

ارزیابی خصوصیات کیفی گیاه دارویی زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) در خشک کردن با تابش مادون قرمز

فرزانه جنگی^۱، محمدتقی عبادی^{۲*} و مهدی عیاری^۳

۱- دانش آموخته 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 پذیرش: شهریور ۱۳۹۸

تاریخ اصلاح نهایی: شهریور ۱۳۹۸

تاریخ دریافت: فروردین ۱۳۹۸

چکیده

به منظور بررسی تأثیر شدت تابش مادون قرمز و سرعت جریان هوا بر برخی از خصوصیات کیفی گیاه دارویی زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) در طی فرایند خشک کردن، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. شدت تابش مادون قرمز در سه سطح ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۵ وات بر سانتی متر مربع و سرعت جریان هوا در سه سطح ۰/۵، ۱ و ۱/۵ متر بر ثانیه در این آزمایش مورد بررسی قرار گرفتند و صفاتی همانند ویژگی های رنگ، محتوی و ترکیب اسانس ارزیابی شد. نتایج نشان دهنده تأثیر معنی دار تیمارها بر تمامی صفات مورد مطالعه بود. در شدت تابش ۰/۳ وات بر سانتی متر مربع، با افزایش سرعت جریان هوا بسیاری از شاخص های مطلوب رنگ همانند شاخص روشنایی (L*)، سبزی (a*) و خلوص رنگ (کروما) افزایش معنی داری یافت و به طور کلی رنگ نمونه ها در شدت تابش های پایین بهتر حفظ گردید. محتوای اسانس نمونه های خشک شده در شدت تابش های ۰/۲ و ۰/۳ وات بر سانتی متر مربع به طور متوسط حدود ۰/۲٪ بیشتر از شدت تابش ۰/۵ وات بر سانتی متر مربع بود. افزایش سرعت جریان هوا در شدت تابش های پایین باعث کاهش درصد اسانس شد ولی در شدت تابش ۰/۵ وات بر سانتی متر مربع با افزایش سرعت جریان باد، میزان اسانس ۰/۱۷٪ افزایش یافت. میزان ترکیب سیس-پینوکامفن در اسانس نمونه های تیمار شده با شدت های پایین تابش مادون قرمز بیشتر از تیمارهای دارای شدت بالای این پرتو بود، به طوری که میزان این ترکیب در شدت تابش ۰/۲ وات بر سانتی متر مربع، ۳/۵٪ تا ۱۸/۹٪ بیشتر از ۰/۵ وات بر سانتی متر مربع بود. به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که بهره گیری از شدت تابش های پایین پرتو مادون قرمز در فرایند خشک کردن زوفا، ضمن حفظ خصوصیات رنگ برگ ها، می تواند سبب حفظ محتوای اسانس و اجزای اصلی آن گردد.

واژه های کلیدی: زوفا (*Hyssopus officinalis* L.)، خشک کن مادون قرمز، رنگ، اسانس، سیس-پینوکامفن.

مقدمه

میوه‌ها کاربرد زیادی دارند (Adak et al., 2017). این روش در ترکیب با دیگر روش‌های خشک کردن استفاده می‌شود، زیرا باعث افزایش کارایی خشک کردن می‌گردد (Mohajeran et al., 2006). مطالعات متعددی در مورد تأثیر روش خشک کردن مادون قرمز بر مواد مؤثره گیاهان دارویی وجود دارد که بیانگر تأثیر معنی دار این روش بر خصوصیات کیفی گیاهان می‌باشد. به عنوان مثال Pääkkönen و همکاران (۱۹۹۹) گزارش نمودند که نمونه‌های نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) و جعفری (*Petroselinum crispum* L.) خشک شده به وسیله خشک‌کن مادون قرمز در مقایسه با خشک‌کن هوای گرم دارای درصد اسانس بالاتری بودند و اجزای اصلی آنها بهتر حفظ شده بود. Hamrouni Sellami و همکاران (۲۰۱۱) مشاهده کردند که نمونه‌های برگ‌بو (*Laurus nobilis* L.) خشک شده توسط تابش مادون قرمز در مقایسه با نمونه‌های خشک شده توسط آون و مایکروویو درصد اسانس بالاتری داشتند و بیشترین میزان ترکیب ۸،۱-سینئول نیز در این روش محاسبه گردید. افزایش شدت تابش مادون قرمز در تمامی سرعت‌های جریان هوای خشک‌کن تأثیر مثبتی بر میزان اسانس برگ‌های به‌لیمو (*Lippia citriodora* Kunth.) داشت و سبب کاهش زمان خشک شدن گردید (Ebadi et al., 2016b). با توجه به اینکه عمده تحقیقات انجام شده در رابطه با تأثیر روش‌های خشک کردن بر مواد مؤثره گیاه دارویی زوفا از روش‌های متداول و سنتی خشک کردن استفاده نموده بودند و گزارشی در مورد تأثیر خشک کردن با استفاده از تابش مادون قرمز بر خصوصیات کیفی این گیاه وجود نداشت، این آزمایش اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر سرعت جریان هوا و شدت تابش مادون قرمز بر زمان خشک کردن، مؤلفه‌های رنگ، میزان و اجزای اسانس گیاه دارویی زوفا، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو

گیاهان دارویی امروزه کاربردهای گسترده‌ای در صنایع مختلف دارند، تولید و فرآوری آنها نیازمند بهره‌گیری از روش‌های علمی و جدید برای دستیابی به محصول با کمیت و کیفیت بالاست (Ebadi et al., 2016a). زوفا با نام علمی *Hyssopus officinalis* L. و نام انگلیسی Hyssop گیاهی چندساله است و به خانواده نعناعیان تعلق دارد (Mozaffarian, 2013). اسانس زوفا به طور گسترده در صنایع آرایشی و بهداشتی، غذایی (برای بهبود عطر و خواص ارگانولپتیک انواع غذاها و محصولات خانگی و همچنین به عنوان افزودنی در نوشیدنی‌ها) و دارویی (عمدتاً برای درمان بیماری‌های تنفسی) مورد استفاده قرار می‌گیرد (De Martino et al., 2009).

