

مقایسه خشک کردن به لیمو در یک خشک کن جریان پیوسته مجهز به سامانه پیش گرمایش خورشیدی با خشک کردن سنتی

شمسی سودمندمقدم^۱، محمد شریفی^{۲*}، حماد ذرعی فروش^۳ و حسین مبلی^۴

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
- ۲- عضو هیئت علمی گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
- ۳- عضو هیئت علمی گروه مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، گیلان، تهران
- ۴- عضو هیئت علمی گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخچه مقاله	چکیده
دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۲۹ پذیرش نهایی: ۱۳۹۸/۰۲/۲۷	یکی از متداول‌ترین روش‌های نگهداری گیاهان دارویی، به منظور ماندگاری طولانی تر آن‌ها، خشک کردن می‌باشد. به لیمو از جمله گیاهان دارویی است که دارای خواص بسیاری از جمله ضد تشنج، آرام بخش و ضد سرماخوردگی می‌باشد. در این پژوهش از یک خشک کن جریان پیوسته مجهز به سامانه پیش گرمایش خورشیدی برای خشک کردن برگ‌های به لیمو استفاده شد و به منظور مشخص شدن تفاوت معنی دار بین تأثیر سرعت‌ها و دماهای متفاوت هوا در روش خشک کن از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. سپس برای مقایسه کیفیت محصول خشک شده با روش سنتی خشک کردن (سایه و آفتاب)، بازده اسانس برای هر نمونه‌ی خشک شده با دستگاه اسانس گیری کلونجر و به روش تقطیر با آب به دست آمد و برای تعیین معنی‌داری بازده استخراج اسانس هر تیمار، از طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. نتایج نشان داد که بیشترین بازده اسانس در روش خشک کن و دمای ۴۰ درجه سلسیوس و سرعت هوای ۲ متر بر ثانیه به میزان ۰/۶۱ درصد و کمترین بازده اسانس در روش خشک کردن در آفتاب به میزان ۰/۲۳ درصد بدست آمد. کمترین زمان خشک کردن مربوط به روش استفاده از خشک کن در دمای ۵۰ درجه سلسیوس و سرعت ۲ متر بر ثانیه به مدت ۱۱۰ دقیقه و بیشترین زمان در روش سنتی خشک کردن (روش سایه) به مدت ۷۲۰ دقیقه رخ داده است بر طبق نتایج به دست آمده، استفاده از این سامانه به منظور خشک کردن به لیمو می‌تواند باعث افزایش کیفیت محصول و کاهش زمان خشک شدن در مقایسه با روش‌های سنتی خشک کردن شود.
کلمات کلیدی: خشک کن جریان پیوسته، پیش گرمایش خورشیدی، اسانس، روش خشک کردن، به لیمو	
* عهده دار مکاتبات Email: m.sharifi@ut.ac.ir	

مقدمه

در دوره‌های مختلف تاریخ، سرزمین ایران یکی از مراکز مهم علوم مختلف، به ویژه داروسازی و کشت گیاهان دارویی بوده است. تاریخ پزشکی و گیاهان دارویی در ایران به حدود ۷۰۰۰ سال قبل از میلاد و به تمدن آریایی مربوط می‌شود (۱۸). گیاهان دارویی بسیاری بومی کشور ایران هستند و تعدادی از آن‌ها نیز از کشورهای دیگر وارد شده‌اند. یکی از گیاهانی که در سال‌های اخیر به ایران وارد شده است، به لیمو از وارپته *Verbena* می‌باشد. به لیمو با نام علمی *Lippia citriodora Kunth* و از خانواده شاه‌پسندیان^۱ و راسته نعناسانان^۲، درختچه‌ای با ارتفاع ۱/۵ تا ۲ متر و بومی آمریکای جنوبی است (۱۶). این گیاه دارویی دارای خواص بسیاری از جمله ضد تشنج، آرام‌بخش و ضد سرماخوردگی، ضد قارچ و ضد سرطان می‌باشد. همچنین برای درمان آسم، اسپاسم، سردرد و بی‌خوابی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۲۹). برگ‌های به لیمو برای ایجاد طعم لیمو در غذاهای مختلف مانند مرغ، ماهی، سالاد و نوشیدنی‌ها به کار می‌رود (۷). اسانس به لیمو دارای مزایای متعددی مانند ضد میکروبی، خواص آنتی‌اکسیدانی، مهارکنندگی رادیکال آزاد و آرامش‌بخشی می‌باشد. همچنین در صنایع غذایی و عطرسازی نیز به کار می‌رود (۲۶). اسانس‌ها ترکیبات شیمیایی معطری هستند که در گیاهان دارویی وجود دارند. اسانس به لیمو دارای ترکیب‌های مختلف ژرانیال، میرسنون، لیمونن، لپیپولون، ژرانیول و سیترونلول می‌باشد (۱۹). یکی از متداول‌ترین روش‌های نگهداری گیاهان دارویی، خشک کردن است که از فساد آن‌ها جلوگیری می‌کند. پس از خشک کردن بسیاری از محصولات بدون نیاز به خنک ماندن قابل نگهداری برای زمان طولانی هستند (۱۰). میزان و کیفیت اسانس این گیاهان به شدت تحت تاثیر روش خشک کردن قرار دارد. در گذشته گیاهان دارویی معمولاً در زیر نور آفتاب و یا سایه خشک

می‌شدند. این روش دارای معایب زیادی مانند آلودگی محصول، شرایط ناپایدار آب و هوا و کندی روند خشک شدن بود (۲۰). همچنین در روش خشک کردن در آفتاب کیفیت محصول تحت تاثیر نور مستقیم خورشید قرار می‌گیرد (۳۴). گیاهان دارویی از جمله محصولات حساسی هستند که دما، بیشترین تاثیر را بر تلفات مواد فعال بیولوژیکی آن‌ها دارد (۶). نتایج آزمایش‌ها نشان داده است که فعالیت آنزیمی در گیاهان دارویی در دمای بالای ۵۰ درجه سلسیوس متوقف می‌شود (۱۵). بنابراین هنگامی که ارزش دارویی و حفظ اسانس گیاهان دارویی مدنظر باشد، باید در دماهای پایین‌تری عملیات خشک کردن آن‌ها انجام شود. لی و همکاران^۳ (۲۲) در پژوهشی تاثیر روش‌های مختلف خشک کردن (خشک کردن در سایه، خشک کردن در هوای داغ و خشک شدن انجمادی^۴ محصول) را بر برگ‌های کاسنی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که روش خشک کردن در هوای داغ در حفظ ترکیبات فنولیک برگ‌ها موثر بود. برگ‌های خشک شده در روش هوای داغ و روش انجمادی نیز دارای فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی خوبی بودند. در پژوهش دنگ و همکاران^۵ (۸) نتایج مطالعه تجربی بر روی سیتیک خشک کردن و خواص فیزیکی و شیمیایی فلفل قرمز به سه روش مختلف خشک کردن مادون قرمز، خشک کردن هوای داغ و خشک کردن خلا پالسی^۶ نشان داد که روش خشک کردن مادون قرمز کوتاه‌ترین زمان خشک شدن را داشت ولی در روش خلا پالسی فلفل قرمز خشک شده نسبت به دو روش دیگر دارای خواص فیزیکی و شیمیایی بهتری بود. به طور کلی یافته‌های این تحقیق حاکی از این بود که در روش خشک کردن خلا پالسی محصول خشک شده دارای کیفیت بهتری نسبت به سایر روش‌ها بود.

