نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۷، شماره ۱، نیمسال اول ۱۳۹۶، ص ۱۲۵-۱۱۴

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 7, No. 1, Spring - Summer 2017, p. 114-125

ارزیابی و مقایسه خشک‌کن خورشیدی همرفت طبیعی و اجباری برای خشک کردن سبزیجات در استان خوزستان

جعفر حبیبی اصل[۱*]- لیلا بهبهانی[۲]- آذرخش عزیزی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۴/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۸/۰۶

چکیده

به‌منظور بهره‌گیری از منابع انرژی پاک، کاهش ضایعات سبزیجات و افزایش سطح درآمد سبزی‌کاران، پژوهش حاضر طی سال‌های ۹۲-۱۳۹۰ در بخش فنی و مهندسی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان اجراء گردید. در این پژوهش از خشک‌کن خورشیدی کابینتی سه طبقه با کلکتور شیاری استفاده شد. برای جریان بهتر هوا در خشک‌کن، یک هواکش در بالای اتاق خشک‌کنی نصب گردید. عملکرد این خشک‌کن، با خشک کردن سبزی نعناع تحت سه تراکم ۲، ۳ و ۴ کیلوگرم بر مترمربع به روش‌های همرفت طبیعی و اجباری در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار ارزیابی و با روش سنتی (خشک کردن در سایه و هوای آزاد) مقایسه گردید. نتایج آزمایش نشان داد که زمان مورد نیاز برای خشک شدن سبزی نعناع در خشک‌کن خورشیدی بسته به تراکم محصول در سینی‌ها، ۳/۵ تا ۱۵ساعت بود. درحالی‌که در روش مرسوم این زمان حدود ۵ روز به طول کشید. در رابطه با تأثیر قرارگیری سبزی نعناع در سینی‌های مختلف خشک‌کن، نتایج نشان داد که در سینی‌های بالاتر به‌دلیل کندتر شدن جریان هوا، زمان مورد نیاز برای رسیدن به رطوبت نهایی بین ۱۸ تا ۲۵ درصد افزایش یافت. مقایسه میانگین زمان خشک شدن نعناع نشان داد که زمان خشک شدن به روش همرفت اجباری نسبت به روش همرفت طبیعی به‌طور متوسط ۲۹/۷ درصد کاهش پیدا کرد. آنالیز رگرسیونی داده‌های مربوط به زمان خشک شدن نعناع نیز نشان داد که بهترین توصیف ریاضی رابطه بین رطوبت درونی سبزی نعناع و زمان خشک شدن معادله نمایی می‌باشد. بیشترین درصد اسانس با مقدار ۰/۸۰ درصد به تیمار خشک کردن به روش همرفت طبیعی و تراکم $3\ kg\ m^{-2}$ و کمترین آن به مقدار ۰/۳۰ درصد به تیمار همرفت اجباری و تراکم $2\ kg\ m^{-2}$ تعلق داشت. همچنین بیشترین مقدار کلروفیل را تیمار همرفت طبیعی و تراکم $3\ kg\ m^{-2}$ با ۸/۵۱ میلی‌گرم بر گرم برگ و کمترین مقدار را تیمار همرفت اجباری و تراکم $2\ kg\ m^{-2}$ با ۴/۱۸ میلی‌گرم بر گرم برگ دارا بودند. لذا براساس نتایج به‌دست آمده، می‌توان در شرایط همرفت طبیعی تراکم $3\ kg\ m^{-2}$ و در شرایط همرفت اجباری تراکم $4\ kg\ m^{-2}$ را پیشنهاد نمود.

واژه‌های کلیدی: اسانس، خشک‌کن خورشیدی، کلروفیل، نعناع، همرفت اجباری، همرفت طبیعی

مقدمه

خشک کردن یک روش مرسوم برای نگهداری مواد غذایی و بسیاری از فرآورده‌هایی نظیر سبزیجات می‌باشد. مهمترین مزیت خشک کردن مواد غذایی، کاهش رطوبت درونی آن‌ها تا رسیدن به سطح اطمینان به‌منظور افزایش عمر انباری[۴] آن‌ها می‌باشد. حذف رطوبت اضافی در مواد غذایی علاوه بر جلوگیری کردن از ضایعات شیمیایی در آن، باعث کاهش هزینه نگهداری و حمل و نقل آن می‌شود (Ekechukwa and Norton, 1998). بسیاری از سبزیجات به‌طور طبیعی فصلی بوده و ممکن است در یک دوره زمانی خاص در یک منطقه ویژه به‌وفور تولید گشته و عرضه آن‌ها به بازار افزایش یابد. بنابراین به‌دلیل فسادپذیر بودن آن‌ها، مقادیر زیادی از سبزیجات در یک دوره زمانی کوتاه از بین می‌روند. ضایعات پس از برداشت سبزیجات در اثر کمبود وسایل حمل و نقل، نبود زیرساخت‌های مناسب فرآوری و نگهداری و همچنین مشکلات بازاریابی حدود۳۰ تا ۴۰ درصد تخمین زده شده‌اند. فرآوری سبزیجات می‌تواند یک نقش حیاتی را در کاهش ضایعات و بالا بردن ارزش آن‌ها داشته باشد که در نتیجه آن، سطح درآمد تولیدکنندگان نیز بهبود خواهد یافت (Ekechukwa and Norton, 1997). خشک‌کن‌های خورشیدی

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب استادیار پژوهش، کارشناس محقق و مربی پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: jhabibi139@yahoo.com
DOI: 10.22067/jam.v7i1.48370
4- Shelf life

