

تأثیر دما و روش خشک کردن بر مدت زمان خشک شدن و کیفیت رنگ گیاه نعناع

حسین بهمن پور¹ - سید مجید سجادی^{2*} - محمد جواد شیخ داودی³ - مریم ذوالفقاری⁴

تاریخ دریافت: 1394/08/18

تاریخ پذیرش: 1395/04/26

چکیده

نعناع گیاهی علفی، معطر و چندساله است که برای استخراج اسانس و اهداف دارویی و ادویه‌ای کشت می‌شود. از آن جایی که استخراج اسانس از پیکره خشک گیاهی صورت می‌گیرد، انتخاب روش مناسب جهت خشک کردن نعناع برای استحصال اسانس با کیفیت بالا ضروری است. در تحقیق حاضر اثر دو روش خشک کردن (خشک کن خورشیدی و خلای - مادون قرمز) در سه دمای مختلف (30، 40 و 50 درجه سلسیوس) در قالب آزمون فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در گیاه نعناع مورد ارزیابی قرار گرفت. پارامترهای مورد بررسی شامل: مدت زمان خشک شدن (دقیقه) و شاخص کیفیت رنگ (%) اندازه‌گیری شد. نتایج بررسی نشان داد که خشک کن خلای با میانگین مدت زمان 153 دقیقه در مقایسه با خشک کن خورشیدی 201 دقیقه، زمان کمتری صرف کرده است. همچنین با افزایش دما در هر دو نوع خشک کن روند خشک شدن محصول افزایش می‌یابد، به طوری که بیشترین زمان خشک شدن به مدت 237 دقیقه و مربوط به دمای 30 درجه سلسیوس در خشک کن خورشیدی و کمترین زمان خشک شدن به مدت 112 و مربوط به دمای 50 درجه سلسیوس در خشک کن خلای بود. نتایج مربوط به شاخص تغییرات رنگ نشان داد که بهترین نمونه از نظر حفظ رنگ نعناع، مربوط به نمونه خشک شده در خشک کن خلای است. خشک کن خلای با 8/75% تغییرات رنگ کمتری در مقایسه با خشک کن خورشیدی 11/96% نشان داد. نتایج حاصل از بررسی اثر دما بر شاخص تغییرات رنگ نشان داد که کمترین و بیشترین میزان تغییر رنگ به ترتیب مربوط به نمونه خشک شده در دمای 30 و 50 درجه سلسیوس می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: خشک کردن، خلای، خورشیدی، رنگ، مادون قرمز، نعناع

مقدمه

کودن یکی از مراحل مهم پس از برداشت گیاهان دارویی می‌باشد و نقش مهمی در کمیت و کیفیت مواد مؤثر دارویی آن‌ها دارد. انتخاب روش مناسب خشک کردن اندام‌های گیاهی از موارد مهم در عملیات پس از برداشت می‌باشد. استفاده از روش نامناسب می‌تواند منجر به از بین رفتن اندام‌های گیاهی یا از بین رفتن کل مواد مؤثر موجود در آن شود (Omidbaigi, 2013). خشک کردن عبارت است از خارج نمودن آب از ماده غذایی به گونه‌ای که محصول خشک حاصل از این عمل را بتوان به مدت طولانی و سالم نگهداری کرد. یکی از قدیمی‌ترین و در عین حال گسترده‌ترین فرآیندهای مورد استفاده جهت حفظ مواد غذایی در مقابل فساد، فرآیند خشک کردن است که با کاهش فعالیت‌های میکروبی و آنزیمی و تقلیل سرعت فعل و انفعالات شیمیایی، زمان ماندگاری محصول را افزایش و با کاهش وزن و حجم مواد، بسته‌بندی، حمل و نقل و انبارداری محصولات را سهولت می‌بخشد (Li et al., 2011). استفاده از فناوری خلای در خشک کردن محصولات غذایی پدیدهای جدید و تازه می‌باشد. خشک کردن خلای روشی جایگزین برای روش خشک کردن مرسوم (اتمسفری) است (Hafezi et al., 2014). در این روش خارج شدن

نعناع (*Mentha spicata* L.) گیاهی علفی، معطر و چندساله، متعلق به خانواده *Lamiaceae* است. دارای ساقه‌های چهارگوش، متقابل و دنداندار که پوشیده از کرک و بدون دمبرگ هستند. گل‌ها به صورت سنبله‌های باریک و سیستم ریشه‌ای خزنده است. تکثیر گیاه معمولاً از طریق ساقه‌های زیرزمینی (ریزوم) صورت می‌گیرد. گیاه نعناع در خاک‌های شنی اسیدی رشد بهتری داشته، شرایط نوری متوسط و رطوبت بالای خاک را ترجیح می‌دهد. بخش‌های هوایی گیاه به خصوص برگ‌ها و سرشاخه‌های گل‌دار آن معطر و دارای مقادیر بالایی اسانس است که مصارف دارویی، ادویه‌ای، آرایشی و بهداشتی فراوانی دارد (Zare Deh Abadi et al., 2010). خشک

1 و 2 - به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار و دانشیار، گروه مهندسی

بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

3 - استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز
4 - نویسنده مسئول: (Email: m.sajadiye@scu.ac.ir)

DOI: 10.22067/jam.v7i2.51268

مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی تأثیر روش خشک کردن بر مدت زمان خشک شدن و رنگ گیاه دارویی نعنای آزمایشی در قالب آزمون فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه پس از برداشت گروه مهندسی بیوسیستم دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. گیاهان نعنای مورد بررسی در این تحقیق از مزارع شهرستان دزفول واقع در استان خوزستان، به صورت روزانه تهیه و برای جلوگیری از افت رطوبت قبل از انجام آزمایش‌ها در یخچال در دمای 5+ درجه سلسیوس نگهداری شد. تیمارهای آزمایش شامل روش خشک کردن در دو سطح (خشک‌کن خورشیدی و خشک‌کن خلائی با لامپ مادون قرمز) و دما در سه سطح (30، 40 و 50 درجه سلسیوس) با هم مورد بررسی قرار گرفتند. برای اندازه‌گیری رطوبت نعنای مقدار دو گرم از برگ محصول بر اساس استاندارد ASABE (2010) S358.2 به مدت 24 ساعت در آون با دمای 104 درجه سلسیوس قرار داده شد بعد از 24 ساعت نمونه‌ها مجدداً از آون خارج و توزین شد و در نهایت رطوبت محصول بر پایه تر محاسبه شد. خشک کردن نمونه‌ها تا زمانی که وزن آن‌ها به محتوی رطوبتی 10% درصد بر پایه وزن تر برسد، ادامه یافت (Arabhosseini and Müller, 2014). از رابطه (1) برای محاسبه میزان رطوبت محصول بر پایه وزن تر استفاده شد. جهت آنالیز نتایج آماری از نرم افزار SPSS V22.0 و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار EXCEL استفاده شد.