3- Li et al.

4- Freeze Drying

5- Deng et al.

6- Pulsed Vacuum Drying

1- Verbenacea

2- Lamiales

به روش تقطیر با آب بدست آمد. در سامانه‌ی خشک کن بکار رفته در پژوهش حاضر، استفاده از آبگرمکن خورشیدی همراه با گاز طبیعی، می‌تواند باعث کاهش وابستگی به مصرف سوخت‌های فسیلی در فرآیند خشک کردن محصول شود. از مزیت‌های دیگر این سامانه یکنواختی خشک کردن محصول به دلیل استفاده از یک سامانه خشک کردن جریان مداوم و تسمه نقاله‌ای می‌باشد؛ به طوری که محصول بر روی تسمه نقاله حرکت می‌کند و به طور یکنواخت توسط هوای گرم ورودی تحت تاثیر قرار می‌گیرد که این مورد در مقایسه با خشک کردن سنتی و بستر ثابت، روی کیفیت بهتر محصول خشک شده تاثیر بسزایی می‌گذارد. همچنین این نوع خشک کن موجب صرفه‌جویی در فضای محل خشک کردن محصولات به علت ساختار طبقه‌ای تسمه نقاله داخل محفظه خشک کردن می‌شود (۳). بنابراین به طور کلی هدف از این تحقیق، بررسی تاثیر روش‌های مختلف خشک کردن بر بازده اسانس برگ به‌لیمو و همچنین مدت خشک شدن آن در دو روش خشک کردن در سامانه‌ی خشک کن جریان پیوسته و روش خشک کردن سنتی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

برگ‌های به‌لیمو از یکی از مزارع اطراف شهر رشت تهیه شد. به منظور جلوگیری از پژمردگی تا شروع آزمایش‌ها، برگ‌های به‌لیمو در کیسه‌های پلاستیکی از جنس پلی اتیلن بسته‌بندی گردید و در یخچال در دمای ۴-۵ درجه سلسیوس نگهداری شد. برای تعیین رطوبت اولیه برگ‌ها، مقدار ۱۵۰ گرم از محصول در آون در دمای ۱۰۳ درجه سلسیوس و به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد (۳۷). مقدار رطوبت اولیه برگ‌های به‌لیمو ۷۶ درصد بر پایه تر بدست آمد. میزان رطوبت بر پایه وزن تر با استفاده از رابطه ۱ به‌دست آمد (۱).

$$MC = \frac{W_a - W_b}{W_a} \quad (1)$$

تکنیک‌های خشک کردن برای کاهش رطوبت برخی از گیاهان دارویی و معطر و اثرات آن بر عملکرد روغن اسانس آن‌ها توسط محققان زیادی روی گیاهان مختلفی انجام شده‌است مانند: ریحان (۱۱)، برگ بو (۳۱)، مرزه (۳۰). بسیاری از محققان اثرات روش‌های مختلف خشک کردن گیاهان دارویی بر محتوای اسانس را مورد بررسی قرار داده‌اند. یافته‌ها نشان دادند که میزان اسانس گیاهان به طور معنی‌داری تحت تاثیر روش‌های مختلف خشک کردن قرار می‌گیرد. بنابراین، انتخاب شرایط مناسب خشک کردن گیاهان دارویی برای حفظ کیفیت آن‌ها بسیار مهم و ضروری می‌باشد (۲۷). همچنین علاوه بر مسئله کیفیت گیاهان دارویی پس از خشک شدن، میزان مصرف انرژی به منظور خشک کردن این گیاهان نیز بسیار حائز اهمیت می‌باشد (۱۳). یکی از دلایلی که هنوز روش‌های سنتی در خشک کردن محصولات بکار می‌رود، عدم استفاده از سوخت‌های فسیلی در این روش می‌باشد. مصرف انرژی برای خشک کردن از عوامل مهم در این فرآیند می‌باشد که باید مورد توجه قرار گیرد. خشک کردن با مصرف حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد از انرژی مصرف شده در صنایع غذایی به عنوان یک فرآیند انرژی بالا محسوب می‌شود (۲۱)، که این مورد باید در فرآیند خشک کردن گیاهان دارویی در خشک کن‌ها مدنظر قرار گیرد.

با توجه به اهمیت روش خشک کردن گیاهان دارویی و اثرات معنی‌دار این روش‌ها بر روی کیفیت و مقدار اسانس موجود در این گیاهان، در این پژوهش از یک خشک کن جریان پیوسته مجهز به سامانه پیش-گرمایش خورشیدی در دماها و سرعت‌های متفاوت هوا، برای خشک کردن برگ‌های به‌لیمو استفاده شد. سپس برای مقایسه کیفیت محصول خشک شده با روش سنتی خشک کردن (سایه و آفتاب)، مقدار اسانس برگ‌های به‌لیمو برای هر نمونه توسط دستگاه اسانس‌گیری کلونجر^۱ و

سودمند مقدم و همکاران: مقایسه خشک کردن به لیمو در...

سانتریفیوژ، مبدل حرارتی، مبدل (اینورتر) فرکانسی دیجیتال.

در سامانه خشک کن مورد استفاده، گرمای مورد نیاز برای جریان هوایی که به منظور خشک کردن محصول استفاده می شود، در فاز پیش گرمایش توسط آب گرم موجود در یک آبگرمکن خورشیدی ترموسیفونی با ظرفیت ۱۵۰ لیتر تأمین شد. در فاز پیش گرمایش، آبگرمکن گازی خاموش بوده و تأمین انرژی حرارتی مورد نیاز تنها توسط آبگرمکن خورشیدی انجام شد. پس از آنکه دمای آب موجود در آبگرمکن خورشیدی به دماهای مورد نظر برای خشک کردن محصول (۳۰، ۴۰ و ۵۰ درجه سلسیوس) رسید، جریان آب گرم توسط یک پمپ از مخزن آبگرمکن خورشیدی به درون مبدل حرارتی منتقل شد تا موجب گرمایش جریان هوای در حال ورود به خشک کن شود. در مواقعی که دمای هوای مورد نیاز برای خشک کردن محصول در فاز پیش گرمایش کمتر از سطح مورد نظر بود، با به کارگیری حسگر رطوبت/دما در مسیر هوای ورودی به خشک کن محصول، این کاهش دما تشخیص داده می شد. در این شرایط پمپ آب مجدداً به کار می افتاد و با به گردش در آوردن آب در سامانه موجب می شد تا آب گرم موجود در مخزن آبگرمکن خورشیدی جایگزین آب سرد موجود در مبدل حرارتی شود. در شرایطی که دمای کل آب موجود در مخزن آبگرمکن خورشیدی به سطحی می رسید که قادر به تأمین گرمای مورد نیاز جهت انجام فرایند خشک کردن نبود، آبگرمکن گازی (BUTANE Model 3318IF, Iran) وارد مدار گرمایش شده و انرژی گرمایی مورد نیاز را تا پایان فرایند خشک کردن فراهم نمود. برای خشک کردن برگ های به لیمو سه دمای هوای ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درجه سلسیوس و سه سرعت هوای ورودی ۱، ۱/۵ و ۲ متر بر ثانیه در نظر گرفته شد. هوای گرم شده از طریق یک دریچه ارتباطی واقع در زیر خشک کن جریان پیوسته از نوع تسمه ای، به درون محفظه خشک کردن محصول راه می یافت.