محصولات را به‌طور یکنواخت و بهداشتی خشک می‌کنند که مزیت مهمی در صنعت خشک‌کنی به‌حساب می‌آید. همچنین محصولات، در زمان خشک شدن، از باران، گرد و خاک، حشرات و جانوران محافظت می‌شوند. این خشک‌کن‌ها سریع‌تر از خشک کردن در معرض مستقیم خورشید عمل می‌کنند و از طرفی قیمت بسیار کمتری نسبت به سیستم‌های خشک‌کن مکانیزه دارند (Bagheri *et al.* 2009; El-Sebaii *et al.*, 2002). انواع مختلف خشک‌کن‌های خورشیدی به‌وسیله محققین مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. نتایج نشان داده‌اند که اگرچه برای محصولات کشاورزی تجاری، خشک‌کن‌های خورشیدی با همرفت اجباری[1] کنترل بهتری از هوای خشک‌کننده تأمین می‌کنند، ولی نیاز به انرژی بیشتری برای عملیات خشک‌کنی دارند. از این رو خشک‌کن‌های خورشیدی با همرفت طبیعی[2] برای خشک کردن مواد غذایی به‌ویژه وقتی که در لایه نازکی قرار گیرند، توصیه شده‌اند (Esper and Muhlbauer, 1998). کنترل مراحل خشک‌کنی در خشک‌کن‌های با همرفت طبیعی مشکل می‌باشد، زیرا برای کاهش هزینه ساخت آن‌ها، مکانیزم‌های کنترل ویژه به‌کار گرفته نمی‌شود. بهترین راه‌حل استفاده از هواکش[3] می‌باشد (Basunai and Abe, 2001). هواکش زمان بقای هوای گرم در محفظه خشک کن را تنظیم می‌کند. نتایج تحقیقات مختلف در این زمینه نشان داده است که اگر هواکش خورشیدی خوب طراحی شود، می‌تواند علاوه بر افزایش ماندگاری هوای گرم در محفظه خشک‌کن، جریان هوای مورد نیاز و آهنگ خشک‌کنی را افزایش دهد (Basunai and Abe, 2001). در ارزیابی عملکرد یک خشک‌کن خورشیدی کابینتی همرفت اجباری، تأثیر دبی هوای خشک‌کن و نحوه به‌کارگیری آن بر روند کاهش رطوبت انگور و یکنواختی فرآیند خشک شدن روی سینی‌ها نشان داد که مدت زمان لازم برای خشک شدن محصول چهار روز و هر روز به مدت ۶ ساعت (با میانگین شدت تابش خورشید ۸۷۰ وات بر متر مربع) می‌باشد. همچنین مشخص شد که دبی هوا اثر معنی‌داری بر کاهش رطوبت محصول دارد (Dadashzadeh *et al.*, 2008). در آزمایشی با استفاده از یک دستگاه خشک‌کن خورشیدی طبقه‌ای از نوع مختلط، سبزی شوید در شرایط همرفت طبیعی و همرفت اجباری و در سه عمق مختلف ۳، ۶ و ۱۰ سانتی‌متر خشک گردید. نتایج نشان داد که در عمق کم بین حالت‌های همرفت طبیعی و اجباری تفاوت آماری معنی‌داری وجود نداشت، در حالی‌که برای عمق‌های ۶ و ۱۰ سانتی‌متر استفاده از سیستم همرفت اجباری سرعت خشک شدن بیشتر از حالت همرفت طبیعی بود. در بررسی دمای‌کاری دستگاه خشک‌کن نیز مشاهده شد که در شرایط همرفت طبیعی، دمای نقاط مختلف دستگاه به‌دلیل افت فشار استاتیکی بالاتر از شرایط همرفت اجباری بود (Almasi *et al.*, 2003). در تحقیقی، یک خشک‌کن خورشیدی با همرفت طبیعی برای خشک کردن انگور مورد ارزیابی قرار گرفت. در این تحقیق، آنالیز کیفی روی انگور خشک شده نشان داد که خشک کردن سنتی در سایه و در معرض خورشید به‌ترتیب ۱۵ و ۷ روز نیاز داشت، در صورتی‌که استفاده از خشک‌کن خورشیدی در همان شرایط تنها ۴ روز به طول انجامید و کیفیت محصول نیز بهتر بود (Pangavhane *et al.*, 2002). کیفیت محصولات مختلف نظیر گوجه فرنگی، انگور، انجیر، نخود سبز و پیاز که با خشک‌کن خورشیدی همرفت طبیعی خشک شده‌اند، در مقایسه با خشک کردن در معرض خورشید بالاتر گزارش گردید (El-Sebaii *et al.*, 2002). به‌طور مشابه قبا و همکاران (۲۰۰۶) یک خشک‌کن خورشیدی با همرفت طبیعی ارزان قیمت را طراحی کرده و ساختند. آنها با خشک کردن قطعات سیب زمینی، موز و انبه آزمایش‌های متعددی روی این خشک‌کن انجام دادند. نتایج نشان داد که کارآیی حرارتی خشک‌کن جدید براساس انتقال گرما و جرم تحت تأثیر تابش خورشید در مقایسه با خشک کردن در معرض تابش مستقیم خورشید بسیار بالاتر بود (Ghaba *et al.*, 2006).

در استان خوزستان نیز با توجه به بالا بودن روزهای آفتابی در سال، به نظر می‌رسد که انرژی خورشیدی جایگزین مناسبی برای سوخت‌های فسیلی بوده و لازم است در زمینه راه‌های استفاده از آن تحقیق و مطالعه بیشتری صورت گیرد. در این استان سالانه هزاران تن انواع سبزیجات تولید می‌گردد که اغلب به‌صورت تازه و با قیمت پایین به بازار عرضه شده و به‌دلیل عمر انباری کم، ضایعات بالایی دارند. از طرفی تحقیقات مختلف نشان داده‌اند که خشک کردن با خشک‌کن‌های خورشیدی نه تنها کم هزینه و به صرفه می‌باشد، بلکه محصولات خشک شده با این روش دارای کیفیت مناسب است. بهره‌وری بالاتر از انرژی خورشیدی در خشک کردن یک محصول خاص، مستلزم استفاده از روش و سیستم‌های مناسب برای شرایط اقلیمی در هر منطقه می‌باشد. بنابراین به‌منظور استفاده بهینه با بهره‌وری بالاتر از مزایای انرژی خورشیدی در خشک کردن سبزیجات زمستانه در استان خوزستان، پژوهش حاضر با هدف بهره‌گیری از منابع انرژی پاک و کاهش ضایعات سبزیجات در منطقه اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر طی سال‌های ۹۲-۱۳۹۰ در بخش فنی و مهندسی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان اجراء گردید. در این پژوهش یک خشک‌کن خورشیدی کابینتی با کلکتور شیاری به ابعاد ۱×۲ متر برای جمع‌آوری انرژی خورشیدی و تبدیل آن

1- Forced convection
2- Natural convection
3- Chimney

به گرما ساخته شد (شکل ۱). استفاده از صفحه جاذب شیاردار باعث افزایش سطح جذب انرژی خورشیدی در کلکتور حاضر، از ۲ متر مربع به ۳/۲ متر مربع شد. اتاق خشک‌کنی از محفظه‌ای عایق دار به ابعاد ۸۰×۸۰×۱۰۰ سانتی‌متر و دارای سه طبقه تشکیل شده بود. لایه‌های سبزی جهت خشک شدن روی سینی‌های مشبک در سه طبقه پهن شدند. از آن‌جایی‌که عبور جریان هوا از میان محصول خشک شونده می‌تواند به‌صورت جابه‌جایی طبیعی (همرفت طبیعی) یا جابه‌جایی اجباری (همرفت اجباری) باشد، خشک‌کن ساخته شده هم در حالت همرفت طبیعی و هم در حالت همرفت اجباری مورد ارزیابی قرار گرفت. در حالت همرفت طبیعی، در بالای محفظه خشک‌کنی هواکش طبیعی نصب گردید. این هواکش باعث تقویت جریان هوا در خشک‌کن شد. برای ایجاد همرفت اجباری، یک دمنده الکتریکی با دبی $0/36\ m^3min^{-1}$ در مسیر عبور هوای خشک‌کننده، تعبیه شد. دبی فن توسط دستگاه اندازه‌گیری سرعت هوا و ضرب کردن مقدار آن در سطح مقطع خروجی فن تعیین گردید. پس از تکمیل مراحل ساخت، کلیه قسمت‌های خشک‌کن روی قاب اصلی نصب گردیدند.