خشک کردن بر مواد مؤثره گیاهان دارویی تأثیر قابل توجهی دارد و این تأثیر بر اساس دمای خشک کردن، طول مدت خشک کردن و گونه گیاهی متفاوت است (Ebadi et al., 2016b; Rahmati et al., 2010). تحقیقات نشان می‌دهند که برای هر گونه گیاهی معطر، روش خشک کردن مناسب و خاصی لازم است که مناسب بودن هم از لحاظ حفظ میزان اسانس و هم از منظر اجزای اسانس تعریف می‌شود (Azizi et al., 2009). خشک کردن سنتی یا طبیعی (سایه و آفتاب) معایب زیادی دارد، به عنوان مثال ناتوانی در مدیریت حجم بالای گیاهان دارویی برداشت شده یا عدم موفقیت در رسیدن به استانداردهای کیفی گیاهان دارویی را می‌توان نام برد (Rahmati et al., 2010). استفاده از خشک‌کن‌های مادون قرمز 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 (Ebadi et al., 2016b).

این خشک‌کن‌ها می‌توانند نسبت به خشک‌کن‌های هوای گرم در حدود ۲۰٪ در مدت زمان خشک شدن صرفه‌جویی کنند و امروزه برای خشک کردن قطعات

به وسیله دستگاه کلونجر و به روش تقطیر با آب به مدت ۳ ساعت مورد اسانس گیری قرار گرفت. برای تجزیه نمونه های اسانس و اندازه گیری ترکیب های موجود، از دستگاه کروماتوگرافی گازی (GC) و کروماتوگرافی متصل به طیف سنج جرمی (GC/MS) استفاده شد.

دستگاه کروماتوگراف گازی مدل 7890B ساخت شرکت Agilent و مجهز به آشکارساز FID بود. طول ستون HP-5، ۳۰ متر و قطر داخلی ستون ۰/۳۲ میلی متر و ضخامت لایه فاز ساکن ۰/۲۵ میکرومتر بوده و برنامه ریزی حرارتی از ۶۰ تا ۲۸۰ درجه سانتی گراد با سرعت افزایش ۵ درجه سانتی گراد در دقیقه انجام شد. دمای قسمت تزریق برابر ۲۵۰ درجه سانتی گراد و دمای آشکارساز برابر ۲۸۰ درجه سانتی گراد بود. گاز حامل هلیوم با سرعت جریان ۱/۱ میلی لیتر بر دقیقه به عنوان فاز متحرک مورد استفاده قرار گرفت.

دستگاه کروماتوگراف گازی مدل TRACE MS ساخت شرکت Termoquest-Finnigan متصل شده به دستگاه طیف سنج جرمی Quadrupole و ستون HP-5MS با طول ۳۰ متر و قطر داخلی ۰/۲۵ میلی متر و ضخامت فاز ساکن ۰/۲۵ میکرومتر بود. انرژی یونیزاسیون برابر ۷۰ الکترون ولت بود. برنامه ریزی حرارتی، نوع و سرعت گاز حامل و دمای محفظه تزریق مانند دستگاه GC تنظیم گردید. شناسایی ترکیب های اسانس با مقایسه طیف جرمی هر پیک با ترکیب های استاندارد در کتابخانه دستگاه (Wiley, Adams, Main و library) و همچنین محاسبه شاخص بازداری و مطابقت هر ترکیب با منابع از طریق تزریق هیدروکربن های نرمال (C₈-C₂₄) در شرایط یکسان بدست آمد.

رنگ یک عامل مهم در کشاورزی و صنایع غذایی و اولین عامل مهم مورد توجه خریدار در هنگام خرید محصول می باشد (Arabhosseini et al., 2011). شاخص L، شاخص درخشندگی یا درجه شفافیت رنگ است که دامنه آن از L=0 (تاریکی) تا L=100 (روشنی) است. کاهش شاخص L به معنی تیره بودن رنگ نمونه ها

فاکتور و سه تکرار در آزمایشگاه های تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس در سال ۱۳۹۶ اجرا شد. عامل اول، سرعت جریان هوا در سه سطح ۰/۵، ۱ و ۱/۵ متر بر ثانیه و عامل دوم، شدت تابش مادون قرمز با سطوح ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۵ وات بر سانتی متر مربع بود. بذره های زوفا تهیه شده از شرکت پاکان بذر اصفهان در قطعه زمینی با فواصل ۵۰ سانتی متر کشت گردید و شرایط آبیاری و کوددهی در طول رشد به طور یکسان اعمال شد و در سال اول رویش، نمونه های گیاهی از اندام های هوایی رشد کرده در مرحله گلدهی (۸۰٪ گلدهی) از ارتفاع ۱۰ سانتی متری سطح خاک برداشت و به آزمایشگاه منتقل شدند. برای تعیین میزان رطوبت اولیه محصول، سه نمونه ۵۰ گرمی در یک آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد به مدت ۳ ساعت خشک شد. سپس خشک کردن نمونه های برداشت شده توسط خشک کن مادون قرمز آزمایشگاهی در ۳ سطح تابش ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۵ وات بر سانتی متر مربع که حدود دمای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی گراد را در سطح نمونه ها ایجاد می کرد، همراه با ۳ میزان سرعت جریان هوای ۰/۵، ۱ و ۱/۵ متر بر ثانیه انجام شد. دما و رطوبت نسبی محیط اطراف خشک کن در طول مدت آزمایش به ترتیب 28 ± 3 درجه سانتی گراد و 25 ± 5 ٪ بود و برای رسیدن به شرایط پایدار دما و سرعت هوا، دستگاه پس از ۱۰ دقیقه کار کردن مورد استفاده قرار می گرفت. نمونه های ۱۰۰ گرمی زوفا برای شروع آزمایش روی بستر خشک کن به طور یکنواخت به منظور جذب یکسان تابش مادون قرمز قرار داده شدند و وزن نهایی آنها تا دو رقم اعشار در هر ۵ دقیقه توسط ترازوی دقیق آزمایشگاهی اندازه گیری شد. خشک کردن نمونه ها تا زمانی که وزن آنها در ۳ بار وزن کردن متوالی تغییر نکند، ادامه یافت و برای تحلیل و مقایسه اثرهای تیمارهای خشک کردن بر زمان خشک کردن، رسیدن محصول به رطوبتی برابر ۰/۱۰ بر پایه وزن خشک (یا ۱۰٪ بر پایه وزن تر) مورد توجه قرار گرفت. برای تعیین میزان اسانس، مقدار ۲۰ گرم شاخساره هوایی