$$M_w = \left(\frac{W_w - W_d}{W_w} \right) \times 100 \quad (1)$$

M_w میزان رطوبت بر پایه تر (%)، W_w وزن نمونه تر (g)، W_d وزن نمونه خشک شده توسط آون (g)

خشک‌کن خلائی با گرمایش مادون قرمز

اجزای اصلی دستگاه خشک‌کن خلائی شامل محفظه استوانه‌ای خلائی به حجم 0/335 مترمکعب و یک پمپ خلائی (مدل پیستونی) می‌باشد. در شکل 1، خشک‌کن خلائی نشان داده شده است. پمپ خلائی که توسط یک الکتروموتور تک فاز با ولتاژ 220 ولت، فرکانس 50 هرتز و شدت جریان الکتریکی 5/1 آمپر به حرکت در می‌آید، وظیفه تأمین خلائی درون محفظه را بر عهده دارد. درون محفظه تعدادی میله به صورت افقی و موازی جهت قرار دادن ترازو و سینی نمونه تعبیه شده است. قبل از شروع کار پمپ، فشار مخزن با فشار هوا یکسان است. با روشن شدن وسیله گرمایش (لامپ مادون قرمز) برای ایجاد حرارت و به کار انداختن پمپ خلائی جهت مکش هوای درون محفظه‌ی خلائی، سیکل کاری دستگاه آغاز می‌شود. در این

رطوبت از محصول در فشارهای پایین انجام می‌شود. در روش خشک کردن خلائی واکنش‌های اکسیداسیون به دلیل عدم وجود هوا به حداقل رسیده و رنگ، طعم و بافت محصولات خشک شده تا حدی حفظ می‌شود (Madamba and Liboon, 2001). خشک‌کن‌های خورشیدی برای صرفه‌جویی در انرژی و زمان سودمند بوده، و بازده و ایمنی بهداشتی بالاتری نسبت به روش‌های دیگر دارند. خشک‌کن‌های خورشیدی در مقایسه با روش رایج خشک کردن در هوای آزاد فضای کمتری را اشغال کرده و کیفیت محصول را به‌طور چشمگیری بهبود می‌بخشند (VijayaVenkataRaman et al., 2012). مزیت مهم دیگر خشک‌کن‌های خورشیدی درجه حرارت ملایم آن‌ها می‌باشد که مشکل ترک برداشتن و آسیب دیدن محصول که در درجه حرارت‌های بالا ایجاد می‌شود، نداشته و در نتیجه آلودگی‌های قارچی و باکتریایی از این نوع آسیب فیزیکی به حداقل می‌رسد (Forson et al., 2007). رنگ به‌عنوان یک ویژگی فیزیکی اساسی در مواد خوراکی و غذاها و محصولات کشاورزی به حساب می‌آید که این پارامتر با دیگر خواص فیزیکی، شیمیایی و شاخص‌های حسی ارتباط معنی‌داری دارد. رنگ در ارزیابی میزان کیفیت ظاهری محصولات کشاورزی و مهندسی غذا نقش اصلی را بازی می‌کند (Mendoza et al., 2006). در پژوهشی اثر چهار روش خشک کردن در سایه، انجمادی، آون و خلائی در دماهای 40، 50 و 60 درجه سلسیوس بر روی گیاه به لیمو مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده نشان داد بیشترین و کمترین زمان خشک شدن به ترتیب از روش سایه خشک با 53 ساعت و خشک‌کن خلائی در دمای 60 درجه سلسیوس با 3 ساعت به‌دست آمد (Ebadi et al., 2014). رودریگز و همکاران (2005) سینتیک خشک کردن قارچ تحت خلائی و مایکروویو را مورد مطالعه قرار دادند، در این تحقیق روش‌های خشک کردن مایکروویو - خلائی با روش خشک کردن انجمادی مقایسه شد. نتایج آن‌ها نشان داد که کاهش فشار اعمال شده در روش خلائی باعث افزایش چشمگیر سرعت خشک شدن قارچ می‌شود. در تحقیقات رایبسنکیان و همکاران (2015) اثر روش‌های خشک کردن بر تغییرات شیمیایی و رنگ برگ‌های نعنای مورد بررسی قرار گرفت. آن‌ها در این مطالعه، برگ‌های نعنای را با استفاده از روش‌های همرفتی، مادون قرمز، مایکروویو، خلائی و تصعید خشک کردند و نتایج نشان داد کمترین تغییر در رنگ برگ‌های نعنای از روش خشک کردن در خلائی، همرفتی و روش تصعید به‌دست آمد. در تحقیق حاضر تأثیر دماهای رایج در فرآیند خشک کردن نعنای در دو روش خشک کردن مطلوب آن که عبارتند از خشک کردن خلائی - مادون قرمز و خشک کردن خورشیدی بر روی زمان خشک شدن و کیفیت رنگ گیاه نعنای مورد بررسی قرار گرفته است.

هوای باز برای انجام آزمایش‌ها استفاده شد (شکل 2). سیستم کنترل دما در خشک‌کن خورشیدی شامل فن، سنسور دما، رله الکترونیکی و برد کنترلی می‌باشد. کنترل دما در خشک‌کن خورشیدی به این صورت می‌باشد که همانند سیستم کنترل دما در خشک‌کن خلائی ابتدا دمای مورد نظر برای خشک شدن محصول، در نرم افزار ثبت می‌شود. سپس سنسور دما، دمای محیط داخل خشک‌کن را اندازه‌گیری و به نرم‌افزار منتقل می‌کند. اگر دمای داخل محفظه خشک‌کن از دمای ثبت شده در نرم افزار کمتر باشد سیستم کنترلی به خشک‌کن اجازه خواهد داد دمای داخل محفظه خشک‌کن تا رسیدن به دمای مورد نظر بالا برود. بعد از اینکه به دمای مورد نظر رسید نرم‌افزار با اعمال دستور به سیستم کنترلی باعث روشن شدن فن خواهد شد و در نتیجه دمای داخل محفظه خشک‌کن تا دمای مورد نظر کاهش می‌یابد. پس از رسیدن به دمای مورد نظر سیستم کنترلی با اعمال دستور باعث خاموش شدن فن می‌شود.