به‌منظور اندازه‌گیری و ثبت دما و رطوبت هوا برای هر مدت زمانی دلخواه در قسمت‌های مختلف خشک‌کن، دستگاه داده‌بردار دیجیتال ساخته و روی خشک‌کن خورشیدی نصب گردید (شکل ۲). این دستگاه از دو قسمت دستگاه کنترل مرکزی و حس‌گرها تشکیل شده است. وظیفه دستگاه کنترل مرکزی، راه‌اندازی و کنترل اندازه‌گیرها و ثبت اطلاعات اندازه‌گیری شده توسط حس‌گرها می‌باشد. برای اندازه‌گیری دما و رطوبت از حس‌گرهای SHT75 ساخت کارخانه SENSIRION کشور سوئیس استفاده گردید، که یکی از پیشرفته‌ترین حس‌گرهای موجود می‌باشند، به‌طوری‌که دما و رطوبت محیط را با دقت بالایی اندازه‌گیری کرده و احتیاج به واسنجی ندارند. محدوده دمای قابل اندازه‌گیری توسط این حس‌گرها بین ۴۰- و ۱۲۳ درجه سلسیوس و با دقت ۰/۰۱ درجه سلسیوس می‌باشد. همچنین محدوده رطوبت قابل اندازه‌گیری توسط حس‌گرها بین صفر تا ۱۰۰ درصد و با دقت ۰/۰۳ درصد می‌باشد.

در پژوهش حاضر تعداد ۶ عدد حس‌گر در نقاط مختلف خشک‌کن از جمله ورودی و خروجی کلکتور، اتاق خشک‌کنی و خروجی خشک‌کن نصب گردید (شکل ۳).

در مرحله بعدی پژوهش، عملکرد دستگاه خشک‌کن خورشیدی ساخته شده مورد ارزیابی قرار گرفته و با روش سنتی خشک کردن نعناع در هوای آزاد (خشک کردن در سایه به‌عنوان تیمار شاهد) مقایسه گردید. عملکرد این خشک‌کن در دو حالت همرفت طبیعی و همرفت اجباری، با خشک کردن سبزی نعناع روی سینی‌های خشک‌کنی تحت سه تراکم ۲، ۳ و ۴ کیلوگرم بر متر مربع در سه تکرار ارزیابی شد. در کلیه تیمارها، محصول خشک شونده تا زمانی‌که رطوبت درونی آن به رطوبت به نقطه تعادل رطوبتی در شرایط دمایی و رطوبتی خشک‌کن رسید، خشک شد.

پارامترهای مورد اندازه‌گیری و ارزیابی شامل زمان مورد نیاز خشک کردن محصول، روند تغییر رطوبت در طی زمان خشک شدن، میزان اسانس و مقدار کلروفیل محصول خشک شده بود. ارزیابی داده‌ها در قالب دو طرح آزمایشی انجام گردید. بدین صورت که طرح آزمایشی مربوط به زمان مورد نیاز و روند تغییر رطوبت در طی زمان خشک شدن در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شده و میانگین صفات به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن[1] مقایسه شد. در مورد پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه، یعنی میزان اسانس و مقدار کلروفیل نمونه‌ها، از آزمایش فاکتوریل بر پایه اسپلیت پلات استفاده شد. در این طرح، فاکتوریل نوع همرفت و تراکم محصول به‌عنوان فاکتور اصلی و در شش سطح در نظر گرفته شد. زمان نمونه‌برداری نیز به‌عنوان فاکتور فرعی و در شش سطح قرار گرفت.

شکل ۱- نمای روبه‌رو از خشک‌کن خورشیدی مورد آزمایش
Fig.1. Front view of experimental solar dryer

پارامترهای مورد اندازه‌گیری و ارزیابی و نحوه‌ی تعیین آن‌ها به شرح زیر بود:

- **زمان مورد نیاز خشک کردن محصول:** زمان خشک کردن سبزیجات در هر روش، از موقع قرار دادن نعناع تازه در معرض خشک شدن تا موقعی که رطوبت درونی آن تغییر نکرده و ثابت بماند، اندازه‌گیری شد. به این منظور سه عدد نمونه نعناع با جرم مشخص در سبدهای کوچک نمونه‌گیری در نقاط مختلف هر سینی قرار داده شد. سپس در طی عملیات خشک کردن، هر نیم ساعت یک بار این نمونه‌ها با ترازوی دیجیتالی و با دقت ۰/۰۱ گرم وزن می‌شدند.

1- Dancan

شکل ۲- دستگاه داده‌بردار خودکار برای راه اندازی و کنترل سنسورها و ثبت اطلاعات اندازه‌گیری شده

Fig.2. Automatic data logger for starting, controlling sensors and data recording

شکل ۳- حس‌گرهای نصب شده در فضای بین سینی‌ها

Fig.3. Sensors mounted in space of between trays

- **روند تغییر رطوبت در طی زمان خشک شدن:** رطوبت اولیه محصول در تیمارهای مختلف بین ۸۲ تا ۸۴ درصد (بر پایه تر) بود و تا رطوبت نهایی میانگین ۱۳/۳ درصد خشک شد. نمونه‌برداری‌ها برای اندازه‌گیری رطوبت در ابتدای هر آزمایش به‌دلیل نرخ بالای رطوبت‌دهی محصول هر ۳۰ دقیقه و سپس هر یک ساعت یک بار انجام گرفت. میزان رطوبت درونی نمونه‌ها توسط دستگاه آون در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت اندازه‌گیری شد. بدین ترتیب منحنی روند تغییرات رطوبتی محصول خشک شونده در مقابل زمان برای روش‌های مختلف خشک کردن رسم گردید (Ethman *et al*., 2009).

- **میزان اسانس:** از آن‌جایی که روش خشک کردن می‌تواند روی میزان اسانس نعناع به‌دلیل فرار بودن آن تأثیر زیادی بگذارد (Ethman *et al*., 2009)، به این لحاظ در این تحقیق ارزیابی این فاکتور مهم در مورد محصول نعناع مدنظر قرار گرفت. به این ترتیب که علاوه بر اندازه‌گیری اسانس نعناع قبل و بلافاصله پس از خشک شدن (که به‌عنوان ماه اول در نظر گرفته شد)، نمونه‌های مربوط به هر تیمار در کیسه‌های پلاستیکی و جعبه‌های مقوایی بسته‌بندی و به مدت ۶ ماه در انبار با شرایط معمول منطقه نگهداری شده و ابتدای هر ماه میزان اسانس نمونه‌های خشک شده با دستگاه اسانس‌گیر اندازه‌گیری شد. انتخاب مدت زمان۶ ماه برای این آزمایش به این دلیل بود که محصولات کشاورزی پس از فرآوری به‌ویژه خشک شدن، با گذشت زمان برخی ویژگی‌های کیفی آن‌ها تغییر کرده و یا از دست داده می‌شود. اسانس‌ها به‌دلیل فرار بودن نیز ممکن از این واقعیت مستثنی نباشند و باید مورد ارزیابی قرار گیرند (Davoodi *et al*., 2007; Duriyaprapan *et al*., 1986; Negi and Roy, 2001).