در این رابطه، W_a وزن نمونه قبل خشک کردن و W_b وزن نمونه بعد خشک کردن می باشد. همچنین به منظور محاسبه نسبت رطوبت از رابطه ۲ استفاده شد.

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} \quad (2)$$

در این رابطه M_t مقدار رطوبت لحظه ای، M_o مقدار رطوبت اولیه و M_e مقدار رطوبت تعادلی می باشد. در صورتی که مقدار M_e خیلی کمتر از مقدار M_o و M_t باشد، می توان رابطه نسبت رطوبت را به صورت رابطه ۳ نوشت (۲۸).

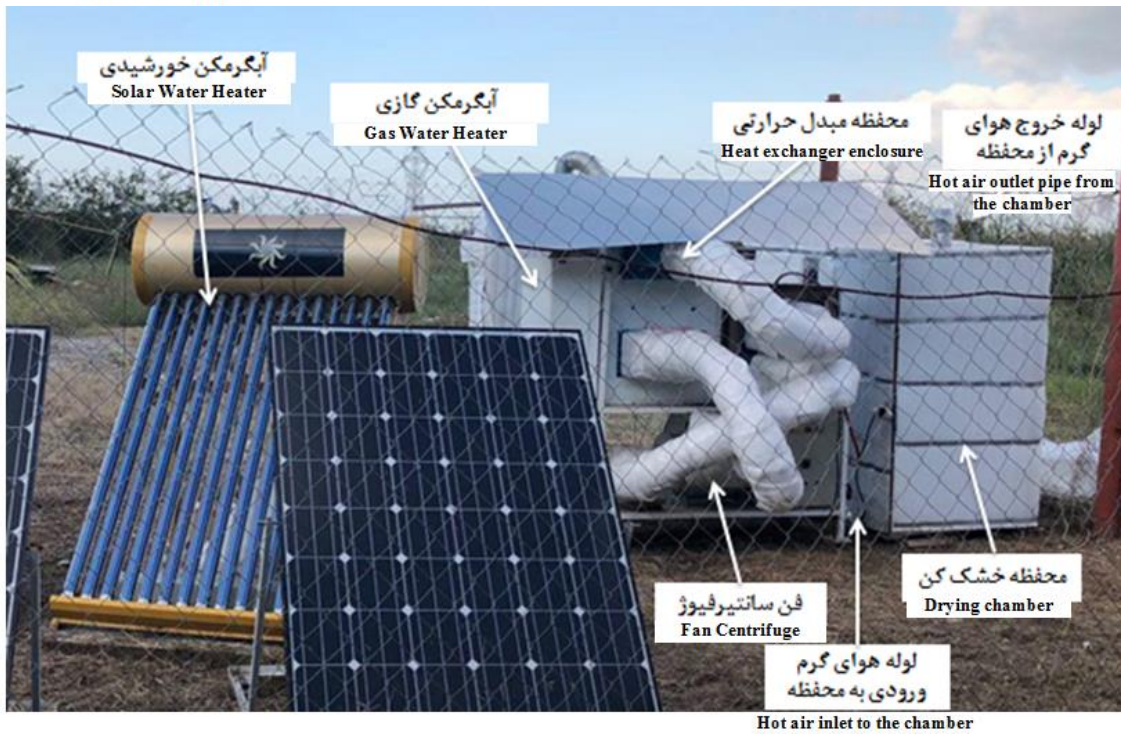
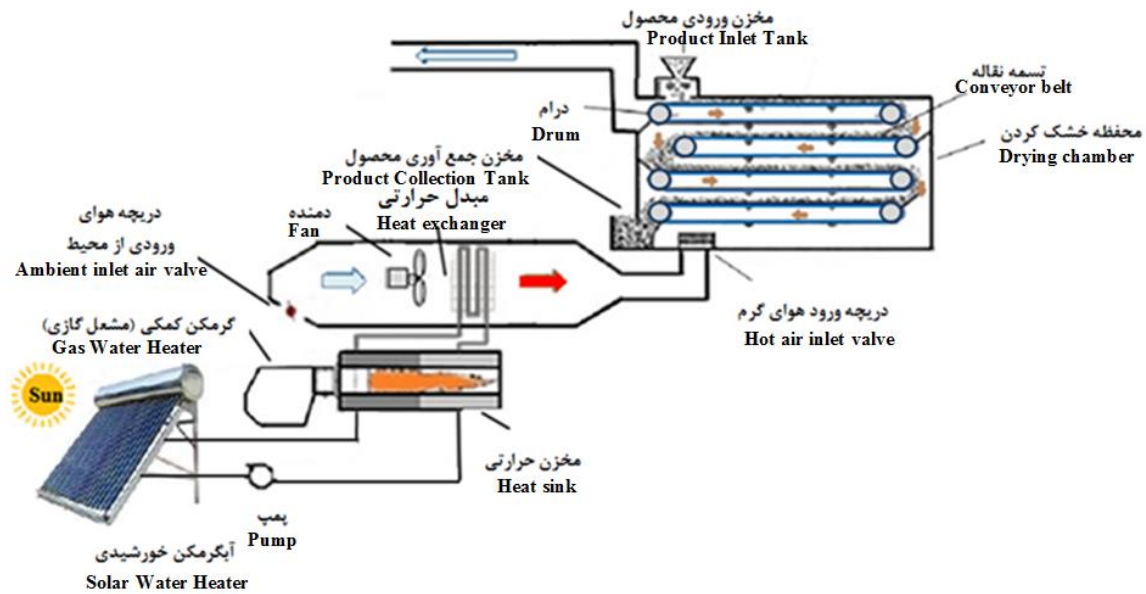
$$MR = \frac{M_t}{M_o} \quad (3)$$

همچنین مقدار رطوبت لحظه ای با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شد (۴). در این رابطه M_t و W به ترتیب مقدار رطوبت لحظه ای (بر پایه تر) و وزن لحظه ای نمونه های در حال خشک شدن هستند.

$$M_t = \left(\frac{(MC - 1) \times W_a}{W} \right) + 1 \quad (4)$$

عملکرد سامانه خشک کن

آزمایش ها در سایت انرژی تجدیدپذیر دانشگاه گیلان، در شهر رشت (طول جغرافیایی ۴۹/۵۸ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷/۲۷ درجه شمالی) انجام شد. با توجه به اینکه میانگین روزهای آفتابی در این منطقه جغرافیایی در مقایسه با کل کشور کمتر است، سامانه ی خشک کن مورد استفاده در این پژوهش، قابلیت ذخیره سازی انرژی خورشید را برای بکارگیری انرژی در روزهای غیر آفتابی نیز دارا می باشد. در این نوع خشک کن از دو منبع انرژی خورشیدی و گاز طبیعی جهت تأمین حرارت مورد نیاز فرایند خشک کردن استفاده می شود. خشک کن جریان پیوسته مجهز به سامانه پیش گرمایش خورشیدی در شکل ۱ نشان داده شده است. اجزای اصلی سامانه خشک کن مجهز به پیش گرمایش خورشیدی عبارت بودند از: محفظه خشک کن، آبگرمکن گازی، آبگرمکن خورشیدی ترموسیفون ۱۵۰ لیتری، فن