می باشد. شاخص +a نشان دهنده سرخی افزایشی و -a نشان دهنده سبزی افزایشی است و هرچه این شاخص منفی تر باشد، بهتر است. شاخص +b نشانگر زردی افزایشی و -b نشانگر آبی افزایشی می باشد (Roozdar *et al.*, 2014). شاخص کروما یا خلوص رنگ محصول (C) بیانگر نزدیکی رنگ به اصل آن می باشد. شاخص قهوه‌ای شدن (BI) نشان دهنده تغییر رنگ محصول و گرایش آن به تیرگی است (Chisari *et al.*, 2007). رنگ نمونه‌ها توسط دستگاه رنگ‌سنج (هانترلاب (Hunterlab))

شده. شاخص رنگ توسط فاکتورهای L (شاخص روشنی - تیرگی رنگ)، a (شاخص قرمزی - سبزی) و b (شاخص زردی - آبی) بیان می‌شود. برای توصیف تغییرات رنگ پس از خشک کردن از شاخص‌های خلوص رنگ محصول یا کروما (C) و شاخص قهوه‌ای شدن (BI) (Browning Index) که مطابق رابطه‌های ۱ و ۲ تعیین می‌شوند، استفاده شد (Zakipour-Molkabadi *et al.*, 2011; Tahmasebi-Pour *et al.*, 2015):

$$C = (a^2 + b^2)^{1/2} \quad \text{رابطه ۱}$$

$$BI = [100 (X - 3.01)] / 0.17, X = (a + 1.75 L) / (5.645 L + a - 3.012 b) \quad \text{رابطه ۲}$$

نتایج

همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، اثر شدت تابش مادون قرمز، سرعت جریان هوا و اثر متقابل آنها بر تمامی صفات معنی دار بود و تنها تأثیر مستقیم شدت تابش مادون قرمز بر درصد اسانس نمونه‌ها معنی دار نبود.

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۲) استفاده شد و برای ترسیم نمودارها از نرم‌افزار Excel 2016 استفاده گردید. مقایسه میانگین‌های بدست آمده توسط روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵٪ و ۱٪ انجام شد.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر شدت تابش مادون قرمز و سرعت جریان هوا بر برخی صفات کیفی گیاه دارویی زوفا

| منابع تغییرات | درجه آزادی (df) | درصد اسانس (%) | شاخص روشنی - تیرگی (L) | شاخص قرمزی-سبزی (a) | شاخص زردی-آبی (b) | شاخص خلوص رنگ (C) | منابع تغییرات |
|-------------------------|-----------------|----------------|------------------------|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|
| شدت تابش مادون قرمز (I) | ۲ | ۰/۱۶ns | ۱/۳۱** | ۰/۰۱** | ۰/۸۵** | ۱۸۷/۲۸** | شدت تابش مادون قرمز (I) |
| سرعت جریان هوا (S) | ۲ | ۰/۰۷* | ۰/۰۹** | ۰/۶۱** | ۰/۷۰** | ۱۵۸/۰۶** | سرعت جریان هوا (S) |
| اثر متقابل (I×S) | ۴ | ۰/۰۵* | ۲/۰۱** | ۰/۰۷** | ۲/۱۳** | ۴۴۲/۸۰** | اثر متقابل (I×S) |
| خطا | ۱۸ | ۰/۰۵ | ۰/۰۱ | ۰/۰۱ | ۰/۰۱ | ۰/۰۸ | خطا |

ns: عدم وجود اختلاف معنی دار؛ *، **، به ترتیب معنی دار در سطح ۵٪ و ۱٪؛ ns: عدم وجود اختلاف معنی دار

مؤلفه‌های رنگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که شدت تابش، سرعت جریان هوا و اثر متقابل آنها بر تمام مؤلفه‌های رنگ تأثیر معنی‌داری داشت ($P < 0/01$).

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، در شدت تابش ۰/۳ وات بر سانتی‌متر مربع، با افزایش سرعت جریان هوا شاخص L افزایش یافت. بیشترین میزان این شاخص (۳۶/۷۹) در بین تیمارها، در تیمار شدت تابش ۰/۳ وات بر سانتی‌متر مربع به همراه سرعت جریان هوای ۱/۵ متر بر ثانیه مشاهده گردید که البته با بسیاری از تیمارها بجز شدت تابش ۰/۵ وات بر سانتی‌متر مربع به همراه سرعت جریان هوای ۱/۵ متر بر ثانیه تفاوت معنی‌داری نداشت. با افزایش مقدار تابش به ۰/۵ وات بر سانتی‌متر مربع و سرعت جریان هوا از ۰/۵ به ۱/۵ متر بر ثانیه، این صفت کاهش پیدا کرد. بیشترین و کمترین میزان شاخص a (-۰/۸۸ و -۰/۱۲) به ترتیب در نمونه شدت تابش ۰/۳ وات بر سانتی‌متر مربع به همراه سرعت جریان هوای ۱/۵ متر بر ثانیه و ۰/۳ وات بر سانتی‌متر مربع به همراه سرعت جریان هوای ۰/۵ متر بر ثانیه حاصل شد (شکل ۱). تیمار شدت تابش ۰/۵ وات بر سانتی‌متر مربع به همراه سرعت جریان هوای ۱/۵ متر بر ثانیه نیز از لحاظ شاخص قرمزی-سبزی (-۰/۶۵) دارای جایگاه خوبی در بین تیمارها بود. بیشترین میزان شاخص b (۱۵/۵۳) در تیمار شدت تابش ۰/۳ وات بر سانتی‌متر مربع به همراه سرعت جریان هوای ۱/۵ متر بر ثانیه و کمترین مقدار آن (۱۳/۳۷) در تیمار شدت تابش ۰/۵ وات بر سانتی‌متر مربع به همراه سرعت جریان هوای ۰/۵ متر بر ثانیه بود (شکل ۱).