برای اندازه‌گیری اسانس نمونه‌های آزمایشی، از روش تقطیر با آب توسط دستگاه کلونجر[1] استفاده شد. بدین ترتیب که ۳۰ گرم از نمونه نعناع به همراه ۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر داخل بالن یک لیتری بر روی شعله قرار داده و با سرعت ۳ تا ۴ میلی‌لیتر در دقیقه با دستگاه کلونجر اسانس‌گیری شد. برای تعیین مقدار اسانس استحصالی، از گزیلوز[2] به‌عنوان حلال تعیین‌کننده حجم اسانس استفاده گردید. سپس جرم اسانس هر نمونه بر جرم اولیه نمونه تقسیم و به‌صورت درصد بیان گردید (Duriyaprapan *et al*., 1986).

- **تغییر رنگ محصول خشک شده (تغییرات مقدار کلروفیل):** برای ارزیابی رنگ محصول در این تحقیق، مقدار کلروفیل نعناع خشک شده (رنگ سبز نعناع) طی یک دوره شش ماهه (همانند دوره اندازه‌گیری میزان اسانس) اندازه‌گیری شد. برای سنجش میزان کلروفیل، ۰/۵ گرم از نمونه خشک شده را با چند میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد به‌تدریج ساییده تا کلروفیل وارد محلول استونی شود. سپس حجم محلول توسط بالن ژوژه به ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد. محلول حاصل به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ rpm سانتریفوژ و جذب نوری آن در طول موج ۶۵۲ نانومتر به‌وسیله اسپکتروفوتومتر مدل

1- Clevenger
2- Xylose

Pharmacia Biotech/Novaspec II اندازه‌گیری شد. مقدار کلروفیل بر حسب میلی‌گرم کلروفیل در گرم نمونه طبق فرمول آرنون[1] به‌صورت رابطه (۱) محاسبه شد (Arnon, 1994).

$$CF = A(256)/34.5 \times \frac{V}{W} \qquad (۱)$$

در رابطه (۱)، CF مقدار کلروفیل نمونه بر حسب میلی‌گرم کلروفیل در گرم نمونه، V حجم محلول کلروفیلی بر حسب میلی‌لیتر، W جرم برگ بر حسب گرم و A جذب نوری عصاره می‌باشد.

نتایج و بحث

زمان خشک شدن و روند تغییر رطوبت محصول

مقایسه تیمارهای مختلف نشان داد که در نتیجه‌ی استفاده از خشک‌کن خورشیدی در مقایسه با روش خشک کردن در سایه، زمان خشک شدن محصول ۳ تا ۸ برابر کاهش یافت. زمان مورد نیاز برای خشک شدن سبزی نعناع در خشک‌کن خورشیدی در تیمارهای مختلف با توجه به تراکم محصول و روش خشک‌کنی ۳/۵ تا ۱۵/۳ ساعت به طول انجامید. این در حالی است که در روش سنتی این زمان حدود ۵ روز طول کشید. در جدول ۱ زمان مورد نیاز برای خشک شدن سبزی نعناع در تیمارهای مختلف نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد، زمان مورد نیاز برای خشک شدن سبزی نعناع در خشک‌کن خورشیدی به روش همرفت طبیعی و اجباری بسته به تراکم محصول در سینی‌ها، به‌ترتیب ۶/۲۵ تا ۱۵/۳ و ۳/۵ تا ۱۰ ساعت به طول انجامید. در شکل‌های ۴ و ۵ به‌ترتیب روند تغییر رطوبت نعناع در طول زمان خشک شدن در تراکم‌های مختلف برای همرفت طبیعی و اجباری نشان داده شده است. در این منحنی‌ها رطوبت محصول با نرخ نزولی نسبت به زمان خشک شدن تغییر می‌کند. این نتیجه کاملاً با کارهای انجام گرفته توسط محققین دیگر روی محصولات مشابه مطابقت دارد (Moradi and Zomorodian, 2008; Ethman *et al.*, 2009). همچنین شیب منحنی تراکم کمتر ($۲\ kg\ m^{-2}$) در شکل‌های ۴ و ۵ بیشتر از دو تراکم دیگر می‌باشد. این می‌تواند به‌دلیل جریان سریع‌تر هوا از میان توده کم‌تراکم نعناع باشد. منحنی‌ها نیز نشان می‌دهند که هرچه تراکم محصول بیشتر شود، به‌دلیل کندتر شدن جریان هوا در خشک کن، رسیدن محصول به رطوبت نهایی دیرتر صورت می‌پذیرد. کندتر شدن جریان هوا نیز باعث افزایش میزان رطوبت در محفظه خشک‌کنی شده و روند از دست دادن رطوبت محصول را کاهش می‌دهد (Almasi *et al.*, 2003). در رابطه با تأثیر قرارگیری سبزی نعناع در سینی‌های مختلف خشک‌کن، نتایج نشان داد که در سینی‌های بالاتر زمان مورد نیاز برای رسیدن به رطوبت نهایی افزایش می‌یابد. این به دلیل افزایش رطوبت نسبی هوا در زمان رسیدن به سینی‌های بالاتر می‌باشد. مشاهدات اندازه‌گیری رطوبت هوای خشک‌کننده در نقاط مختلف خشک‌کن نیز مؤید این مطلب بود.

مقایسه بین روش‌های خشک کردن نشان داد که زمان رسیدن به رطوبت نهایی محصول خشک شونده در روش همرفت اجباری به‌طور متوسط ۲۹/۷ درصد نسبت به روش همرفت طبیعی کاهش یافت. کاهش این زمان در تراکم‌های ۲، ۳ و ۴ کیلوگرم بر متر مربع به‌ترتیب ۳۹، ۲۴ و ۲۸ درصد بود. همچنین کاهش زمان خشک شدن در روش همرفت اجباری نسبت به همرفت طبیعی در سینی‌های ۱، ۲ و ۳ به‌ترتیب ۳۰، ۲۸/۷ و۳۰ درصد محاسبه گردید. استفاده از دمنده موجب تسریع در جابه‌جایی هوای خشک کننده در روش همرفت اجباری گردید و این امر در کاهش زمان رسیدن به رطوبت نهایی محصول تأثیر گذاشته بود. کاهش زمان خشک شدن در همرفت اجباری نسبت به همرفت طبیعی در سینی بالایی بیشتر از سینی‌های پایینی و میانی بود. زیرا در روش همرفت طبیعی به‌دلیل کندی جریان هوا از میان توده‌های سبزی، روند از دست دادن رطوبت در سینی بالایی به مقدار قابل توجهی کاهش پیدا کرد. ولی در روش همرفت اجباری محدودیت جریان هوا در بین سینی‌ها کمتر شده و اختلاف سرعت از دست دادن رطوبت بین سینی‌های مختلف نسبت به روش همرفت طبیعی کاهش یافت.