شکل (۱) یک طرح شماتیک و یک عکس واقعی از سامانه خشک کن جریان پیوسته با پیش گرمایش خورشیدی
 Figure (1) A schematic diagram and a photo of the continuous dryer equipped with solar pre-heating system

رسیدن به قسمت پایین محفظه جریان یافت و محصول به طور یکنواخت در دما و سرعت هوای مورد نظر خشک شده و سپس از مخزن جمع آوری تخلیه می شد. برای تغییر سرعت هوای ورودی به خشک کن از یک مبدل (اینورتر) فرکانسی دیجیتال (LG Model IC5, Korea)

چهارچوب محفظه خشک کن از پروفیل قوطی آهن به ابعاد ۲۰×۲۰ میلی متر و ابعاد محفظه خشک کردن ۱۵۰×۱۵۰×۸۰ سانتی متر مکعب بود. در محفظه خشک کن تسمه نقاله ای، محصول پس از ورود از مخزن بالای محفظه خشک کن، بدون توقف و به طور مداوم تا

سودمند مقدم و همکاران: مقایسه خشک کردن به لیمو در...

کردن در سایه نمونه‌ها هر ۳۰ دقیقه توسط ترازوی دیجیتال (Model GF6000, Japan) با دقت ± 0.1 گرم وزن شد.

خشک کردن در خشک کن جریان پیوسته

در هر تیمار مقدار ۱۵۰ گرم از برگ‌های به لیمو، تحت تأثیر دماها و سرعت‌های مختلف هوا در خشک کن قرار گرفتند. دماهای مورد استفاده برای خشک کردن نمونه‌ها ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درجه سلسیوس و سرعت‌های هوا ۱، ۱/۵ و ۲ متر بر ثانیه در نظر گرفته شد. در این روش نمونه‌های ۱۵۰ گرمی از برگ‌های به لیمو وارد محفظه خشک کن شدند و هر ۱۰ دقیقه از مخزن جمع-آوری محصول در قسمت پایینی خشک کن خارج شده و وزن شدند و پس از وزن شدن، بلافاصله از مخزن ورودی محصول در بالای محفظه به درون خشک کن برگردانده شدند. سرعت تسمه نقاله توسط مبدل (اینورتر) فرکانسی دیجیتال (LG Model IC5, Korea) به گونه‌ای تنظیم شد که پس از گذشت هر ۱۰ دقیقه محصول به مخزن خروجی جمع‌آوری خشک کن وارد می‌شد و از این قسمت، محصول قابل برداشت و وزن کردن بود. این کار تا رسیدن وزن هر نمونه به مقدار ثابت (۱۰ درصد برپایه تر) ادامه داشت (۲) که با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌شد.

استخراج اسانس

بعد از خشک شدن برگ‌های به لیمو با روش‌های مختلف، استخراج اسانس به روش تقطیر با آب توسط دستگاه اسانس‌گیری کلونجر در آزمایشگاه گروه باغبانی دانشگاه گیلان انجام شد. برای این کار مقدار ۳۰ گرم نمونه خشک شده به صورت دقیق توزین شد. سپس هر نمونه خرد شد و به همراه ۴۵۰ میلی لیتر آب درون بالن دستگاه اسانس‌گیری ریخته شد. فرآیند استخراج به مدت ۳ ساعت و در شرایط یکسان انجام شد (۳۲). به دلیل کمتر بودن چگالی اسانس نسبت به آب، اسانس روی آب قرار گرفت و به راحتی عمل جداسازی انجام شد.

به منظور تغییر سرعت دورانی فن سانتریفیوژ با دبی حجمی ۵۴۰۰ مترمکعب در ساعت (Model BEF-30/30M8S, Iran Anemometer, Lutron Model YK,) با دقت ± 0.1 متر بر ثانیه، سرعت هوای فن سانتریفیوژ به منظور دستیابی به سرعت‌های مورد نظر تنظیم گردید. یکی از پارامترهای مهم در خشک کن‌های جریان پیوسته، مقدار رطوبت نسبی داخل محفظه خشک کن می‌باشد که روی کیفیت محصول تأثیر زیادی دارد. به منظور اندازه‌گیری مقدار رطوبت نسبی داخل محفظه خشک کن، از حسگر رطوبت (Model AM2301, China) استفاده شد. همچنین برای دستیابی به سطوح دمایی مورد نظر، از یک حسگر دمای دیجیتال (Model AM2301, China) در ورودی خشک کن استفاده شد. بدین ترتیب که به محض رسیدن دمای هوای ورودی به سطح مورد نظر، منبع گرمایشی (آبگرمکن گازی یا آبگرمکن خورشیدی) از مدار گرمایشی حذف شد و در این حالت تنها فن سانتریفیوژ جریان هوای مورد نیاز را تامین می‌کرد.

خشک کردن در سایه و آفتاب

مقدار ۱۵۰ گرم برگ به لیمو به صورت تک لایه روی پارچه نخی سفید، در سایه و در هوای آزاد قرار داده شد، بطوری که نور مستقیم آفتاب به آن‌ها نتابد. همچنین ۱۵۰ گرم از برگ‌ها با شرایط مشابه روش سایه، در زیر نور مستقیم آفتاب قرار گرفت. آزمایش‌ها در شهریور ماه ۱۳۹۷، در دمای میانگین ۳۱/۳ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی هوای محیط ۵۳/۷ و به منظور یکسان بودن شرایط در دو روش، برای هر تکرار آزمایش‌ها به طور همزمان انجام شد و خشک کردن تا ثابت شدن وزن محصول ادامه داشت. خشک شدن برگ‌های به لیمو در روش خشک کردن در آفتاب از ساعت ۱۰/۵ صبح تا ۱۶ بعد از ظهر و در روش خشک کردن در سایه از ساعت ۸/۵ صبح تا ساعت ۲۱ عصر تداوم یافت. در روش خشک کردن در آفتاب، نمونه‌ها هر ۱۰ دقیقه و در روش خشک

هوا ۲ متر بر ثانیه بود. این نشان می‌دهد که با افزایش دمای هوا و همچنین سرعت هوا، زمان خشک شدن به- لیمو در خشک‌کن به طور معنی داری کاهش می‌یابد. علت این کاهش زمان، این است که با افزایش دمای هوا در خشک‌کن، رطوبت نسبی هوا کاهش می‌یابد و فشار بخار بین محصول به لیمو و محیط اطراف افزایش پیدا می‌کند که باعث افزایش سرعت از دست دادن رطوبت محصول به محیط می‌شود (۳۵). در نتیجه با زیاد شدن دمای هوا، زمان خشک شدن محصول کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش سرعت هوای ورودی به خشک‌کن، انتقال رطوبت از محصول به محیط با افزایش بیشتری انجام می‌شود و در نهایت باعث کاهش زمان خشک شدن محصول می‌گردد. با توجه به اختلاف معنی دار بین سرعت‌ها و دماهای مختلف هوا در خشک‌کن به منظور خشک کردن به لیمو، هر کدام از تیمارهای به کار رفته در این عملیات به عنوان یک روش جداگانه برای تعیین بازده اسانس به لیمو در نظر گرفته شد، تا با روش خشک کردن سنتی مقایسه شود.

