش‌های

Kocabiyik و همکاران (۲۰۱۵) و نیز Kantrong و همکاران (۲۰۱۴) گزارش شده است. در پایان نتایج این آزمایش نشان داد که تیمار استفاده از شدت تابش ۱۲۵ وات مادون قرمز همراه با سرعت جریان هوای ۰/۵ متر بر ثانیه به دلیل زمان خشک کردن کوتاه، حفظ مشخصه‌های رنگ و مقدار مطلوب درصد و اجزای اصلی اسانس می‌تواند روش مناسبی برای خشک کردن گل‌های بابونه باشد.

### منابع مورد استفاده

- Amirnejat, H., Khoshtaghaza, M.H. and Pahlavanzadeh, H., 2011. A determination of thin layer drying kinetics of button mushroom when dried through an infrared applied drying method. *Iranian Journal of Biosystems Engineering (Iranian Journal of Agricultural Sciences)*, 42(1): 53-61.
- Asekun, O.T., Grierson, D.S. and Afolayan, A.J., 2007. Effects of drying methods on the quality and quantity of the essential oil of *Mentha longifolia* L. subsp. *capensis*. *Food Chemistry*, 101: 995-998.
- Askari, G.R., Emam-Djomeh, Z. and Mousavi, S.M., 2009. An investigation of the effects of drying methods and conditions on drying characteristics and quality attributes of agricultural products during hot air and hot air/microwave-assisted dehydration. *Drying Technology*, 27(7-8): 831-841.
- Dadali, G., Demirhan, E. and Özbek, B., 2007. Color change kinetics of spinach undergoing microwave drying. *Drying Technology*, 25: 1713-1723.
- Ebadi, M.T., Azizi, M., Sefidkon, F. and Ahmadi, N., 2015. Influence of different drying methods on drying period, essential oil content and composition of *Lippia citriodora* Kunth. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 2(4): 182-187.
- Ebadi, M.T., 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 Research*, 32(1): 161-173.
- Franke, R. and Schilcher, H., 2005. *Chamomile Industrial Profiles*. CRC Press, 304p.
- Ghasemi Pirbalouti, A., Oraie, M., Pouriamehr, M. and Babadi, E.S., 2013. Effects of drying methods on qualitative and quantitative of the essential oil of Bakhtiari savory (*Satureja bachtiarica* Bunge.). *Industrial Crops and Products*, 46: 324-327.

خشک کردن میزان پاروتنوئید بابونه گاوی کاهش یافت و Asekun و همکاران (۲۰۰۷) کاهش میزان منتون، ۸،۱-سینئول و پولگون گیاه پونه را در شرایط افزایش درجه حرارت طی فرایند خشک کردن به این عامل نسبت دادند (Rushing et al., 2003؛ Asekun et al., 2007). در مقابل، Ghasemi Pirbalouti و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که درصد ترکیب بتا-کاریوفیلین مربوط به اسانس گیاه *Satureja bachtiarica* Bunge در دماهای بالا طی فرایند خشک کردن نسبت به نمونه سایه‌خشک افزایش یافت. همچنین در مطالعه Hamrouni Sellami و همکاران (۲۰۱۱) مقدار ترکیب‌های thymol و cinnamyl alcohol در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به شاهد افزایش قابل توجهی نشان داد (Hamrouni Sellami et al., 2011). در بیان دلیل این مشاهدات مختلف می‌توان بیان نمود که تغییرات اجزای اسانس طی فرایند خشک شدن به میزان فراریت آنها و همچنین ساختارهای ذخیره‌سازی اسانس در گیاه مرتبط است. در طی فرایند خشک کردن، محتوای رطوبتی اندام‌های مختلف به سطح آنها حرکت کرده، از این رو امکان دارد ترکیب‌های فرار همراه با مولکول‌های آب از سطح اندام تبخیر شوند و به دلیل از دست رفتن بخشی از این ترکیب‌ها، کیفیت محصول افت نماید. به علاوه، این امر با افزایش درجه حرارت خشک کردن نمونه‌ها تشدید می‌شود (Asekun et al., 2007).

نتایج این تحقیق نشان داد که شدت تابش‌های پایین و متوسط مادون قرمز توانستند محصولی با رنگ زرد مطلوب‌تر و میزان قهوه‌ای شدن کمتر حاصل نمایند و افزایش سرعت جریان هوا نیز در این شدت‌های تابش سبب بهبود نسبی کیفیت رنگ گل‌های بابونه شد. تابش مادون قرمز با کاهش زمان خشک کردن و محدود کردن زمان فعل‌وانفعالات آنزیمی قهوه‌ای شدن می‌تواند سبب حفظ خصوصیات رنگ در گیاهان دارویی گردد و سرعت جریان هوای مطلوب نیز با تأثیر مثبت بر کاهش زمان خشک کردن، در کیفیت رنگ محصولات کشاورزی تأثیرگذار است (Ebadi et al., 2016). همچنین نتایج مشابهی توسط