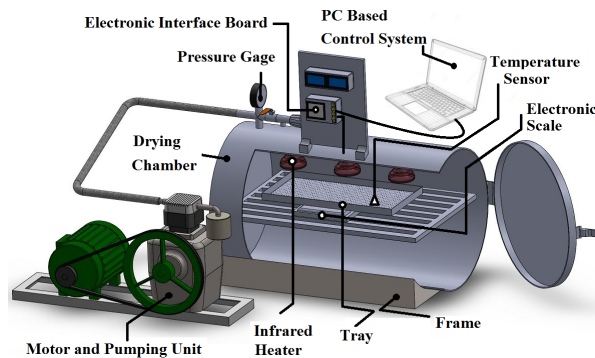
ارزیابی رنگ محصول با پردازش تصویر

برای تصویربرداری از نمونه‌های خشک شده گیاه نعناع از یک دوربین دیجیتال نیمه حرفه‌ای مدل Fujifilm FinePix HS55 با رزولوشن تصویر 921000 پیکسل استفاده شد. برای نورپردازی از 4 عدد لامپ کم مصرف فلورسنت¹ با توان 23 وات استفاده شد. زاویه نورپردازی قبل از عکس‌برداری به گونه‌ای تنظیم شد که کمترین میزان سایه‌اندازی روی محصول ایجاد شود. در ادامه پس از انتقال تصاویر به رایانه، با استفاده از نرم افزار متلب پردازش تصویر انجام شد. از مدل RGB برای تعیین رنگ نمونه خشک استفاده شد که شامل سه طیف رنگی قرمز (Red)، سبز (Green) و آبی (blue) با دامنه‌ی شدت نور 0-255 (به این صورت که به‌ازای رنگ سیاه مقدار صفر و به‌ازای رنگ سفید مقدار 255 در پیکسل ذخیره می‌شود) می‌باشد. در نهایت با استفاده از روابط (2) تا (5) مقادیر شاخص رنگ و ΔL به‌عنوان میانگین تغییرات رنگ محاسبه شدند (Feleh Kerry *et al.*, 2012).

$$\Delta R = \frac{R_1 - R_2}{R_1} \times 100 \quad (2)$$

$$\Delta G = \frac{G_1 - G_2}{G_1} \times 100 \quad (3)$$

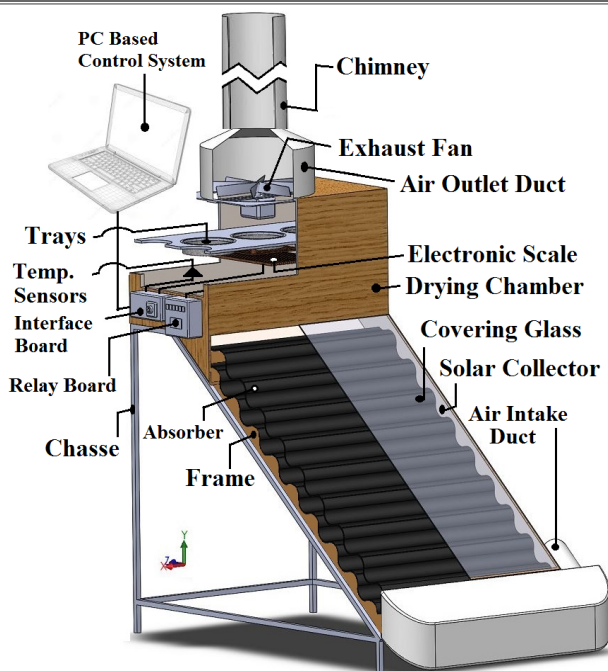
حالت با مکش هوا توسط پمپ، فشار درون محفظه کاهش می‌یابد در این وضعیت هر چند فشار درون محفظه از فشار هوای بیرون کمتر خواهد شد اما هنوز از فشار اشیاع بیشتر می‌باشد و رطوبت اولیه محصول حفظ می‌شود. زمانی که فشار درون محفظه به فشار اشیاع می‌رسد، آب درون محصول شروع به تبخیر می‌کند و محتوای رطوبتی محصول کاهش می‌یابد. زمان خشک شدن با رسیدن رطوبت محصول به رطوبت نهایی و توقف پمپ خلا، خاموش شدن لامپ مادون قرمز و نیز باز شدن شیر تهویه و ورود هوا به درون محفظه متوقف می‌شود. به منظور ایجاد شدت تابش‌های مختلف بر روی نمونه از سه لامپ مادون قرمز که هر کدام دارای توان اسمی 250 وات، ولتاژ اسمی 230 ولت و طول موج 1/1 میکرومتر در گستره طیفی مادون قرمز ساخت کشور اسلواکی و شرکت OSRAM استفاده شد. در این پژوهش فشار خلا 20 میلی‌متر جیوه در محفظه خلا استفاده شده است. دمای محفظه از طریق یک سیستم کنترلی مبتنی بر کامپیوتر و به روش خاموش - روشن کنترل شد. وزن نمونه‌ها توسط سیستم داده‌برداری به‌صورت زمان واقعی در کامپیوتر ثبت شد و نمونه‌ها تا زمان رسیدن به محتوای رطوبتی 10 درصد بر مبنای وزن تر خشک شدند.