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، بیشترین کمترین مقدار خلوص رنگ محصول (۱۲۰/۹۷ و ۸۹/۳۸) به ترتیب در تیمار ۰/۳ وات بر سانتی‌متر مربع

به همراه سرعت جریان هوای ۱/۵ متر بر ثانیه و ۰/۳ وات بر سانتی‌متر مربع به همراه سرعت جریان ۰/۵ متر بر ثانیه مشاهده شد. با افزایش سرعت جریان هوا در شدت تابش ۰/۳ وات بر سانتی‌متر مربع، شاخص قهوه‌ای شدن افزایش یافت و در سرعت جریان هوای ۱/۵ متر بر ثانیه به بیشترین مقدار خود رسید (۵۱/۰۷)، ولی افزایش سرعت جریان هوا در شدت تابش ۰/۵ وات بر سانتی‌متر مربع سبب کاهش این شاخص گردید. به طوری که کمترین مقدار آن در بین تیمارها (۴۵/۵۴) مربوط به شدت تابش ۰/۵ وات بر سانتی‌متر مربع به همراه سرعت جریان هوای ۱ متر بر ثانیه بود (شکل ۱).

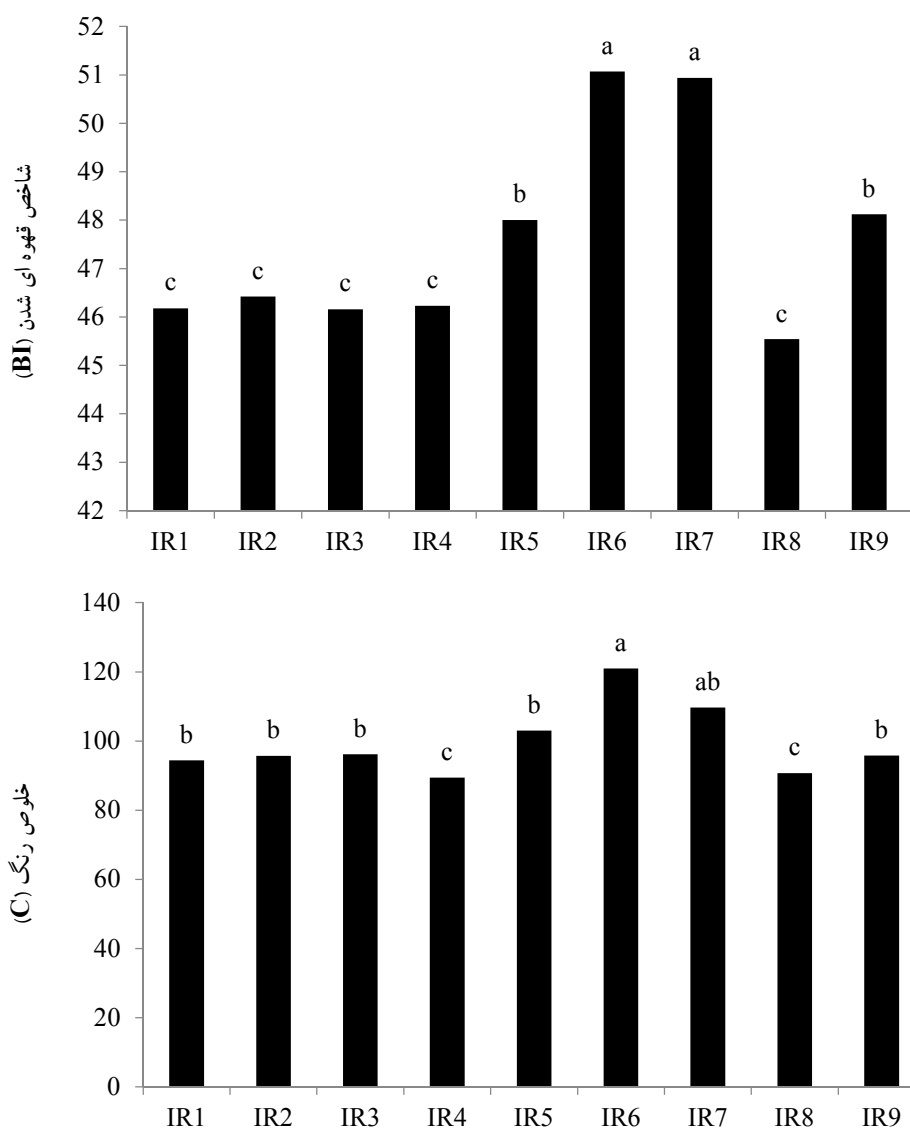
درصد اسانس

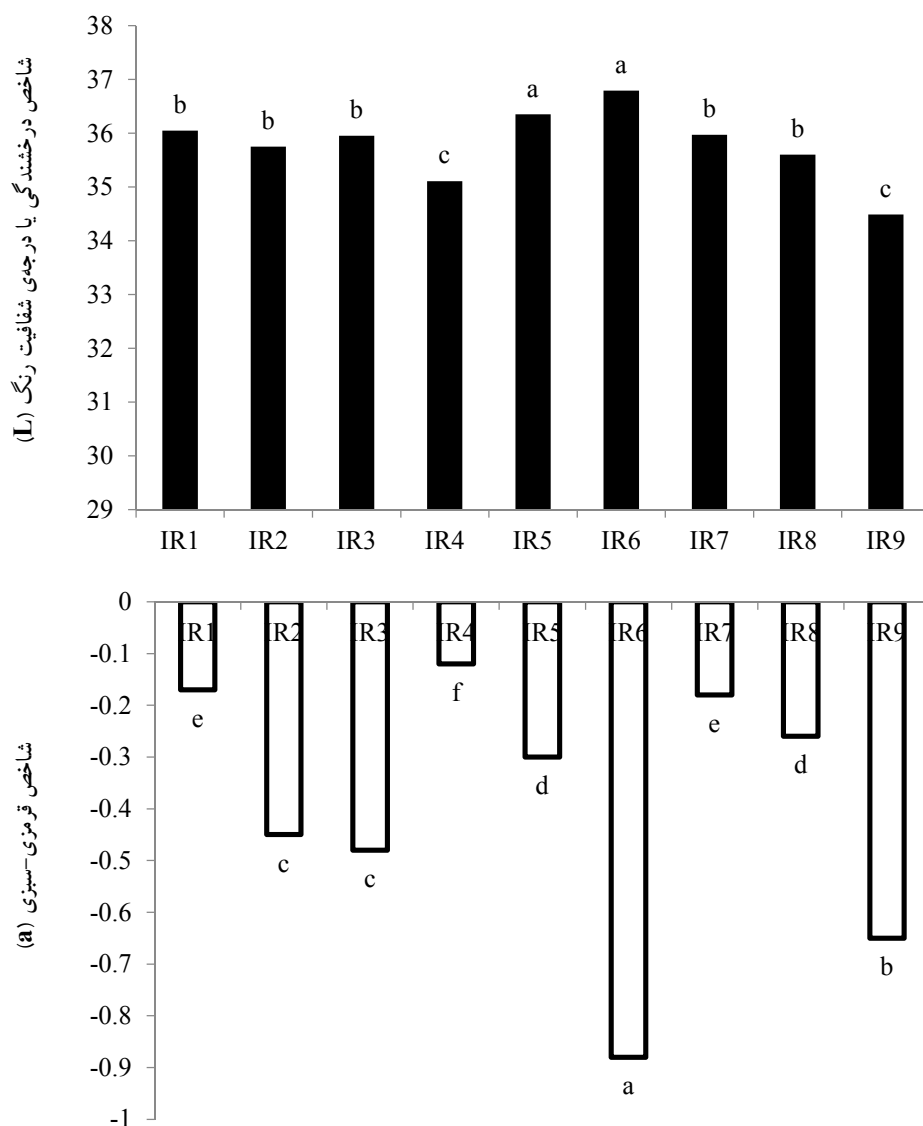
نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که سرعت جریان هوا و اثر متقابل شدت تابش مادون قرمز و سرعت جریان هوا بر درصد اسانس تأثیر معنی‌داری داشت ($P < 0/05$) ولی تأثیر تیمار شدت تابش مادون قرمز به تنهایی از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، بیشترین