- different methods for drying mushroom slices. *Energy*, 36(11): 6433-6441.
- Mujumdar, A.S., 2006. *Handbook of Industrial Drying*. CRC Press, USA, 1312p.
  - Omidbaigi, R., 2006. *Production and Processing of Medicinal Plants (Vol. 3)*. Behnashr publishers, Mashhad, 397p.
  - Omidbaigi, R., Sefidkon, F. and Kazemi, F., 2004. Influence of drying methods on the essential oil content and composition of Roman chamomile. *Flavour and Fragrance Journal*, 19(3): 196-198.
  - Pääkkönen, K., Havento, J. and Galambosi, B., 1999. Infrared drying of herbs (Research Note). *Agricultural and Food Science*, 8(1): 19-27.
  - Pääkkönen, K., Malmsten, T. and Hyvönen, L., 1989. Effects of drying method, packaging, and storage temperature and time on the quality of dill (*Anethum graveolens* L.). *Journal of Food Science*, 54(6): 1485-1487.
  - Rushing, J.W., Dufault, R.J. and Hassell, R.L., 2003. Drying temperature and developmental stage harvest influence the parthenolid content of fever few leaves and stems. *Acta Horticulture*, 629:167-173.
  - Schilcher, H., 1987. *Die Kamille*. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH. Stuttgart, Germany, 151p.
  - Sellami, I.H., Wannas, W.A., Bettaieb, I., Berrima, S., Chahed, T., Marzouk, B. and 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(2): 691-697.
  - Sharma, G.P., Verma, R.C. and Pathare, P.B., 2004. Thin-layer infrared radiation drying of onion slices. *Journal of Food Engineering*, 67(3): 361-366.
  - Soysal, Y. and Öztekin, S., 2001. PH-Postharvest Technology: technical and economic performance of a tray dryer for medicinal and aromatic plants. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 79(1): 73-79.
  - Guine, R.P.F. and Fernandes, R.M.C., 2006. Analysis of the drying kinetics of chestnuts. *Journal of Food Engineering*, 76: 460-467.
  - Hamrouni Sellami, I., Wannas, W.A., Bettaieb, I., Berrima, S., Chahed, T., Marzouk, B. and 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(2): 691-697.
  - Hasani, A., Khoshtaghaza, M. and Ebadi, M.T., 2019. Effect of different drying methods (microwave drying, shade and sun drying) on the quality of sumac fruit (*Rhus coriaria* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 36(1): 142-154.
  - Kantrong, H., Tansakul, A. and Mittal, G.S., 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(12): 3594-3608.
  - Kocabiyik, H. and Tezer, D., 2009. Drying of carrot slices using infrared radiation. *International Journal of Food Science and Technology*, 44(5): 953-959.
  - Kocabiyik, H., Yilmaz, N., Tuncel, N.B., Sumer, S.K. and Buyukcan, M.B., 2015. Drying, energy, and some physical and nutritional quality properties of tomatoes dried with short-infrared radiation. *Food and Bioprocess Technology*, 8(3): 516-525.
  - Maskan, M., 2001. Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48: 169-175.
  - Mohajeran, S., Koush Taghaza, M.H. and Moazami Goudarzi, A., 2006. Effect of rough rice temperature and air velocity on grain crack during infrared radiation drying. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 3(2): 57-65.
  - Motevali, A., Minaei, S., Khoshtaghaza, M.H. and Amirnejat, H., 2011. Comparison of energy consumption and specific energy requirements of

## Effects of infrared drying and air flow rate on qualitative parameters of *Matricaria chamomilla* L.

A. Mahmoudi<sup>1</sup>, M. Karami<sup>1</sup>, M.T. Ebadi<sup>2\*</sup> and M. Ayyari<sup>3</sup>

1- M.Sc. student, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

2\*- Corresponding author, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

E-mail: mt.ebadi@modares.ac.ir

3- Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received: January 2020

Revised: May 2020

Accepted: July 2020

### Abstract

To evaluate the effect of infrared drying on color parameters, essential oil content and composition of German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.), three different infrared intensities (125, 132, and 220 W) with three airflow velocities (0.5, 1.0, and 1.5 m.s<sup>-1</sup>) on a total of nine treatments were examined in a completely randomized design, and the shade-dried plants were considered as a control treatment. The results indicated that the treatments had significant effects on drying time, color parameters, and essential oil content. The control (shade drying) and the 220 W radiation intensity with 0.5 m.s<sup>-1</sup> air velocity treatments had the highest (2367 min) and lowest (83 min) drying time, respectively. With increasing infrared intensity, the main color parameters such as L, a, b, ΔE (total color changes) and BI (browning index) changed significantly, compared to the control; however, increasing the airflow rate caused less variation of the mentioned parameters in all levels of infrared radiation intensity than the control. The highest essential oil content (0.23% w/w) was obtained at 125 W radiation intensity with 0.5 m.s<sup>-1</sup> air velocity and the lowest (0.12% w/w) was observed at the 220 W radiation intensity with 0.5 and 1 m.s<sup>-1</sup> air velocity treatments. Essential oil analysis showed that the highest amount of α-bisabolol-oxide A (60.6%), (Z)-spiroether (16.5%), and chamazulene (4.6%) belonged to 132 W radiation intensity with 0.5 m.s<sup>-1</sup> air velocity, 220 W radiation intensity with 0.5 m.s<sup>-1</sup> air velocity, and control treatments, respectively. In general, the results of this experiment showed that due to the decreased duration of drying time, color preservation and desired essential oil content and composition, the 125 W radiation intensity with 0.5 m.s<sup>-1</sup> air velocity treatment could be a suitable method for chamomile flowers drying.

**Keywords:** *Matricaria chamomilla* L., α-bisabolol oxide, essential oil, drying, color.