شکل 1- طرحواره خشک‌کن خلائی
Fig.1. Schematic of vacuum dryer

خشک‌کن خورشیدی

در ابتدای هر روز موقع انجام آزمایش، خشک‌کن به منطقه باز منتقل می‌شد. سپس پوشش شیشه‌ای کالکتور خورشیدی تمیز می‌شد تا گرد و غبار روی آن مانع از جذب پرتوهای اشعه خورشید نشود. سپس خشک‌کن به مدت 15 دقیقه در مقابل خورشید قرار داده می‌شد تا دمای سطح کالکتور به حد مورد نیاز برای انجام آزمایش برسد. کار دستگاه با قرار دادن محصول در داخل محفظه خشک‌کن و باز کردن دریچه انتقال هوای گرم از کالکتور به محفظه خشک‌کن شروع می‌شد. زمان خشک شدن با رسیدن رطوبت محصول به رطوبت نهایی مورد نظر (10٪ بر پایه تر) و بسته شدن دریچه انتقال



شکل 2- شماتیک خشک‌کن خورشیدی مورد استفاده در تحقیق
 Fig. 2. Schematic of solar dryer applied in this research

بنابراین تجزیه واریانس آن نیز انجام شد و نتایج آن در جدول 2 گزارش شد. در این جدول اثر تمامی سطوح یک تیمار با سطوح تیمار دیگر مقایسه و سطح معنی‌داری آن‌ها مشخص شد. نتایج نشان داد که خشک‌کن خورشیدی با میانگین 201 دقیقه مدت زمان بیشتری در مقایسه با خشک‌کن خلأی با میانگین 153 دقیقه صرف می‌کند. همچنین استفاده از خشک‌کن خلأی زمان خشک شدن را به طرز چشمگیری کاهش می‌دهد. دلیل این امر آن است که در روش خلأ علاوه بر استفاده از سیستم گرمایش مادون قرمز از خلأ نیز برای خشک کردن محصول کمک گرفته می‌شود. وجود خلأ سبب منبسط شدن هوا و بخار آب موجود در ماده غذایی شده، ساختاری متخلخل در ماده غذایی ایجاد کرده و نسبت سطح به حجم بیشتری برای انتقال جرم و حرارت به وجود می‌آورد. بر اساس نتایج یک تحقیق، با استفاده از خشک‌کن خلأی می‌توان به سرعت بالاتر و دمای پایین‌تری عمل خشک کردن را انجام داد و محیط فرآیند با اکسیژن کمتری در تماس است (Lee and Kim, 2009) که با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت دارد. استفاده از تکنولوژی تشعشعات مادون قرمز در خشک کردن محصولات کشاورزی سبب کاهش زمان فرآیند و دمای یکنواخت محصول خشک شده می‌شود (Sharma et al., 2005).

$$\Delta B = \frac{B_1 - B_2}{B_1} \times 100 \quad (4)$$

$$\Delta L = \frac{\Delta R + \Delta G + \Delta B}{3} \quad (5)$$

در این روابط B_1 و G_1 ، R_1 به ترتیب میزان رنگ قرمز، سبز و آبی قبل از خشک شدن نمونه و B_2 و G_2 ، R_2 به ترتیب نشان‌دهنده میزان رنگ قرمز، سبز و آبی بعد از خشک شدن نمونه، ΔB ، ΔG ، ΔR به ترتیب بیان‌گر درصد تغییرات رنگ قرمز، سبز، آبی و ΔL به عنوان میانگینی از تغییرات RGB در نظر گرفته شده است.

نتایج و بحث

تأثیر روش خشک کردن بر مدت زمان خشک شدن

تجزیه واریانس اثر روش و دمای خشک کردن بر مدت زمان خشک شدن گیاه دارویی نعنای انجام شد و نتایج در جدول 1 نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد اختلاف معنی‌داری بین روش‌های خشک کردن بر مدت زمان خشک کردن در سطح اطمینان 1% وجود دارد.

از آنجایی که اثر متقابل دما در خشک‌کن معنی‌دار شده است

جدول 1- تجزیه واریانس اثر دما و روش خشک کردن بر مدت زمان خشک شدن نعناع

Table 1- Variance analysis of the effect of temperature and drying method on mint drying time

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی DF	مجموع مربعات Sum of squares	میانگین مربعات Mean squares	F
خشک کن Dryer	1	10522.168	10522.168	255945**
دما Temperature	2	47123.007	23561.503	573118**
دما × خشک کن Temperature × Dryer	2	3125.387	1562.693	38011.5**
خطا Error	12	0.49333	0.04111	
کل Total	17	60771.057		

** اختلاف معنی دار در سطح اطمینان 1%

** show significant difference at 1% level of probability

جدول 2- نتیجه برش دهی اثر متقابل دما در خشک کن

Table 2- Cutting result of the interaction of temperature in dryer

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی DF	مجموع مربعات Sum of squares	میانگین مربعات Mean squares	F
دمای 30(°C) Temperature 30 (°C)	1	10880	10880	264650**
دمای 40(°C) Temperature 40 (°C)	1	1837.5	1837.5	44695.9**
دمای 50(°C) Temperature 50 (°C)	1	930.015	930.015	22622**