میزان اسانس نعناع خشک شده

قبل از اجرای تیمارهای آزمایشی، میزان رنگ (براساس مقدار کلروفیل) و اسانس نمونه‌های نعناع تازه برداشت شده از مزرعه اندازه‌گیری گردید. مقدار اسانس نمونه تازه ۰/۴۳ درصد و میزان رنگ آن ۰/۰۹ میلی‌گرم کلروفیل در گرم نمونه بود.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که نوع همرفت، تراکم نعناع و تمامی اثرات متقابل آن‌ها در سطح احتمال ۱ درصد بر مقدار اسانس معنی‌دار می‌باشد، ولی اثر متقابل نوع همرفت در زمان نمونه‌برداری دارای اثر معنی‌دار نبود (جدول ۲).

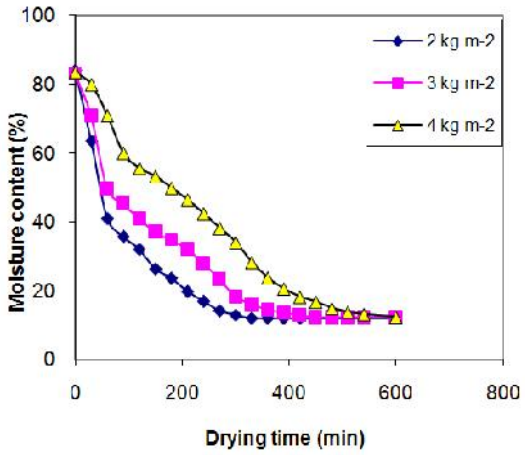
نتایج همچنین نشان داد که میزان اسانس موجود در نمونه‌های خشک شده به روش همرفت طبیعی به‌طور متوسط ۵ درصد بیش از اسانس مربوط به همرفت اجباری می‌باشد. علت اصلی کمتر بودن میزان اسانس در روش همرفت اجباری نسبت به همرفت طبیعی مربوط به افزایش شدت تبخیر آب از نعناع می‌باشد. در همرفت اجباری شدت برخورد هوای گرم با نعناع در محفظه خشک‌کن (به‌دلیل استفاده از فن) بیشتر بوده و در نتیجه باعث تبخیر سریع رطوبت و کاهش اسانس در نعناع شد.

1- Arnon

جدول ۱- میانگین زمان خشک شدن نعناع (به ساعت) در تیمارهای مختلف خشک‌کن خورشیدی

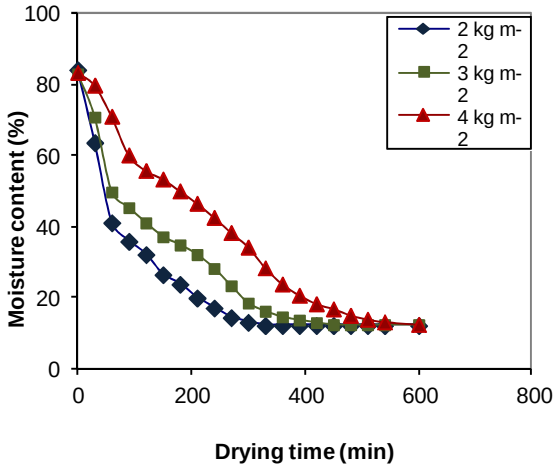
Table 1- Mean of mint drying time (in hours) in different solar dryer treatments

روش خشک کردن Drying method	Trays position محل سینی‌ها	Mass density (kg m^{-2}) (تراکم محصول)			میانگین Mean
		2	3	4	
همرفت طبیعی Natural convection	Down tray	6.25	6.7	9.3	7.42
	Second tray	7.6	8.3	10.5	8.8
	Upper tray	8.3	9.3	15.3	10.97
	Mean	7.38	8.1	11.7	9.06
همرفت اجباری Forced convection	Down tray	3.5	5	7	5.17
	Second tray	4.5	6	8.3	6.27
	Upper tray	5.5	7.5	10	7.67
	Mean	4.5	6.17	8.43	6.37



شکل ٤- روند کاهش رطوبت تراکم‌های مختلف نعناع طی زمان خشک شدن به روش همرفت طبیعی

Fig.4. Moisture downswing of different mint density dried in natural convection method



شکل ٥- روند کاهش رطوبت تراکم‌های مختلف نعناع طی زمان خشک شدن به روش همرفت اجباری

Fig.5. Moisture downswing of different mint density dried in forced convection method

جدول ۲- جدول آنالیز واریانس تأثیر تیمارهای مختلف مورد ارزیابی بر رنگ و مقدار اسانس

Table 2- ANOVA results of the effect of evaluated treatments on color and essence values

منابع تغییرات Source of variations	میانگین مربعات Mean squares		
	درجه آزادی Degree of freedom	مقدار اسانس Essence	مقدار کلروفیل Color
Convection type (A) نوع همرفت	1	0.028*	130.435**
Mass density (B) تراکم محصول	3	0.96**	57.921**
A×B	3	0.386**	17.783**
Error	16	0.004	0.006
Sampling time (C) زمان نمونه گیری	5	0.52**	8.543**
A×C	5	0.003ns	0.104**
B×C	15	0.027**	0.082**
A×B×C	15	0.008**	0.092**
Error	80	0.002	0.003

*و**: به‌ترتیب معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد.

*, **: significant at 1% and 5% levels respectively.

درحالی‌که در روش همرفت طبیعی، عملیات خشک شدن و کاهش رطوبت نعناع با سرعت کمتری رخ داده و اسانس بیشتری نسبت به روش همرفت اجباری در نعناع خشک شده باقی ماند (Blanco *et al.*, 2002; Dragana *et al.*, 2010). البته این نتایج در تراکم‌های ۲و۳ کیلوگرم بر متر مربع به‌دست آمد. ولی در تراکم ۴ کیلوگرم بر متر مربع نتیجه برعکس بود. یعنی در این تراکم میزان اسانس نعناع در همرفت اجباری به‌طور متوسط ۴۱ درصد بیش از همرفت طبیعی مشاهده گردید. زیرا تراکم بالاتر نعناع در روش همرفت اجباری مانعی در جهت افزایش سرعت هوای خشک‌کننده بوده و باعث تبخیر کمتر اسانس شده است.