میزان اسانس (۰/۹۱٪) مربوط به تیمار شدت تابش ۰/۳ وات بر سانتی‌متر مربع همراه با سرعت جریان هوای ۰/۵ متر بر ثانیه و کمترین میزان (۰/۴۱٪) در تیمار شدت تابش ۰/۵ وات بر سانتی‌متر مربع همراه با سرعت جریان هوای ۰/۵ متر بر ثانیه مشاهده شد. با افزایش سرعت جریان هوا در شدت تابش‌های ۰/۲ و ۰/۳ وات بر سانتی‌متر مربع، میزان اسانس نمونه‌ها کاهش یافت که این روند نزولی از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. در شدت تابش ۰/۵ وات بر سانتی‌متر مربع، افزایش سرعت جریان هوا تأثیر مثبتی بر محتوای اسانس برگ‌های زوفا داشت ولی از لحاظ آماری معنی‌دار نبود.

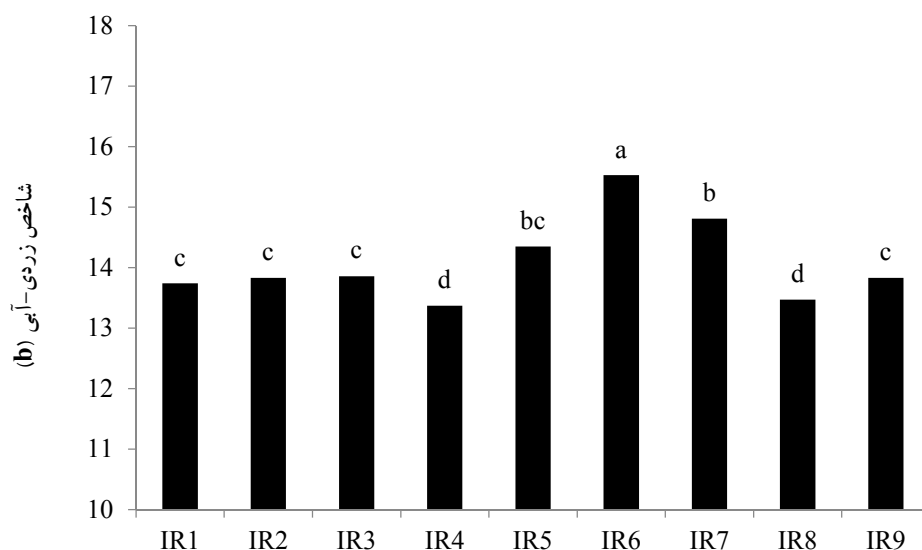
جدول ۲- تأثیر شدت تابش مادون قرمز به همراه سرعت جریان هوا بر درصد اسانس گیاه زوفا

| شدت تابش مادون قرمز (W/cm ²) | | | سرعت جریان هوا (m/s) |
|--|--------|--------|----------------------|
| ۰/۵ | ۰/۳ | ۰/۲ | |
| ۰/۴۱b | ۰/۹۱a | ۰/۶۶ab | ۰/۵ |
| ۰/۶۱ab | ۰/۸۳ab | ۰/۸۳ab | ۱ |
| ۰/۵۸ab | ۰/۶۶ab | ۰/۵ab | ۱/۵ |

حروف مشابه بیانگر عدم وجود اختلاف معنی دار براساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ است.