** اختلاف معنی دار در سطح اطمینان 1%

** show significant difference at 1% level of probability

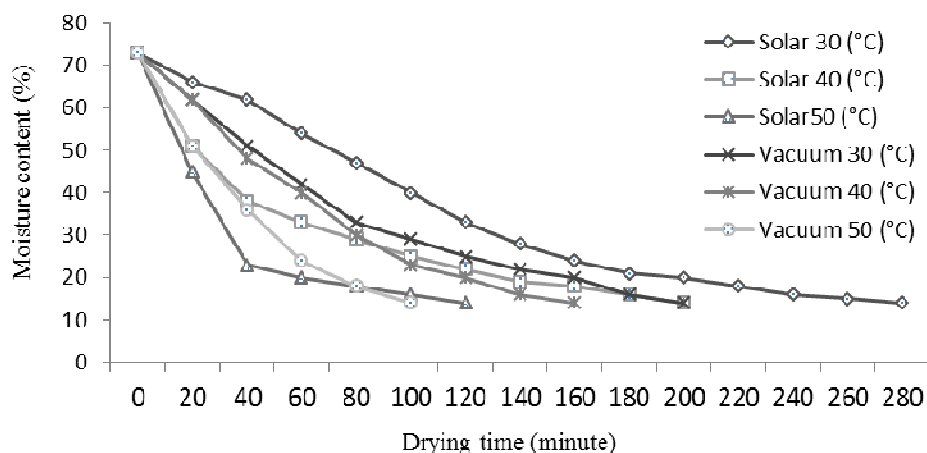
در خشک کردن به وسیله هوای گرم (مانند خشک کن کابینتی خورشیدی) خشک شدن محصول ابتدا در لایه خارجی آن صورت می گیرد، در نتیجه سطح ماده خشک شده و نفوذپذیری آن کاهش می یابد و با ایجاد یک لایه سخت روی سطح ماده غذایی مانع از ادامه خروج رطوبت می شود و زمان خشک شدن را طولانی می نماید. علاوه بر این اختلاف رطوبت لایه سطحی با قسمت درونی محصول در این روش خشک کردن، تنش های وارد بر آن را افزایش می دهد، به این صورت که لایه سطحی در اثر از دست دادن رطوبت منقبض می شود در حالی که داخل آن انقباض ندارد که همین عامل باعث ایجاد تنش های کششی و فشاری در سطح و درون ماده می شود (Afzal and Abe, 1998). در روش تابش مادون قرمز، به دلیل اینکه امواج مادون قرمز در محدوده طول موج های قابل جذب به وسیله آب هستند، با جذب این امواج به وسیله رطوبت موجود در محصول و ارتعاش مولکول های آب، گرما به صورت یکسان در درون ماده تولید می شود و در نتیجه، فشار بخار سبب انتقال رطوبت به سطح شده و به راحتی توسط محیط اطراف حذف می شود (Datta

and Almedia, 2005). مونگرانیت و همکاران (2002) طی آزمایشی خشک کردن یک رقم پیاز را توسط اشعه مادون قرمز تحت شرایط خلأ مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد استفاده از روش تلفیقی مادون قرمز - خلأ نسبت به حالتی که تنها از خلأ برای خشک کردن استفاده شده است، باعث کاهش زمان خشک شدن شد به گونه ای که با اعمال خلأ درون محفظه و افزایش دمای محصول که ناشی از گرمای تولیدی توسط اشعه مادون قرمز است، خروج رطوبت از محصول سریع تر و به تبع آن زمان خشک شدن نیز کوتاه تر می شود.

روند خشک شدن نعناع در شکل 3، نشان داده شده است. با نگاهی به این نمودار در می یابیم که افزایش دما در هر دو نوع خشک کن بر روی زمان خشک کردن محصول تأثیر به سزایی دارد، به طوری که بیشترین زمان خشک شدن به مدت 237 دقیقه و مربوط به دمای 30 درجه سلسیوس در خشک کن خورشیدی و کمترین زمان خشک شدن به مدت 112 و مربوط به دمای 50 درجه سلسیوس در خشک کن خلأئی می باشد. علت این امر آن است که

محتوی رطوبتی در مقابل زمان خشک شدن را نشان می‌دهد. این منحنی نشان می‌دهد که نمودار خشک شدن نزولی است. از این رو خشک کردن برگ‌های نعناع ابتدا در مرحله آهنگ نزولی قرار داشته است ولی پس از آن به تدریج کاهش می‌یابد علت این امر آن است که در ابتدای زمان خشک کردن به دلیل رطوبت زیاد درون محصول، سرعت خشک شدن افزایش یافته ولی پس از آن به دلیل کاهش محتوی رطوبتی و چروکیده شدن بافت برگ‌های نعناع فرآیند خشک کردن آهنگ نزولی پیدا می‌کند که با نتایج (Blghit *et al.*, 2000 ; Doymaz *et al.*, 2006) هم‌خوانی داشته است. در این تحقیق فرآیند خشک شدن نمونه‌ها از محتوی رطوبتی % 82/19 تا رسیدن به محتوی رطوبتی % 10 بر پایه وزن تر ادامه یافت. دلیل این امر آن است که رطوبت کمتر از حد ذکر شده (خشک شدن شدید گیاه)، باعث کاهش مواد مؤثر موجود در گیاه می‌شود.

دمای خشک کردن بالاتر باعث انتقال جرم بیشتر از محصول می‌شود که با نتایج (Toujani *et al.*, 2013; Lee *et al.*, 2012) مطابقت دارد. اگرچه استفاده از دمای بالا زمان فرآیند خشک کردن را کاهش می‌دهد، اما از سوی دیگر موجب تخریب سلول‌ها و ساختار گیاه می‌شود (Sadrnia *et al.*, 2015). افشاری جویباری و همکاران (2012) در تحقیقی اثر دما و سرعت جریان هوا بر خشک کردن خرما مضافتی را به‌وسیله خشک‌کن کابینتی در سه سطح سرعت جریان هوا 1، 1/5 و 2 متر بر ثانیه و پنج سطح دمایی 50، 60، 70، 80 و 90 درجه سلسیوس مورد بررسی قرار دادند (Afsharijouibari *et al.*, 2012). نتایج نشان داد مهمترین عامل در افزایش سرعت خشک کردن، دما است. در حالی‌که دبی هوای خشک‌کننده تأثیری بر سرعت خشک کردن نداشت. با افزایش دما از 50 تا 90 درجه سلسیوس، سرعت خشک شدن خرما به‌طرز چشمگیری افزایش یافت. شکل 3 روند خشک شدن نعناع به‌صورت



شکل 3- روند خشک شدن نعناع در زمان خشک شدن

Fig. 3. The drying process mint

بر اساس شکل 4 تیمار خشک‌کن خورشیدی با % 11/96 دارای مقدار تغییرات بیشتری در مقایسه با خشک‌کن خلائی % 8/75 می‌باشد. با توجه به این نکته مهم که هر چقدر شاخص تغییرات رنگ عدد کوچکتری باشد بدین معناست که تیمار مربوطه در حفظ رنگ گیاه به‌خوبی عمل کرده است، پس می‌توان گفت بهترین کیفیت رنگ برگ‌های نعناع از روش خشک کردن در خشک‌کن خلائی با گرمایش مادون قرمز به‌دست آمده است که علت آن را می‌توان سرعت بالای عملیات خشک کردن همچنین وجود خلأ در محفظه خشک‌کن دانست.