نتیجه دیگری که در این آزمایش به‌دست آمد، این بود که برخلاف همرفت اجباری، در روش همرفت طبیعی، با افزایش تراکم از ۳ به ۴ کیلوگرم بر متر مربع، میزان اسانس ۳۳ درصد کاهش یافت. زیرا در روش همرفت طبیعی افزایش تراکم به ۴ کیلوگرم بر مترمربع، باعث گرفتگی بیشتر مسیرهای عبور هوای خشک‌کننده (به‌دلیل عدم استفاده از فن) گردید. در این شرایط که مدت زمان خشک شدن نیز به شدت افزایش یافته بود، حالت ماندگی ایجاد و بافت برگ‌های نعناع دچار تخریب شده و در نتیجه میزان اسانس کاهش یافت.

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تراکم نعناع در نوع همرفت بر میزان اسانس و کلروفیل

Table 3- Means comparison of the effect of mass density and convection type interactions on essence and chlorophyll content

تیمارهای آزمایشی Treatments	مقایسه میانگین‌ها در سطح ۵ درصد Means comparison at 5% level of significant*		
	تراکم Density	میزان اسانس Essence content (%)	مقدار کلروفیل Chlorophyll content ($mg.g^{-1}$)
همرفت طبیعی Natural convection	2 kg m^{-2}	0.354d	6.56d
	3 kg m^{-2}	0.807a	8.51a
	4 kg m^{-2}	0.541c	8.49a
همرفت اجباری Forced convection	2 kg m^{-2}	0.304e	4.18f
	3 kg m^{-2}	0.524c	6.61c
	4 kg m^{-2}	0.763a	5.15e

*: میانگین‌های هر ستون که دارای حروف مشترک هستند، اختلاف معنی‌داری ندارند.

*: There is no significant difference between means which have common letter in each column.

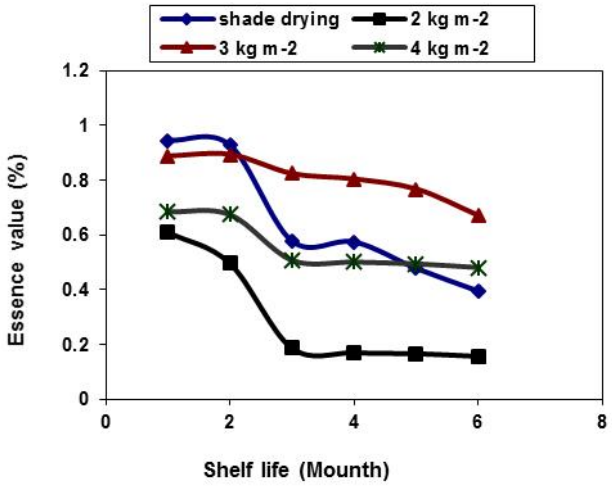
جدول ٤- مقایسه میانگین‌های اثر زمان نمونه‌برداری بر میزان اسانس و کلروفیل مستقل از اثر همرفت و تراکم

Table 4- Means comparison of the effect of sampling time on essence and chlorophyll content

زمان نمونه‌برداری (ماه) Sampling time (month)	مقایسه میانگین‌ها در سطح ۵ درصد Means comparison at 5% level of significant*	
	میزان اسانس Essence content (%)	مقدار کلروفیل Chlorophyll content (mg g^{-1})
1	0.768f	6.37a
2	0.729e	6.58b
3	0.569d	6.76c
4	0.518c	7.05d
5	0.457b	7.42e
6	0.402a	7.98f

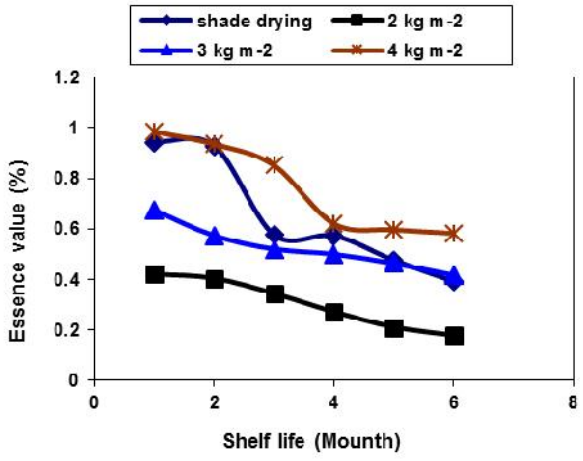
*: میانگین‌های هر ستون که دارای حروف مشترک هستند، اختلاف معنی‌داری ندارند.

*: there is no significant difference between means which have common letter in each column.



شکل ٦- منحنی‌های تغییر اسانس نعناع خشک شده به روش همرفت طبیعی و تیمار شاهد در طی زمان انبارداری

Fig.6. Essence changing curves of natural convection and shade dried mint during shelf time



شکل ۷- منحنی‌های تغییر اسانس نعناع خشک شده به روش همرفت اجباری و تیمار شاهد در طی زمان انبارداری

Fig.7. Essence changing curves of forced convection and shade dried mint during shelf time

مقایسه میانگین اثر متقابل نوع همرفت در تراکم نعناع نشان می‌دهد که بیشترین درصد اسانس با مقادیر ۰/۸۰۷ و ۰/۷۶۳ درصد به‌ترتیب به تیمارهای همرفت طبیعی با تراکم $kg\ m^{-2}$ ۳ و همرفت اجباری با تراکم $kg\ m^{-2}$ ۴ و کمترین آن به مقدار ۰/۳۰۴ درصد به تیمار همرفت اجباری و تراکم $kg\ m^{-2}$ ۲ تعلق داشت (جدول ۳).

مقایسه میانگین نمونه‌ها در طی زمان‌های مختلف نمونه‌برداری نیز نشان داد که میزان اسانس در طی دوره نگهداری به مرور زمان کاهش می‌یابد. بالاترین میزان اسانس را ماه اول با ۰/۷۶ درصد و پایین‌ترین را ماه ششم با ۰/۴۰۲ درصد دارا بود (جدول ۴). در شکل‌های ۶ و ۷ نیز منحنی‌های تغییر میزان اسانس تیمارهای این آزمایش در طی مدت زمان انبارداری مختلف به‌ترتیب برای خشک کردن به روش همرفت طبیعی و اجباری نشان داده شده است. کاهش میزان اسانس در طی انبارداری می‌تواند به دلیل اکسیداسیون و یا سایر تغییرات شیمیایی باشد (Venskutonis, 1996). این نتیجه با گزارش (Negi and Roy, 2001) مطابقت دارد. همچنین پاکت‌های پلی اتیلنی استفاده شده، نسبت به فراریت ترکیبات که اغلب هیدروکربن‌های مونوترپن[1] می‌باشند، مقاومت نداشته و این ترکیبات طی زمان از آن عبور کرده‌اند. در تحقیقی که به مقایسه دو روش خشک کردن در آون و خشک کردن در شرایط طبیعی در انبار بر روی گیاه آویشن صورت گرفت، نتایج نشان داد که حذف آب به روش خشک کردن طبیعی در انبار مقرون به صرفه‌تر است، زیرا مقدار اسانس بیشتری با این روش می‌شود (Shalaby *et al*., 1995).