شکل ۱- تأثیر تیمارهای خشک کردن با تابش مادون قرمز بر مؤلفه‌های رنگ گیاه دارویی زوفا

IR1 تا IR3: خشک کردن با شدت تابش مادون قرمز $0.2 (W/cm^2)$ به همراه سرعت جریان هوا 1 و $1/5 (m/s)$. IR4 تا IR6: خشک کردن با شدت تابش مادون قرمز $0.3 (W/cm^2)$ به همراه سرعت جریان هوا 1 و $1/5 (m/s)$. IR7 تا IR9: خشک کردن با شدت تابش مادون قرمز $0.5 (W/cm^2)$ به همراه سرعت جریان هوا 1 و $1/5 (m/s)$.

اجزای اسانس

دارای شدت بالای این یرتو بود. به طوری که بین $3/5\%$ تا $18/9\%$ در تیمارهای شدت تابش 0.2 وات بر سانتی متر مربع نسبت به 0.5 وات بر سانتی متر مربع بیشتر بود، ولی اینچنین روندی در رابطه با ترکیب ترانس-پینوکامفن مشاهده نشد و میزان این ترکیب در تیمارهای شدت تابش 0.5 وات بر سانتی متر مربع نسبت به 0.2 وات بر سانتی متر مربع بیشتر بود. میزان ترکیب بتا-پینن در تیمار شدت تابش 0.2 وات بر سانتی متر مربع با افزایش سرعت جریان هوا کاهش یافت ($2/9\%$) ولی در تیمار شدت تابش 0.5 وات بر سانتی متر مربع، افزایش سرعت جریان هوا تأثیر مثبتی بر این ترکیب داشت و حدود $2/2\%$ بر مقدار این ترکیب افزود.

در این بخش اجزای اسانس در سطوح پایین و بالای شدت تابش مادون قرمز و سرعت جریان هوا مورد بررسی قرار گرفت و از بررسی سایر تیمارها صرف نظر گردید. همانطور که در جدول ۳ مشاهده می شود، ترکیب در اسانس این گیاه شناسایی گردید که در بین آنها سیس-پینوکامفن، ترانس-پینوکامفن و بتا-پینن اجزای اصلی اسانس بودند. همچنین مونوترپن های اکسیژن دار بیشترین بخش گروه های اجزای اسانس زوفا را تحت تیمارهای مختلف تشکیل دادند. به طور کلی میزان سیس-پینوکامفن در تیمارهای با شدت پایین تر تابش مادون قرمز بیشتر از تیمارهای

جدول ۳- تأثیر شدت تابش مادون قرمز به همراه سرعت جریان هوا بر اجزای اسانس زوفا

| شدت تابش مادون قرمز (W/cm ²) | | | | شاخص بازداری | نام ترکیب | ردیف |
|--|------|------|------|-----------------|------------------------------|------|
| ۰/۵ | ۰/۲ | ۰/۵ | ۰/۵ | | | |
| سرعت جریان هوا (m/s) | | | | | | |
| ۱/۵ | ۰/۵ | ۱/۵ | ۰/۵ | | | |
| ۱/۳ | ۰/۶ | ۰/۵ | ۱/۱ | ۹۷۲ | sabinene | ۱ |
| ۱۵/۹ | ۱۳/۷ | ۱۳/۱ | ۱۶/۰ | ۹۷۷ | β-pinene | ۲ |
| ۱/۴ | ۳/۱ | ۱/۶ | ۲/۵ | ۱۰۲۷ | sylvestrene | ۳ |
| ۲/۰ | ۰/۳ | ۱/۸ | ۲/۰ | ۱۰۶۷ | cis-sabinene hydrate | ۴ |
| ۱/۲ | ۰/۸ | ۰/۸ | ۰/۶ | ۱۱۰۰ | linalool | ۵ |
| ۱۷/۴ | ۷/۸ | ۹/۳ | ۷/۲ | ۱۱۶۶ | trans-pinocamphone | ۶ |
| ۴۸/۱ | ۶۱/۰ | ۶۷/۰ | ۵۷/۵ | ۱۱۸۵ | cis-pinocamphone | ۷ |
| ۱/۷ | ۱/۶ | ۱/۹ | ۱/۵ | ۱۲۰۳ | myrtenol | ۸ |
| ۰/۲ | ۰/۱ | ۰/۳ | ۰/۳ | ۱۲۵۴ | trans-2-hydroxy-pinocamphone | ۹ |
| ۰/۱ | - | ۰/۲ | ۰/۲ | ۱۳۸۴ | β-bourbonene | ۱۰ |
| ۰/۲ | ۰/۳ | ۰/۱ | ۰/۳ | ۱۴۱۹ | trans-caryophyllene | ۱۱ |
| ۰/۲ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۳ | ۱۴۶۰ | allo-aromadendrene | ۱۲ |
| - | ۰/۱ | - | ۰/۱ | ۱۴۹۶ | germacrene D | ۱۳ |
| ۰/۳ | ۰/۴ | ۰/۳ | ۰/۳ | ۱۵۵۲ | elemol | ۱۴ |
| ۰/۳ | ۰/۲ | ۰/۳ | ۰/۳ | ۱۵۸۱ | spathulenol | ۱۵ |
| - | - | ۰/۱ | ۰/۱ | ۱۵۸۵ | caryophyllene oxide | ۱۶ |
| ۱۸/۶ | ۱۷/۴ | ۱۵/۲ | ۱۹/۶ | | مونوترین های هیدروکربنی | |
| ۷۰/۶ | ۷۱/۶ | ۸۱/۱ | ۶۹/۱ | | مونوترین های اکسیژن دار | |
| ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۴ | ۰/۹ | | سزکوئی ترین های هیدروکربنی | |
| ۰/۶ | ۰/۶ | ۰/۷ | ۰/۷ | | سزکوئی ترین های اکسیژن دار | |
| ۹۰/۳ | ۹۰/۱ | ۹۷/۴ | ۹۰/۳ | | کل ترکیب های شناسایی شده | |