اثر روش خشک کردن بر کیفیت رنگ نمونه‌های خشک شده به‌منظور بررسی اثر دما و روش خشک کردن بر شاخص تغییرات رنگ، آنالیز واریانس انجام شد و نتایج آن در جدول 3 نشان داده شده است. نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین اثر روش‌های خشک کردن بر شاخص تغییرات رنگ در سطح احتمال 1 درصد وجود دارد. اما اثر متقابل روش خشک کردن در دما معنی‌دار نشد. مقایسه میانگین اثر روش خشک کردن بر شاخص تغییرات رنگ در سطح احتمال 1 درصد به کمک آزمون دانکن انجام شد و نتایج آن در شکل 4 نشان داده شد.

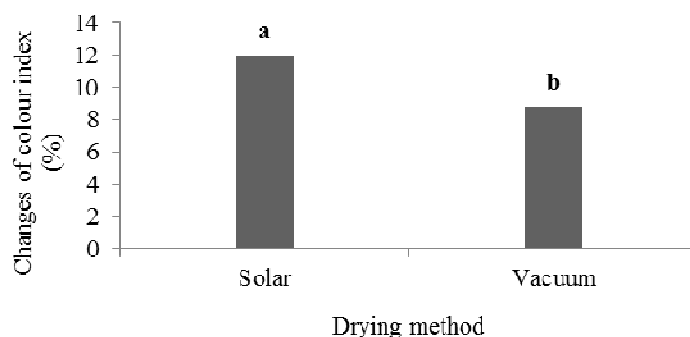
جدول 3- تجزیه واریانس اثر روش خشک کردن و دما بر شاخص تغییرات رنگ نعناع

Table 3- Variance analysis of the effect of drying temperature on colour indexchanges of mint

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی DF	مجموع مربعات Sum of squares	میانگین مربعات Mean squares	F
خشک کن Dryer	1	46.34	46.34	65.99**
دما Temperature	2	20.366	10.183	14.5**
دما × خشک کن Temperature × Dryer	2	7.607	3.803	5.42 ^{n.s}
خطا Error	12	8.4263	0.7021	
کل Total	17	82.74		

** اختلاف معنی دار در سطح احتمال 1%، n.s عدم وجود اختلاف معنی دار

** and ns shows significant difference at 1% level of probability, and non significant, respectively



شکل 4- مقایسه میانگین اثر روش خشک کردن بر شاخص تغییرات رنگ

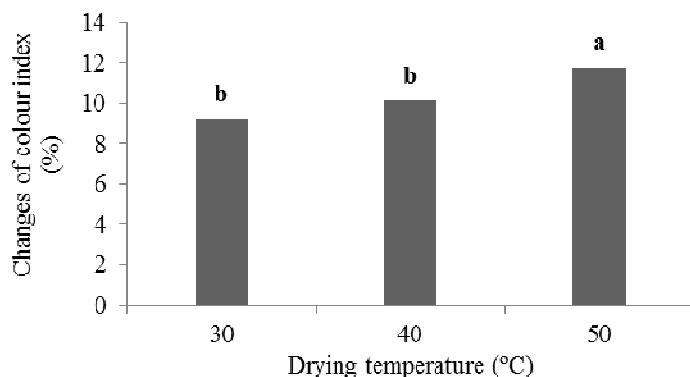
Fig. 4. Mean comparison of the effect of drying method on changes of colour index

میانگین اثر دمای خشک کردن بر شاخص تغییرات رنگ در شکل 5 نشان داده شده است. بر اساس این نمودار بیشترین و کمترین مقدار تغییرات رنگ به ترتیب مربوط به تیمار دمای 50 درجه سلسیوس با 11/76% و تیمار دمای 30 درجه سلسیوس با 9/19% می باشد. همان گونه که در نمودار مشاهده می شود، در تیمارهای دما 30 و 40 درجه سلسیوس علی رغم اختلاف 0/91% در شاخص تغییرات رنگ، اختلاف معنی داری بین آنها مشاهده نشد. با افزایش دمای خشک کردن، رنگ نمونه ها به صورت تصاعدی تیره تر می شوند. رنگ سبز طبیعی برگ ها به دلیل وجود ترکیبی به نام کلروفیل می باشد که به طور مستقیم با منیزیم در ارتباط است. در طی خشک شدن، درجه حرارت بالا منجر به جایگزینی هیدروژن به جای منیزیم در کلروفیل می شود و در نتیجه کلروفیل به فتوفیتین تبدیل می شود (Omidbaigi, 2013).

سرعت و زمان خشک شدن از عوامل مؤثر بر تغییرات رنگ می باشد. هرچه سرعت خشک شدن بیشتر باشد رنگ محصول بهتر حفظ می شود و مانع از تخریب رنگ دانه های آن می شود. کانترانگ¹ و همکاران (2012) در تحقیقی که بر روی تغییرات کیفی قارچ پس از خشک شدن در روش ماکروویو - خلأ تحت تابش مادون قرمز انجام دادند به این نتیجه دست یافتند که ترکیب توان ماکروویو و خلأ با توان تابشی مادون قرمز موجب بهبود کیفیت رنگ ورقه خشک شده قارچ می شود.

اثر دمای خشک کردن بر کیفیت رنگ نمونه های خشک شده

نتایج تجزیه واریانس اثر دمای خشک کردن بر شاخص تغییرات رنگ نعناع در جدول 3 نشان داده شده است. همچنین نتایج مقایسه



شکل 5- مقایسه میانگین اثر دمای خشک کردن بر شاخص تغییرات رنگ

Fig. 5. Mean comparison of the effect of drying temperature on changes of colour index

خشک شدن، به دلیل میزان ناچیز رطوبت آزاد درون محصول نرخ خشک شدن کاهش می‌یابد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد افزایش دمای خشک کردن باعث افزایش سرعت خشک شدن و در نتیجه کاهش مدت زمان لازم برای خشک شدن می‌شود. کمترین میزان تغییرات رنگ برگ‌های نعنای پس از خشک شدن با خشک‌کن خلأی به‌دست آمد که علت آن را می‌توان سرعت بالای عملیات خشک کردن و وجود خلأ در محفظه خشک‌کن دانست. مطابق با یافته‌های این پژوهش، افزایش دمای خشک کردن باعث تیره شدن رنگ برگ‌های گیاه می‌شود که این رنگ تیره ناشی از تخریب کلروفیل می‌باشد. کمترین تغییر در رنگ برگ‌های نعنای از نمونه خشک شده در دمای 30 درجه سلسیوس به‌دست آمد.