مقدار کلروفیل نعناع خشک شده

براساس نتایج ارائه شده در جدول تجزیه آماری داده‌ها (جدول ۲) تمامی تیمارهای اعمال شده و اثر متقابل آن‌ها بر مقدار کلروفیل در سطح ۱ درصد اثر معنی‌دار داشته‌اند. اثر متقابل نوع همرفت و تراکم نعناع نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل را تیمار همرفت طبیعی و تراکم $kg\ m^{-2}$ ۳ با ۸/۵۱ میلی‌گرم بر گرم برگ و کمترین مقدار را تیمار همرفت اجباری و تراکم$kg\ m^{-2}$ ۲ با ۴/۱۸ میلی‌گرم بر گرم برگ دارا می‌باشند (جدول ۳). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که هرچه سرعت تغییر دمای خشک‌کن کمتر باشد، تأثیر کمتری بر تغییر میزان رنگ می‌گذارد.

نتایج همچنین نشان داد که زمان نگهداری و گذشت زمان نیز بر مقدار کلروفیل تأثیرگذار بوده و روند کاهشی داشته است. البته تغییرات مقدار کلروفیل در همرفت طبیعی نسبت به همرفت اجباری کمتر بوده و میزان آن بالاتر می‌باشد. اثر متقابل تراکم نعناع و زمان نمونه‌برداری نشان داد که بالاترین مقدار کلروفیل را نمونه شاهد پس از ۶ ماه (۹/۴۸ میلی‌گرم بر گرم برگ) و پایین‌ترین مقدار را نمونه $kg\ m^{-2}$ ۲ بلافاصله پس از خشک شدن با ۴/۸۹ میلی‌گرم بر گرم برگ دارا بود. در این آزمایش نیز با گذشت زمان و کاهش میزان رطوبت، افزایش مقدار کلروفیل نیز مشاهده گردید (جدول ۴). این نتایج با گزارشات محققان مختلفی مطابقت دارد (Abde-Galil and El-Nakib, 2008; Rocha *et al*., 1993).

نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش نشان داد که زمان مورد نیاز برای خشک شدن سبزی نعناع در خشک‌کن خورشیدی بسته به تراکم محصول در سینی‌ها، ۳/۵ تا ۱۵ ساعت بود. درحالی‌که در روش مرسوم این زمان حدود ۵ روز به طول کشید. همچنین زمان خشک شدن به روش همرفت اجباری نسبت به روش همرفت طبیعی به‌طور متوسط ۲۹/۷ درصد کاهش پیدا کرد. در نتیجه‌ی افزایش تراکم سبزی نعناع در طبقه‌های خشک‌کن از ۲ به ۳ و همچنین از ۳ به ۴ کیلوگرم بر متر مربع، زمان خشک شدن به‌ترتیب ۱۸ و ۲۵ درصد افزایش یافت. بیشترین درصد اسانس با مقدار ۰/۸۰ درصد به تیمار خشک کردن به روش همرفت طبیعی و تراکم $kg\ m^{-2}$ ۳ و کمترین آن به مقدار ۰/۳۰ درصد به تیمار همرفت اجباری و تراکم $kg\ m^{-2}$ ۲ تعلق داشت. همچنین بیشترین مقدار کلروفیل را تیمار همرفت طبیعی و تراکم $kg\ m^{-2}$ ۳ با ۸/۵۱ میلی‌گرم بر گرم برگ و کمترین مقدار را تیمار همرفت اجباری و تراکم $kg\ m^{-2}$ ۲ با ۴/۱۸ میلی‌گرم بر گرم برگ دارا بودند. با توجه به نتایج این آزمایش می‌توان اظهار نمود، به منظور استفاده بهینه از انرژی خورشیدی و کاهش ضایعات سبزیجات در استان خوزستان، استفاده از خشک‌کن‌های خورشیدی برای خشک کردن برگ نعناع تولید شده در فصل زمستان می‌تواند گزینه مناسبی باشد. در این صورت، در شرایط همرفت طبیعی تراکم $kg\ m^{-2}$ ۳ و در شرایط همرفت اجباری تراکم $kg\ m^{-2}$ ۴ پیشنهاد می‌گردد.

سپاسگزاری

از تکنسین‌های بخش تحقیقات فنی و مهندسی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، آقایان امیر دیباجی و منوچهر مراد اسکندری که در ساخت خشک‌کن خورشیدی و اجرای این پروژه تحقیقاتی، همکاری لازم را مبذول فرمودند، صمیمانه سپاسگزاریم.