بحث

خصوصیات رنگ، ترکیب های ارزشمند غذایی یا دارویی، مصرف انرژی و ... اهمیت زیادی دارد (Adak et al., 2017). استفاده از خشک کن های مادون قرمز در سال های 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

حفظ خصوصیات کیفی گیاهان دارویی در مرحله پس از برداشت اهمیت بسزایی در چرخه تولید و فرآوری گیاهان دارویی دارد (Ebadi et al., 2017). خشک کردن یکی از قدیمی ترین روش های نگهداری محصولات کشاورزی می باشد و انتخاب روش مناسب خشک کردن با توجه به

مورد لیمویی (Buchailot *et al.*, 2009) شده است. البته نتایج متناقضی در خشک کردن برگ های نعناع به وسیله پرتو مادون قرمز مشاهده شده (Salarikia *et al.*, 2017) که احتمالاً به دلیل تفاوت در ساختار کرک های ترشخی و نحوه قرار گرفتن آنها در سطح برگ های نعناع و زوفا می باشد.

به طور کلی میزان سیس-پینوکامفن در تیمارهای با شدت پایین تر تابش مادون قرمز بیشتر از تیمارهای دارای شدت بالای این پرتو بودند و بیانگر نقش احتمالی تجزیه کنندگی شدت های بالای پرتو مادون قرمز است (Riadh *et al.*, 2015). افزایش سرعت جریان هوا در تیمار شدت پایین تابش مادون قرمز سبب کاهش مقدار ترکیب بتا-پینن شد ولی در تیمار شدت تابش بالا، تأثیر مثبتی بر این ترکیب داشت که احتمالاً افزایش سرعت جریان هوا به دلیل کوتاه نمودن مدت زمان خشک شدن در شدت تابش بالای پرتو مادون قرمز سبب این پدیده شده است (Ebadi *et al.*, 2016b; Motevali *et al.*, 2011).

به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از شدت تابش های پایین پرتو مادون قرمز ضمن حفظ خصوصیات رنگ برگ های زوفا، می تواند سبب حفظ محتوای اسانس و اجزای اصلی آن گردد و با توجه به هزینه پایین و سرعت بالای خشک کردن در خشک کن مادون قرمز، به عنوان یک روش اقتصادی با بهره وری بالا برای خشک کردن گیاه دارویی زوفا قابل توصیه می باشد.

سپاسگزاری

از مسئولان محترم بنیاد ملی علم ایران (صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF)) بدلیل حمایت از انجام این پژوهش (با شماره طرح ۹۵۸۴۴۲۷۹) تشکر و قدردانی می گردد.

منابع مورد استفاده

- Adak, N., Heybeli, N. and Ertekin, C., 2017. Infrared drying of strawberry. *Food Chemistry*, 219: 109-116.
- Arabhosseini, A., Padhye, S., Huisman, W., Van Boxel, A. and Müller, J., 2011. Effect of drying on

خشک کن های مایکروویو و تحت خلأ سبب این رویکرد شده است (Riadh *et al.*, 2015).

نتایج این تحقیق نشان داد که شدت تابش های پایین و متوسط مادون قرمز توانستند محصولی با رنگ سبز مطلوب تر و میزان قهوه ای شدن کمتر حاصل نمایند و افزایش سرعت جریان هوا نیز در این شدت های تابش سبب بهبود نسبی کیفیت رنگ برگ های زوفا شد. در بیان علت کاهش کیفیت رنگ برگ ها در شدت تابش ۰/۵ وات بر سانتی متر مربع می توان توضیح داد که خشک کردن با شدت تابش بالای مادون قرمز می تواند سبب جایگزینی منیزیم کلروفیل با هیدروژن شود و تبدیل کلروفیل به فتوفیتین (Pheophytin) گردد، در نتیجه رنگ محصول تیره تر و به سمت قهوه ای شدن تمایل پیدا می کند (Therdthai & Zhou, 2009). همچنین خشک کردن با شدت تابش بالای مادون قرمز سبب آزاد شدن ترکیب های اسیدی در سلول های گیاهی و اسیدی شدن محیط آنها می گردد. کلروفیل ها در محیط اسیدی ناپایدار هستند و تبدیل به فتوفیتین می شوند که این پدیده باعث تیره رنگ شدن برگ ها می گردد. تیره تر شدن برگ ها احتمالاً به دلیل افزایش فعالیت آنزیم های پلی فنول اکسیداز است، زیرا محققان مختلف گزارش نموده اند که میزان ترکیب های پلی فنولی مانند اسید رزمارینیک در اثر دمای خشک کردن به طور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد (Rocha *et al.*, 1993). همچنین نتایج مشابهی توسط Kocabiyik و همکاران (۲۰۱۵) و نیز Kantrong و همکاران (۲۰۱۴) گزارش شده است.