بر طبق آزمایش‌ها، بیشترین مدت خشک کردن به لیمو در روش سنتی در سایه به مدت ۷۲۰ دقیقه رخ داده است. استفاده از روش خشک کردن در آفتاب نسبت به سایه، زمان خشک کردن را ۵۴/۱ درصد کاهش داد. همچنین کمترین زمان خشک کردن مربوط به روش استفاده از خشک‌کن در دمای ۵۰ و سرعت ۲ متر بر ثانیه به مدت ۱۱۰ دقیقه بود. در خشک‌کن، دما و سرعت‌های هوا بر روی زمان خشک شدن تاثیر معنی- داری داشتند (۲۴). به طوری که در سرعت هوا ۲ متر بر ثانیه، افزایش دمای هوا از ۳۰ تا ۵۰ درجه سلسیوس، زمان خشک شدن را ۲۶/۶۶ درصد کاهش داد، در حالی که سرعت هوا ۱/۵ و ۱ متر بر ثانیه، زمان خشک شدن را به ترتیب ۲۵ و ۲۳/۵۲ درصد کاهش دادند. زمان خشک کردن از عوامل مهم در حفظ کیفیت گیاهان دارویی می‌باشد. به طوری که خشک کردن سریع و کامل این گیاهان، در میزان اسانس و رنگ آن‌ها کمک زیادی

بازده استخراج اسانس هر تیمار با استفاده از رابطه ۵ بدست آمد.

$$EOC (\%) = \frac{Essential.oil(g)}{Dry.matter(g)} \times 100 \quad (5)$$

در این رابطه *EOC* بازده اسانس استخراج شده بر حسب درصد است که از تقسیم وزن اسانس استخراج شده (گرم)، بر وزن ماده خشک (گرم) بدست آمد.

آنالیز آماری

به منظور مشخص شدن تفاوت معنی داری بین تاثیر سرعت‌ها و دماهای متفاوت هوا بر مدت خشک شدن برگ‌های به لیمو در روش استفاده از خشک‌کن، آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار بکار برده شد. همچنین برای تعیین معنی داری بازده استخراج اسانس در روش‌های مختلف خشک کردن، از طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار استفاده شد. تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم افزار (Version 9.00) SAS انجام شد. همچنین برای مقایسه میانگین از روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد که در قالب نمودارهایی با استفاده از نرم افزار Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

مدت خشک کردن

تجزیه واریانس مدت خشک شدن در تیمارهای مختلف خشک‌کن در جدول ۱ نشان داده شده است. بر طبق جدول ۱ دما و سرعت هوای خشک کردن بر روی مدت زمان خشک کردن به لیمو تاثیر معنی دار در سطح ۱ درصد داشت. نمودار مقایسه میانگین بین دماهای مختلف و سرعت‌های هوای مختلف نیز نشان داد که بین هر سه دمای هوا و هر سه سرعت هوای خشک کردن اختلاف معنی داری وجود دارد (شکل ۲ و ۳).

بر طبق آزمایش‌ها، بالاترین زمان خشک شدن برگ‌ها در خشک‌کن در دمای ۳۰ درجه سلسیوس و سرعت هوای ۱ متر بر ثانیه اتفاق افتاد. در حالی که کمترین زمان خشک شدن در دمای هوا ۵۰ درجه سلسیوس و سرعت

سودمند مقدم و همکاران: مقایسه خشک کردن به لیمو در...

می‌کند. زمان خشک شدن بستگی به نوع محصول، مقدار مواد گیاهی، رطوبت و دما دارد (۳۰). همچنین از طرف دیگر، کاهش زمان خشک کردن باعث کاهش هزینه‌های مربوط به مصرف انرژی جهت خشک کردن گیاهان دارویی می‌گردد (۵). نتایج حاصل، بیانگر کاهش زمان خشک شدن با افزایش دمای خشک کردن بود که با نتایج چند تحقیق دیگر مشابه می‌باشد (۱۴، ۱۷ و ۲۵).

جدول (۱) تجزیه واریانس مدت خشک شدن به لیمو در سرعت و دماهای مختلف خشک کن

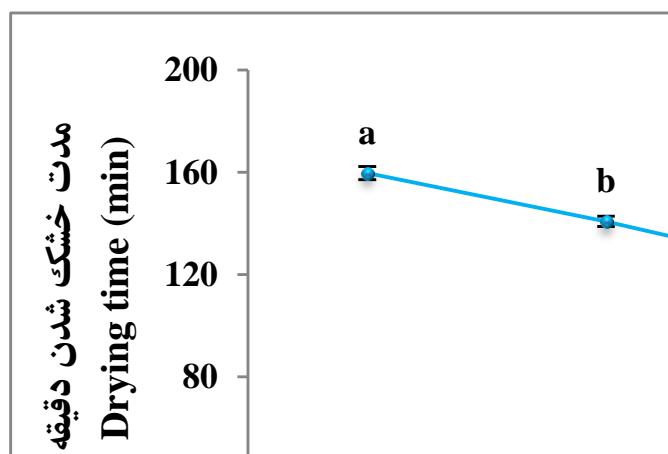
Table (1) The analysis of the variance of drying time of lemon verbena at different temperatures and air velocities in the dryer

میانگین مربعات خطا (Mean Square Error)	درجه آزادی (df)	منابع تغییرات (Source of variance)
3665.14**	2	دمای هوا (Air temperature)
738.48**	2	سرعت هوا (Air velocity)
4.48 ^{ns}	4	اثر متقابل دما و سرعت هوا (Temperature*Velocity)
19.37	2	تکرار (Repetition)
3.37	16	خطا (Error)
	26	کل (Corrected Total)

c.v= 1.39%

** و ^{ns} به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد و عدم معنی داری

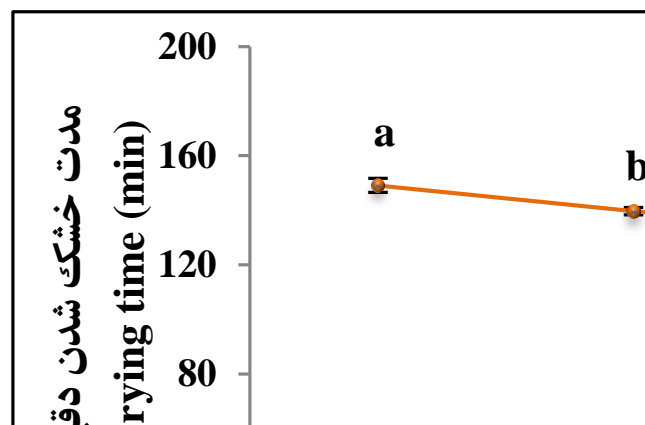
** and ^{ns}: Significant at 1% of probability levels and not significant respectively



شکل (۲) نمودار مقایسه میانگین مدت خشک کردن به لیمو تحت تأثیر دماهای مختلف

(میانگین‌های با حروف مشابه دارای اختلاف معنی دار در سطح ۱ درصد نمی باشند)

Figure (2) Mean comparison chart of lemon verbena drying duration affected by different air temperatures (Means with the same letters are not significantly different at 1% level)