درجه حرارت بالا باعث تیره شدن رنگ گیاه می‌شود که این رنگ تیره بعد از فرآیند خشک شدن ناشی از تخریب کلروفیل می‌باشد که با نتایج باچالت¹ و همکاران (2009)؛ عرب‌حسینی² و همکاران (2007)؛ علی³ و همکاران (2014)؛ سردای و ژو⁴ (2009) هم‌خوانی دارد.

نیک‌جوی و هاشمی⁵ (2014) در تحقیقی که بر روی تغییرات رنگ برگ‌های مرزه تحت شرایط خشک کردن در دماهای 40، 50، 60 و 70 درجه سلسیوس انجام دادند به این نتیجه دست یافتند که افزایش دمای خشک کردن باعث افزایش شاخص تغییرات رنگ می‌شود. آن‌ها نشان دادند خشک کردن در دمای 40 درجه سلسیوس موجب کمترین تغییر در رنگ نمونه‌ها شد که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت، دما و روش خشک کردن تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال 1 درصد بر مدت زمان لازم برای خشک شدن گیاه نعنای داشت. استفاده از خشک‌کن خلأی زمان خشک شدن نعنای را (حدود 50 دقیقه) نسبت به خشک‌کن خورشیدی کاهش داد. بنابراین می‌توان گفت خشک‌کن خلأی مناسب‌ترین روش جهت کاهش زمان خشک شدن می‌باشد. در ابتدای زمان خشک کردن به دلیل محتوی رطوبتی بالا در برگ‌های نعنای سرعت خشک شدن نزولی می‌باشد و در انتهای فرآیند

- 1- Buchailot
- 2- Arabhosseini
- 3- Ali
- 4- Therdtthai and Zhou
- 5- Nikjooy and Hashemi

References

1. Afsharijoubari, H., A. Frahnaki, Gh. Mesbahi, and M. Niakosari. 2012. Effect of temperature and air velocity on drying Mazafati variety by drying cabinet. Iranian Food Science and Technology. Ferdowsi University of Mashhad. (In Farsi).
2. Afzal, T. M. and T. Abe. 1998. Diffusion in potato during far infrared radiation drying. Journal of Food Engineering 37: 353-365.
3. Ali, M. N., Y. A. Yusof, N. L. Chin, M. N. Ibrahim, and S. M. A. Basra. 2014. Drying kinetics and colour analysis of *Moringa oleifera* leaves. Agriculture and Agricultural Science Procedia 2: 394-400.
4. Arabhosseini, A., and Y. Müller. 2014. Review changes to the essence of medicinal plants during the drying process. The National Conference of Medicinal Plants and Sustainable Agriculture. Shahid Mofateh University of Hamedan. (In Farsi).
5. Arabhosseini, A., W. Huisman, A. Wan Boxtel, and J. Müller. 2007. Long-term effects of drying conditions on the essential oil and color of tarragon leaves during storage. Journal of Food Engineering 79: 561-566.
6. ASABE Standards. S358.2-Moisture Measurement-Forages, 2008. American Society of Agricultural and Biological Engineers: St. Joseph, MI, USA.
7. Belghit, A., M. Kouhila, and B. C. Boutaleb. 2000. Experimental study of drying kinetics of forced convection of aromatic plants. Energy Conversion and Management 41, p. 1303.
8. Buchailot, A., N. Caffin, and B. Bhandari. 2009. Drying of lemon myrtle (*Backhousia citriodora*) leaves: retention of volatiles colour. Drying Technology 27: 445-450.
9. Datta, A. K., and M. Almedia. 2005. Properties relevant to infrared heating of foods. Cornell University, Ithaca, New York. Chapter 6. 209-220. (Accessed October 2014).
10. Doymaz, I., N. Tugrul, and M. Pala. 2006. Drying characteristics of dill and parsley Leaves. Journal of Food Engineering 77, p. 559.
11. Ebadi, M. T., M. Azizi, F. Sefidkon, and N. Ahmadi, 2014. Influence of different drying methods of drying period, essential oil content and composition of *lippie citriodora* kunth. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants: 1-6.
12. Feleh Karry, M., R. Amiri Chaichan, and J. Amiri Parnian. 2012. Evaluation of some physical properties (color and shrinkage) shallots infrared drying method- displacement. 7th National Congress of Agricultural Engineering and Mechanisation. Shiraz Univ. of Shiraz. (In Farsi).
13. Forson, F., M. Nazha, and H. Rajakaruna. 2007. Design of mixed-mode natural convection solar crop dryers: Application of principles and rules of thumb. Renewable Energy 32: 2306-2319.
14. Hafezi, N., M. J. Sheikh Davoodi, S. M. Sajadiye, and E. Khorasani Ferdavani. 2014. Evaluation of energy consumption of potato slices drying using vacuum- infrared method. International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research 2 (10): 2651-2658.
15. Kantrong, H., A. Tansakul, and G. S. Mittal. 2012. Drying characteristics and quality of shiitake mushroom undergoing microwave-vacuum drying and microwave-vacuum combined with infrared drying. Journal Food Scientists and Technologists.
16. Lee, J. H., and H. J. Kim. 2009. Vacuum drying kinetics of Asian white radish (*Raphanus sativus* L.) slices. LWT-Food Science and Technology 42: 180-186.
17. Lee, J. H., H. J. Kim, and J. W. Rhim. 2012. Vacuum drying characteristics of *Salicornia herbacea* L. Journal of Agricultural Science and Technology 14: 587-598.
18. Li, Z., G. S. V. Raghavan, N. Wang, and C. Vigneault, 2011. Drying rate control in the middle stage of microwave drying. Journal of Food Engineering 104: 234-238.
19. Madamba, P. S., and F. A. Liboon. 2001. Optimization of the vacuum dehydration of celery (*Apium graveolens*) using the response surface methodology. Drying Technology 19 (3): 611-626.
20. Mendozaa, F., P. Dejmekb, M. Jos'e. 2006. Aguilera Calibrated color measurements of agricultural foods using image analysis. Postharvest Biology and Technology 285: 41-295.
21. Mongpraneet, S., T. Abe, and T. Tsurusaki. 2002. Accelerated drying of welsh onion by far infrared radiation. Journal of Food Engineering 55: 147-156.
22. Nikjooy, S., and S. H. Hashemi. 2014. The effect of drying conditions on the color of savory (*Satureia hortensis*) leaves. International Journal of Agriculture and Crop Sciences. 7 (5): 225-229.