در شدت تابش های پایین تر افزایش سرعت جریان باد باعث کاهش درصد اسانس زوفا شد، ولی در شدت تابش ۰/۵ وات بر سانتی متر مربع با افزایش سرعت جریان باد، میزان درصد اسانس افزایش یافت. اثر مثبت افزایش سرعت باد در شدت تابش های بالاتر بر حفظ اسانس برگ ها احتمالاً به دلیل سرد شدن سطح آنها و کاهش اثر منفی گرم شدن نمونه ها در اثر افزایش شدت تابش بوده است. موارد مشابهی نیز توسط سایر محققان گزارش شده است، به عنوان مثال افزایش سرعت باد در شدت تابش های مختلف سبب حفظ بیشتر میزان اسانس در برگ های گیاه دارویی به لیمو (Ebadi *et al.*, 2016b) و

- Mohajeran, S., Khoshtaghaza, 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 different methods for drying mushroom slices. *Energy*, 36(11): 6433-6441.
- Mozaffarian, V., 2013. Identification of Medicinal and Aromatic Plants of Iran. Farhang Moaser Publication, Tehran, 1444p.
- Pääkkönen, K., Havento, J., Galambosi, B. and Pyykkönen, M., 1999. Infrared drying of herbs. *Journal of Agricultural and Food Science in Finland*, 8: 19-27.
- Rahmati, M., Azizi, M., Ebadi, M.T. and Hasanzadeh Khayyat, M., 2010. Study on the effects of different drying methods on weight loss rate, essential oil and chamazolene contents of chamomile (*Matricaria recutita* CV. Germania (diploid)) flowers. *Journal of Horticulture Science*, 24(1): 29-37.
- Riadh, M.H., Ahmad, S.A.B., Marhaban, M.H. and Soh, A.C., 2015. Infrared heating in food drying: an overview. *Drying Technology*, 33(3): 322-335.
- Rocha, T., Lebert, A. and Marty-Audouin, C., 1993. Effect of pretreatments and drying conditions on drying rate and color retention of basil (*Ocimum basilicum*). *LWT-Food Science and Technology*, 26(5): 456-463.
- Roozdar, F., Azizi, M., Ghani, A. and Davarynejad, Gh., 2014. The effects of drying methods on drying time and some biochemical characteristics of *Mentha piperita* L. *Journal of Horticulture Science*, 28(3): 407-415.
- Salarikia, A., Miraei Ashtiani, S.H. and Golzarian, M.R., 2017. Comparison of drying characteristics and quality of peppermint leaves using different drying methods. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(3): e12930.
- Tahmasebi-Pour, M., Dehghannya, J., Seiedlou-Heris, S. and Ghanbarzadeh, B., 2015. Modeling changes of color parameters during grapes drying pretreated with ultrasound and carboxymethyl cellulose and investigating its sensory characteristics. *Journal of Innovative Food Technologies*, 1(4): 61-79.
- Therdtai, N. and Zhou, W., 2009. Characterization of microwave vacuum drying and hot air drying of mint leaves (*Mentha cordifolia*). *Journal of Food Engineering*, 91(3): 482-489.
- Zakipour-Molkabadi, E., Hamidi-Esfahani, Z. and Abbasi, S., 2011. Formulation of leather from kiwi fruit losses. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 6(4): 263-270.
- the color of tarragon (*Artemisia dracunculus* L.) leaves. *Food and Bioprocess Technology*, 4(7): 1281-1287.
- Azizi, M., Rahmati, M., Ebadi, M.T. and Hasanzadeh Khayyat, M., 2009. The effects of different drying methods on weight loss rate, essential oil and chamazolene contents of chamomile (*Matricaria recutita*) flowers. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 25(2): 182-192.
- Buchailot, A., Caffin, N. and Bhandari, B., 2009. Drying of lemon myrtle (*Backhousia citriodora*) leaves: retention of volatiles and color. *Drying Technology*, 27(3): 445-450.
- Chisari, M., Barbagallo, R.N. and Spagna, G., 2007. Characterization of polyphenol oxidase and peroxidase and influence on browning of cold stored strawberry fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(9): 3469-3476.
- De Martino, L., De Feo, V. and Nazzaro, F., 2009. Chemical composition and in vitro antimicrobial and mutagenic activities of seven Lamiaceae essential oils. *Molecules*, 14(10): 4213-4230.
- Ebadi, M.T., Azizi, M., Sefidkon, F. and Ahmadi, N., 2016a. Effects of organic and chemical fertilizers on leaf yield, essential oil content and composition of lemon verbena (*Lippia citriodora* Kunth.). *Journal of Horticulture Science*, 30: 293-302.
- Ebadi, M.T., Sefidkon, F., Azizi, M. and Ahmadi, N., 2016b. 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.
- Ebadi, M.T., Sefidkon, F., Azizi, M. and Ahmadi, N., 2017. Packaging methods and storage duration affect essential oil content and composition of lemon verbena (*Lippia citriodora* Kunth.). *Food Science & Nutrition*, 5(3): 588-595.
- 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.
- 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., 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.

Evaluation of qualitative characteristics of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) in infrared drying

F. Jangi¹, M.T. Ebadi^{2*} and M. Ayyari³

1- M.Sc. graduate, 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: April 2019

Revised: September 2019

Accepted: September 2019

Abstract

In order to investigate the effects of infrared radiation intensity and air velocity on some of the qualitative characteristics of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) during the drying process, a factorial experiment was conducted in a completely randomized design with three replications. The infrared radiation intensity was investigated at three levels of 0.2, 0.3 and 0.5 W/cm² and the air flow velocity at 0.5, 1 and 1.5 m/s, and traits such as color parameters, essential oil content and composition were evaluated. The results showed a significant effect of treatments on all studied traits. In the radiation intensity of 0.3 W/cm², with increasing air flow velocity, there was a significant increase in the desired color parameters such as brightness index (L), green color (a) and color purity (chroma). Generally, the color of samples was better maintained at lower radiation intensities. The essential oil content of dried samples in the intensity of 0.2 and 0.3 W/cm² was about 0.2% higher than the radiation intensity of 0.5 W/cm². Increasing the air flow velocity at low radiation intensities reduced the essential oil percentage, but in 0.5 W/cm², the essential oil content increased by 0.17% with increasing the air flow velocity. The amount of *cis*-Pinocamphone in the essential oil of treated samples with a low-intensity infrared radiation was higher than the high-intensity treated ones, so that the amount of this component in 0.2 W/cm² was 3.5 to 18.9% more than 0.5 W/cm². Overall, the results of this study showed that the use of low infrared radiation intensity in drying process of hyssop could preserve leaves color parameters along with the essential oil content and its main components.

Keywords: Hyssop (*Hyssopus officinalis* L.), infrared dryer, color, essential oil, *cis*-pinocamphone.