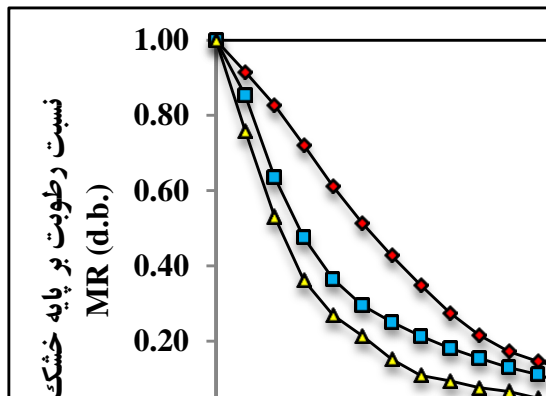
شکل (۳) نمودار مقایسه میانگین مدت خشک کردن به لیمو تحت تأثیر سرعت های هوای مختلف میانگین های با حروف مشابه دارای اختلاف معنی دار در سطح ۱ درصد نمی باشند)

Figure (3) Mean comparison chart of lemon verbena drying duration affected by different air velocities (Means with the same letters are not significantly different at 1% level)

مرحله محصول وارد مرحله خشک شدن با آهنگ نزولی گردیده است. در انتهای فرآیند خشک شدن در مرحله نزولی، آهنگ خشک شدن کاهش می یابد زیرا انرژی بیشتری برای جدایش رطوبت پیوندی باقیمانده در محصول مورد نیاز است. در این مرحله رطوبت پیوندی موجود در ماده تا رسیدن آن به رطوبت تعادلی و اتمام فرایند خشک شدن، از سطح ماده خارج می شود (۳۳). همچنین در شکل ۷ نسبت رطوبت در طول خشک شدن به لیمو در سایه و آفتاب نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود محصول در روش خشک کردن در آفتاب به دلیل تابش مستقیم نور و دمای بالاتر، در مدت کوتاه تری رطوبت خود را از دست می دهد و به وزن ثابت می رسد.

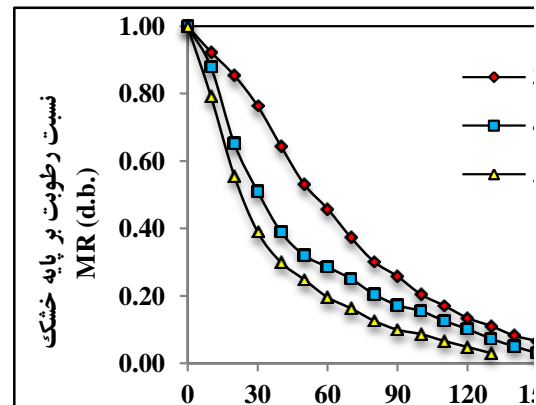
منحنی های خشک کردن

نمودار نسبت رطوبت برگ های به لیمو در طول دوره خشک کردن با تیمارهای مختلف خشک کردن در شکل های ۴ تا ۷ آورده شده است. با توجه به شکل های ۴ تا ۶ با افزایش دمای هوا از ۳۰ به ۵۰ درجه سلسیوس و سرعت هوای خشک کردن از ۱ به ۲ متر بر ثانیه در خشک کن، شیب منحنی نسبت رطوبت محصول افزایش یافته است. نتایج منحنی نسبت رطوبت نشان داد که با افزایش زمان خشک شدن و نزدیک شدن به پایان روند خشک کردن، شیب منحنی کاهش می یابد. در ابتدای خشک کردن محصول، سرعت از دست دادن رطوبت به دلیل افزایش آزاد شدن رطوبت از داخل به سطح محصول بالاتر است. در پایان دوره خشک شدن، برگ ها با شیب ملایم تری خشک می شوند. در این



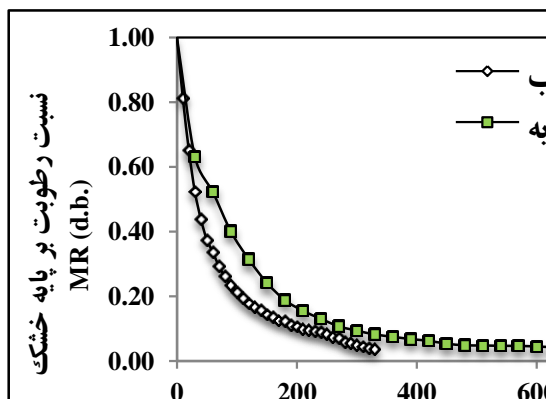
شکل (۵) تغییرات نسبت رطوبت به لیمو با زمان در دماهای مختلف و سرعت ۱/۵ متر بر ثانیه هوای ورودی به خشک کن

Figure (5) Variation of moisture ratio of lemon verbena to time at different temperatures and a speed of 1.5 m/s air inlet to drying



شکل (۴) تغییرات نسبت رطوبت به لیمو با زمان در دماهای مختلف و سرعت ۱ متر بر ثانیه هوای ورودی به خشک کن

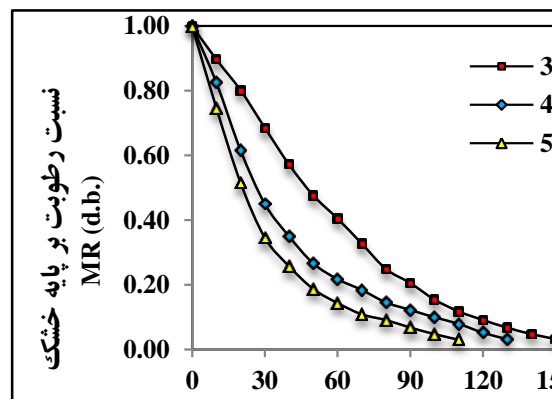
Figure (4) Variation of moisture ratio of lemon verbena to time at different temperatures and a speed of 1 m/s air inlet to drying



شکل (۷) تغییرات نسبت رطوبت به لیمو در روش خشک کردن در سایه و آفتاب

Figure (7) Variation of moisture ratio of lemon verbena to time in the drying method in the shade and the sun

متربرئانه خشک کن و همچنین دو روش خشک کردن در دمای ۵۰ درجه سلسیوس و سرعت ۱ متربرئانه خشک کن و روش خشک کردن در سایه از نظر بازده استخراج اسانس اختلاف معنی دار وجود ندارد. اما بقیه روش ها باهم اختلاف معنی دار در سطح ۱ درصد داشتند. بر طبق نتایج، بیشترین میزان اسانس استحصالی از روش خشک کردن برگ های به لیمو در خشک کن جریان پیوسته با دمای ۴۰ درجه سلسیوس و سرعت هوای ۲ متربرئانه به میزان ۰/۶۱ درصد و دمای ۳۰ درجه سلسیوس و سرعت هوای ۲ متربرئانه به میزان ۰/۵۶ درصد و کمترین بازده اسانس در



شکل (۶) تغییرات نسبت رطوبت به لیمو با زمان در دماهای مختلف و سرعت ۲ متر بر ثانیه هوای ورودی به خشک کن

Figure (6) Variation of moisture ratio of lemon verbena to time at different temperatures and a speed of 2 m/s air inlet to drying

بازده استخراج اسانس

به منظور تعیین تاثیر تیمارهای مختلف خشک کردن بر روی بازده اسانس به دست آمده از هر تیمار، تجزیه واریانس بین روش های مختلف خشک کردن انجام شد (جدول ۲). نتایج نشان داد که روش خشک کردن اثر معنی داری بر بازده اسانس در سطح ۱ درصد دارد. بر طبق شکل ۸، نمودار مربوط به مقایسه میانگین بین روش های مختلف خشک کردن نشان داد که بین دو روش خشک کردن در دما ۳۰ درجه سلسیوس و سرعت ۱/۵ متربرئانه و ۴۰ درجه سلسیوس و سرعت ۱/۵