23. Omidbaigi, R. 2013. Production and Processing of Medicinal Plants. First volume, 7th edition, Press Astan Ghods Razavi of Mashhad. (In Farsi).
24. Rodri'guez, R., J. I. Lombrana, M. Kamel, and C. De Elvira. 2005. Kinetic and quality study of mushroom drying under microwave and vacuum. *Drying Technology* 23: 2197-2213.
25. Rubinskienė, M., P. Viškelis, E. Dambrauskienė, J. Viškelis, and R. Karklelienė. 2015. Effect of drying methods of the chemical composition and colour of peppermint (*Mentha piperita* L.) leaves. *Zemdirbyste-Agriculture* 102 (2): 223-228.
26. Sadrnia, H., H. Monfared, and M. Khojasteh Pour. 2015. Compare the two drying methods on energy consumption and quality parameters, despite the purple turnip. *Journal of Agricultural Machinery* 5 (1): 143-153. (In Farsi).
27. Sharma, G. P., R. C. Verma, and P. B. Pathare. 2005. Thin-layer infrared radiation drying of onion slices. *Journal of Food Engineering*. 67: 361-366.
28. Therdthai, N., and W. Zhou. 2009. Characterization of microwave vacuum drying and hot air drying of mint leaves (*Mentha cordifolia* opiz ex fresen). *Journal of Food Engineering* 91: 482-489.
29. Toujani, M., L. Hassini, S. Azzouz, and A. Belghith, 2013. Experimental study and mathematical modeling of silverside fish convective drying. *Journal of Food Processing and Preservation* 37: 930-938.
30. VijayaVenkataRaman, S., S. Inian, and R. Goic. 2012. A review of solar drying technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16: 2652-2670.
31. Zareh Deh Abadi, S., Z. Asrar, and M. Mehrabani. 2010. The terpenoids in the essential oil mint (*Mentha piperita* L.) biochemical changes in response to treatment with an excess of zinc (Zn). *Journal of Plant Biology*. (In Farsi).

The Effect of Temperature and Drying Method on Drying Time and Color Quality of Mint

H. Bahmanpour¹ - S. M. Sajadiye^{2*} - M. J. Sheikhdavoodi³ - M. Zolfaghari⁴

Received: 09-11-2015

Accepted: 16-07-2016

Introduction

Mint (*Mentha spicata* L.) belongs to the Lamiaceae family, is an herbaceous, perennial, aromatic and medicinal plant that cultivated for its essential oils and spices. Since the essential oil is extracted from dried plant, choosing the appropriate drying method is essential for gaining high quality essential oil. Vacuum drying technology is an alternative to conventional drying methods and reported by many authors as an efficient method for improving the drying quality especially color characteristics. On the other side, solar dryers are also useful for saving time and energy. In this study the effect of two method of dryings including vacuum-infrared versus solar at three different conventional temperatures (30, 40 and 50°C) on mint plant is evaluated while factorial experiment with randomized complete block is applied. Drying time as well as color characteristics are considered for evaluation of each method of drying.

Materials and Methods

Factorial experiment with randomized complete block was applied in order to evaluate the effect of drying methods (vacuum-infrared versus solar) and temperature (30, 40 and 50°C) on drying time and color characteristics of mint. The initially moisture content of mint leaves measured according to the standard ASABE S358.2 during 24 hours inside an oven at 104 °C. Drying the samples continued until the moisture content (which real time measured) reached to 10% wet basis. The components of a vacuum dryer consisted of a cylindrical vacuum chamber (0.335 m³) and a vacuum pump (piston version). The temperature of the chamber was controlled using three infrared bulbs using on-off controller. Temperature and weight of the products registered real time using a data acquisition system. The components of a solar dryer were consisting of a solar collector and a temperature control system which was turning the exhaust fan on and off in order to maintain the specific temperature. A data acquisition system was applied to register and monitoring product weight real time. For imaging of dried samples, a semi-professional digital cameras Fujifilm Fine Pix HS55model Barzvlvshn 921000 pixel was applied. Dry samples were used to determine the RGB color model that consists of three whole red (Red), green (Green) and blue (blue) light intensity 0 to 255 (in this case, zero for black and 255 for white pixels) Finally, the average of RGB changes color index were calculated as the mean change color of samples during the drying.

Results and Discussion

The results showed that drying time of solar dryer is more than vacuum-infrared (averaged: 201 versus 153 minutes). For two methods of drying, increasing temperature, made reduction in drying time. The maximum drying time registered 237 minutes for solar method which was set to 30°C and minimum drying time was registered 112 minutes relating to vacuum –infrared which was set to 50°C. Color evaluation showed that the effect of drying method on the changes of colour index (before and after drying) is reasonable. Vacuumed-infrared dryer case with 8.75% color change was showed to be much efficient than solar dryer with 11.96% change. Analysis of variance was performed due to the drying temperature index mint color changes and results showed the reasonable difference. The highest and lowest color change related to the temperature of 50°C (11.767%) and 30°C (9.197%) respectively.

1, 2 and 3- MS.c. student, Assistant Professor and Associate Professor Respectively, Department of Biosystems Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz

4- Assistant Professor, Department of Horticulture Science, Shahid Chamran University of Ahvaz

(* - Corresponding Author Email: m.sajadiye@scu.ac.ir)

Conclusions

Drying method as well as applying temperature showed rescannable effects on drying time and color quality of mint. The vacuum-infrared method reduces drying time for all temperature treatments considered in this study. Beside this, using vacuum-infrared showed minimum changes on color characteristic and can be say more efficient in aspect of color quality especially at its lowest applicable temperature (30 C). Increasing temperature causes the samples to be more darken for both drying methods. This phenomena may be related to replacement of magnesium by hydrogen inside the chlorophyll and then causing the chlorophyll to be destroyed.

Keywords: Color, Dryer, Mint, Solar, Vacuum-infrared