1- Monoterpene

References

1. Abde- Galil, H. S., and A. A. El- Nakib. 2008. Effect of natural convection solar drying on quality of peppermint. The15th. Annual conference of the Miser Society of Agricultural Engineering. 12-13 March. pp. 513-534.
2. Almasi, M., A. A. Zomorodian, and Y. Sahebi. 2003. Utilizing solar energy for dill drying. First Iranian Farm Machinery Students Conference. Orumieh University, Farm Machinery Department. (in Farsi).
3. Arnon, D. I. 1994. Copper enzymes in isolante chloroplastes plyphenol oxydas in beta vulgarise. Plant Physiology 24: 1-15.
4. Bagheri, N., A. Keihani, S. S. Mohtasabi, and R. Alimardani. 2009. Investigating effective parameters on drying leaves in forced convection solar dryer. Journal of Agricultural Engineering Research 4 (10) : 73-88. (In Farsi).
5. Basunai, M. A., and T. Abe. 2001. Thin layer solar drying characteristics of rough rice under natural convection. Journal of Food Engineering 47 (4): 295-301.
6. Blanco, M. C. S. G., L. C. Ming, M. O. M. Marques, and O. A. Povi. 2002. Drying Temperature effects in peppermint essential oil content and composition. ISHS Acta horticulture 51 (1): 569.
7. Dadashzadeh, M., A. Zomorodian, and Gh. R. Mesbahi. 2008. The effect of drying airflow rates and modes of drying on moisture content reduction for grapes in a cabinet type solar dryer. Journal of Hortical Science 22 (1): 23-34. (In Farsi).
8. Davoodi, M. G., P. Vijayanand, S. G. Kulkarni, and K. V. R. Ramana. 2007. Effect of different pre-treatments and dehydration methods on quality characteristics and storage stability of tomato powder. Food Science and Technology 40 (10): 1832-1840.
9. Dragana, M., M. Sofija, S. Mihailo, T. Dragan, and V. Novica. 2010. Effects of different drying methods on the yield and the composition of essential oil from herb *Mentha Longifolia* (L.) Hudson. Biological Nyssana. 1(12): 89-93.
10. Duriyaprapan, S. E. J., and K. E. Basford. 1986. The Effect of Temperature on Growth, Oil Yield and Oil Quality of Japanese Mint. Annals of Botany 58: 729-736.
11. Ekechukwa, O. V., and B. Norton. 1997. Design and measured performance of a solar chimney for natural-circulation solar-energy dryers. Renewable energy 10 (1): 81-90.
12. Ekechukwa, O. V., and B. Norton. 1998. Review of solar energy drying systems II: an over view of solar drying technology, Energy Conservation and Management 40: 615 -655.
13. El-Sebaii, A. A., S. Aboul-Enein, M. R. I. Ramadan, and H. G. El-Gohary. 2002. Empirical correlations for drying kinetics of some fruits and vegetables. Energy 27 (9): 845-859.
14. Esper, A., and W. Muhlbauer. 1998. Solar drying-an effective means of food preservation. Renewable Energy 15(1-4): 95-100.
15. Ethman, C. S., M. A. O. Kane1, A. Sid, and M. Kouhila. 2009. Evaluation of drying parameters and sorption isotherms of mint leaves (M. pulegium). Renewable Energy 12 (3): 449-470.
16. Ghaba, P., H. Yobouet Andoh, J. Kouassi Saraka, B. Kamenan Koua, and S. Toure. 2006. Experimental investigation of a solar dryer with natural convective heat flow. Renewable Energy 32 (11): 1817-1829.
17. Moradi, M., and A. Zomorodian. 2008. Best mathematical drying model selection for indirect solar drying of cumin in forced convection solar dryer. The 5th National Conference on Agricultural Machinery Engineering and Mechanization. Ferdosi University of Mashhad. (In Farsi).
18. Negi, P. S., and S. K. Roy. 2001. Retention of quality characteristics of dehydrated green leaves during storage. Journal of Plant Foods for Human Nutrition 56 (3): 285-295.
19. Pangavhane, D. R., R. L. Sawhney, and P. N. Sarsavadia. 2002. Design, development and performance testing of a new natural convection solar dryer. Energy 27: 579-590.
20. Rocha, T., C. Marty- Audouin, and A. Alebert. 1993. Effect of drying temperature and blanching on the degradation of chlorophyll a and b in mint (*Mentha spicate Huds*.) and basil (*Ocimum basilicum*): Analysis by high performance liquid chromatography with photodiode array detection journal Chromatographia. 3(1): 152-156.
21. Shalaby, A. S., S. El-Gengaihi, and M. Khattab. 1995. Oil of *Mellisa officinalis* L., as affected by storage and herb drying. Journal of Essential Oil Research 7: 667-669.
22. Venskutonis, R. 1996. Influence of drying and irradiation on the composition of volatile compounds of Thyme (*Thymus vulgaris* L.). Flavor and Fragrance J 11: 123-128.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 7, No. 1, Spring - Summer 2017, p. 114-125

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۷، شماره ۱، نیمسال اول ۱۳۹۶، ص ۱۲۵- ۱۱۴

Evaluation and comparing of natural and forced solar dryer for mint drying in Khuzestan province

J. Habibi Asl[1*]- L. Behbahani[2]- A. Azizi[3]

Received: 13-07-2015
Accepted: 28-10-2015

Introduction

Many vegetables such as mint are highly seasonal in nature. They are available in plenty at a particular period of time in specific regions that many times result in market glut. Due to perishable nature, huge quantity of vegetables is spoiled within a short period. The post-harvest loss in vegetables has been estimated to be about 30-40% due to inadequate post-harvest handling, lack of infrastructure, processing, marketing and storage facilities. Therefore, the food processing sector can play a vital role in reducing the post-harvest losses and value addition of vegetables which will ensure better remuneration to the growers. Drying is a common technique for preservation of food and other products; including fruits and vegetables. The major advantage of drying food products is the reduction of moisture content to a safe level that allows extending the shelf life of dried products. The removal of water from foods provides microbiological stability and reduces deteriorate chemical reactions. Also, the process allows a substantial reduction in terms of mass, volume, packaging requirement, storage and transportation costs with more convenience. Sun drying is a well known traditional method of drying agricultural products immediately after harvest. However, it is plagued with in-built problems, since the product is unprotected from rain, storm, windborne dirt, dust, and infestation by insects, rodents, and other animals. It may result in physical and structural changes in the product such as shrinkage, case hardening, loss of volatiles and nutrient components and lower water reabsorption during rehydration. Therefore, the quality of sun dried product is degraded and sometimes become not suitable for human consumption. For these reasons, to utilize renewable energy sources, reduce vegetable losses and increase farmers income, the current project has been conducted in the Agricultural Engineering Department of Khuzestan Agricultural Research Center during the years 2011-2013.

Materials and Methods

In this research an indirect cabinet solar dryer with three trays and grooved collector was constructed. To improve air convection, a chimney was mounted above the dryer. The dryer performance was evaluated by drying mint leaves in three levels of mass density of 2, 3, and 4 kg m^{-2} at two drying manners of natural and forced convection and compared with drying mint leaves in shade as the traditional method.

Results and Discussion

The results showed that total drying time required in different solar drier treatments was 3.5 to 15 h, while it was about 5 days in traditional method. Drying time in upper trays was more as the air flow decreased due to increase in mass density. Mean required drying time in forced convection was 29.7% less than that of natural convection. Maximum essences with 0.80% and 0.76% were belonged to "natural convection and 3kg m^{-2} mass density" and "forced convection and 4 kg m^{-2} mass density" treatments respectively, while minimum one with 0.30% was for "forced convection and 2 kg m^{-2} mass density" treatment. Also, the highest and lowest chlorophyll content with 8.51 and 4.18 mg ml^{-1} were measured in "natural convection and 3 kg m^{-2} mass density" and "forced convection and 4 kg m^{-2} mass density" treatments respectively. According to obtained results, 3 and 4 kg m^{-2} mass density can be suggested for natural and forced convection solar drying of mint leaves in Khuzestan condition respectively.

1, 2, 3- Assistant Professor, Researcher and Research Instructor of Agricultural Engineering research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Centre, AREEO, Ahwaz, Iran, Respectively.
(*- Corresponding Author Email: jhabibi139@yahoo.com)

Conclusions

In order to reduce vegetable losses and increase Khuzestan vegetable producers income, indirect cabinet solar dryer for drying mint leaves in winter season, could be an appropriate option. For natural and forced convection drying methods, mass density of 3 and 4 kg m^{-2} is recommended respectively.

Keywords: Chlorophyll, Essences, Forced convection, Mint, Natural convection, Solar dryer