است ناشی از انباشته شدن اسانس در سلول‌های ذخیره سازی اسانس در این دما و سرعت هوای خشک کن باشد (۱۹). پس مشاهده می‌شود که برای خشک کردن برگ‌های به‌لیمو در این خشک‌کن به منظور رسیدن به سطح رطوبتی مورد نظر، دمای ۴۰ درجه سلسیوس و سرعت هوای ۲ متر بر ثانیه با مدت خشک شدن ۱۳۰ دقیقه مناسب بود که نسبت به سایر تیمارها بیشترین مقدار اسانس را به دست آمد. همچنین در روش سنتی خشک کردن، میزان اسانس بدست آمده در روش آفتاب، علی‌رغم زمان کوتاه‌تر خشک شدن، پایین‌تر از روش سایه بود. با توجه به بررسی‌های به عمل آمده از این مطالعه، می‌توان نتیجه گرفت که دما و زمان خشک شدن می‌تواند اثر معنی‌داری روی میزان اسانس گیاهان دارویی داشته باشد و به حداقل رساندن اثرات نامطلوب بر روی گیاهان دارویی بستگی به انتخاب دقیق شرایط خشک شدن مانند دمای هوا و زمان اقامت محصول دارد (۳۶). همچنین با افزایش سرعت هوا از ۱ تا ۲ متر بر ثانیه، میزان اسانس در تمام دماهای خشک شدن در خشک‌کن افزایش یافته‌است که دلیل آن می‌تواند به علت کاهش مدت خشک شدن برگ‌های به‌لیمو در سرعت‌های هوای بالاتر در خشک‌کن باشد که باعث حفظ بیشتر اسانس در سلول‌های ذخیره سازی در گیاه شده‌است.

روش خشک کردن در آفتاب به میزان ۰/۲۳ درصد و سایه به میزان ۰/۳۲ درصد بدست آمده‌است. دماهای بالاتر باعث می‌شود که محصول در مدت زمان کوتاه‌تری خشک شود، اما آسیب‌های حرارتی محصول در طول خشک شدن به طور مستقیم با افزایش دما، زیادتر می‌گردد و دمای بالا روی میزان اسانس موجود در گیاهان و کیفیت آن‌ها تاثیر منفی می‌گذارد (۱۲). دلیل این پدیده این است که در طول فرایند خشک کردن، رطوبت از طریق سطح برگ منتشر می‌شود و به علت اینکه غده‌های حاوی اسانس در نزدیکی سطح برگ هستند، مقداری از اسانس گیاه، در طول فرآیند خشک شدن از بین می‌رود، که این امر می‌تواند دلیل کاهش میزان اسانس در طول خشک شدن در دماهای بالاتر باشد و چندین محقق گزارش دادند که افزایش دمای خشک شدن می‌تواند به گیاهان دارویی آسیب برساند (۹ و ۲۳). همان‌طور که مشاهده شد با اینکه دمای ۵۰ درجه سلسیوس در خشک‌کن دارای زمان خشک شدن کوتاه‌تری نسبت به دمای ۳۰ و ۴۰ درجه سلسیوس بود ولی میزان اسانس پایینی در نمونه‌هایی که بدین روش خشک گردیدند، به دست آمد.

بر طبق این پژوهش بازده اسانس به دست آمده در دمای ۴۰ درجه سلسیوس بیشتر از دمای ۳۰ درجه سلسیوس در سرعت ۲ متر در ثانیه بود. این پدیده ممکن

جدول (۲) تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای مختلف خشک کردن بر استخراج اسانس از به‌لیمو

Table (2) Analysis of variance effect of different drying treatments on essential oil extraction efficiency of lemon verbena

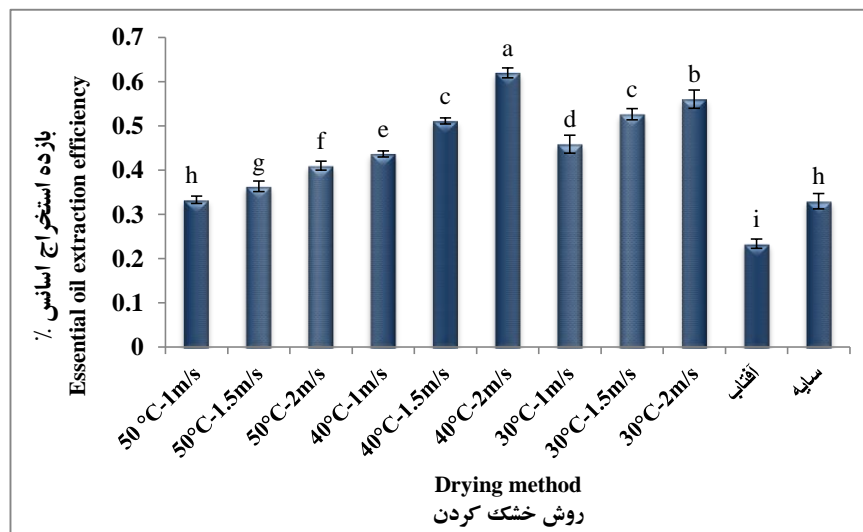
منابع تغییرات	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات خطا
(Source of variance)		(Mean Square Error)
روش خشک کردن (Drying Method)	10	0.03**
خطا (Error)	22	0.00
کل (Corrected Total)	32	

c.v= 2.21%

** معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد

** : Significant at 1% of probability levels

سودمند مقدم و همکاران: مقایسه خشک کردن به لیمو در...



شکل (۸) نمودار مقایسه میانگین بازده استخراج اسانس به لیمو در تیمارهای مختلف خشک کردن (میانگین‌های با حروف مشابه دارای اختلاف معنی دار در سطح ۱ درصد نمی باشند)

Figure (8) The mean comparison chart of essential oil extraction efficiency of lemon verbena in different drying treatments (Means with the same letters are not significantly different at 1% level)

نتیجه‌گیری

به طور کلی نتایج حاکی از آن است که روش‌های خشک کردن مورد بررسی در این تحقیق، بر بازده اسانس به دست آمده و مدت زمان خشک شدن برگ‌های به لیمو تاثیر معنی داری داشته است. در این تحقیق یک خشک کن جریان پیوسته مجهز به سامانه پیش گرمایش خورشیدی برای خشک کردن برگ‌های به لیمو در دماها و سرعت‌های هوای مختلف بکار برده شد و با روش سنتی خشک کردن (آفتاب و سایه) از نظر بازده اسانس و مدت زمان خشک شدن مقایسه شد. نتایج نشان داد که استفاده از این سامانه به منظور خشک کردن به لیمو باعث افزایش کیفیت محصول و کاهش زمان خشک شدن در مقایسه با روش‌های سنتی خشک کردن شد. به طور کلی، از مزایای به کارگیری این سامانه می‌توان به رایگان بودن بخشی از منابع انرژی مورد استفاده به دلیل استفاده از آبگرمکن خورشیدی، قرار گرفتن آب گرم در سیکل بسته، سازگاری سامانه پیش گرمایش خورشیدی با اهداف زیست محیطی، یکنواختی خشک

در این پژوهش سامانه‌ی جدیدی به منظور افزایش یکنواختی و کیفیت محصول در فرآیند خشک کردن گیاه دارویی به لیمو معرفی شد. در این سامانه‌ی خشک کن، بکارگیری انرژی تجدیدپذیر به وسیله استفاده از یک آبگرمکن خورشیدی به منظور خشک کردن به لیمو، می‌تواند وابستگی به مصرف سوخت‌های فسیلی در فرآیند خشک کردن را کاهش دهد. علاوه بر این با انجام مقایسه کیفیت محصول خشک شده با روش‌های سنتی مشاهده شد که بازده اسانس بدست آمده در روش خشک کردن با این سامانه به طور معنی داری (در سطح ۱درصد) از روش‌های سنتی خشک کردن بیشتر می‌باشد و همچنین زمان خشک شدن محصول در این سامانه بسیار کوتاه‌تر از روش‌های سنتی خشک کردن می‌باشد. با توجه به اهمیت موضوع انرژی‌های تجدیدپذیر و لزوم حفظ کیفیت گیاهان دارویی بعد از فرآیند خشک کردن، به کارگیری این سامانه‌ی خشک کن می‌تواند گامی مؤثر در راستای حفظ کیفیت در فرآیند خشک کردن گیاه دارویی به لیمو باشد.

شدن محصول به دلیل استفاده از سامانه خشک کن
 جریان پیوسته، زمان کوتاه تر خشک شدن محصول و
 حفظ بهتر کیفیت آن در مقایسه با روش خشک کردن
 سنتی اشاره نمود.

منابع

1. Abubakar, S., Umaru, S., Kaisan, M., Umar, U., Ashok, B., and Nanthagopal, K. 2018. Development and performance comparison of mixed-mode solar crop dryers with and without thermal storage. *Renewable Energy*, 128:285-298.
2. Ashtiani, S. H. M., Salarikia, A., and Golzarian, M. R. 2017. Analyzing drying characteristics and modeling of thin layers of peppermint leaves under hot-air and infrared treatments. *Information Processing in Agriculture*, 4(2), 128-139.
3. Baker, C. G. J. 2013. *Handbook of food factory design*. Springer.
4. Beigi, M. 2018. Energy and Exergy Analyses for Drying Process of Apple Cubes in a Hot Air Dryer. *Science and food industry. Journal of Food Science & Technology*. 15(76), 1-11. (in Persian with English abstract).
5. Caceres, A. 2000. Calidad de la material prima para la elaboracion de productos fitofarma ceuticas. In *Primer Congreso International FITO Por la investigacion. Conservacion diffusion del conocimiento de las plantas medicinals*. Lima, Peru.
6. Čiplienė, A., Novošinskas, H., Raila, A., and Zvicevičius, E. 2015. Usage of hybrid solar collector system in drying technologies of medical plants. *Energy Conversion and Management* 93:399-405.
7. da Cunha, A. P., Nogueira, M. T., Roque, O. R., and Barroso, J. M. G. 2012. *Plantas aromáticas e óleos essenciais: composição e aplicações*. Fundação Calouste Gulbenkian.
8. Deng, L. Z., Yang, X. H., Mujumdar, A. S., Zhao, J. H., Wang, D., Zhang, Q., ... and Xiao, H. W. (2018). Red pepper (*Capsicum annum* L.) drying: effects of different drying methods on drying kinetics, physicochemical properties, antioxidant capacity, and microstructure. *Drying Technology*, 36(8), 893-907.
9. Díaz-Maroto, M. C., Pérez-Coello, M. S., Gonzalez Vinas, M., and Cabezudo, M. D. 2003. Influence of drying on the flavor quality of spearmint (*Mentha spicata* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51:1265-1269.
10. Durance, T., and Wang, J. 2002. Energy consumption, density, and rehydration rate of vacuum microwave-and hot-air convection-dehydrated tomatoes. *Journal of Food Science*, 67:2212-2216.
11. Ebadi, M., Rahmati, M., Azizi, M., Khayyat, M. H., and Dadkhah, A. 2013. The effects of different drying methods on drying time, essential oil content and composition of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 29:437

12. Ebadi, M. T., Rahmati, M., Azizi, M., and Hassanzadeh Khayyat, M. (2011). Effects of different drying methods (natural method, oven and microwave) on drying time, essential oil content and composition of Savory (*Satureja hortensis* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 26(4), 476-489.
13. Fatouh, M., Metwally, M. N., Helali, A. B., and Shedid, M. H. 2006. Herbs drying using a heat pump dryer. *Energy Conversion and Management*, 47(15-16), 2629-2643.
14. Figiel, A., Szumny, A., Gutiérrez-Ortíz, A., and Carbonell-Barrachina, Á.A. 2010. Composition of oregano essential oil (*Origanum vulgare*) as affected by drying method. *Journal of Food Engineering*, 98:240-247.
15. Heindl, A. 2003. Problems in processing and drying of medicinal and spice plants and suggestions for trouble shooting. *Zeitschrift fur arzeni und gewurzpflanzen*, 8: 33-36.
16. Ibrahim, M., Mohamed, M., and Khalid, K. 2014. Effect of frequent harvest on yield and essential oil of lemon verbena grow under Egyptian conditions. *Journal of Materials and Environmental Science*, 5:1355-1359.
17. İltter, I., Akyıl, S., Devseren, E., Okut, D., Koç, M., and Ertekin, F. K. 2018. Microwave and hot air drying of garlic puree: drying kinetics and quality characteristics. *Heat and Mass Transfer*, 54(7), 2101-2112.
18. Jamshidi-Kia, F., Lorigooini, Z., and Amini-Khoei, H. 2018. Medicinal plants: past history and future perspective. *Journal of Herbmed Pharmacology*, 1:1-7.
19. Karimi, S.R., Shahhoseini, R., and Zakeri, S. 2013. Assessment of drying process, quantity of essential oil and mathematical modeling of lemon verbena (*Lippia citriodora* H. B. et K.) using hot air. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, Vol. 28, No. 4, 2013. (in Persian with English abstract).
20. Kostaropoulos, A., and Saravacos, G. 1995. Microwave pre-treatment for sun-dried raisins. *Journal of Food Science*, 60:344-347.
21. Kumar, C., Karim, M., and Joardder, MU. 2014. Intermittent drying of food products: A critical review. *Journal of Food Engineering*, 121:48-57.
22. Li, R., Shang, H., Wu, H., Wang, M., Duan, M., and Yang, J. 2018. Thermal inactivation kinetics and effects of drying methods on the phenolic profile and antioxidant activities of chicory (*Cichorium intybus* L.) leaves. *Scientific Reports*, 8(1), 9529.
23. Mashkani, M. R. D., Larijani, K., Mehrafarin, A., and Badi, H. N. 2018. Changes in the essential oil content and composition of *Thymus daenensis* Celak. under different drying methods. *Industrial Crops and Products*, 112, 389-395.

24. Motevali, A., Minaei, S., Khoshtaghaza, M. H., Kazemi, M., and Nikbakht, A. M. 2010. Drying of pomegranate arils: comparison of predictions from mathematical models and neural networks. *International Journal of food engineering*, 6(3), 1556-3758.
25. Mwendu, R., Owino, W., and Imathiu, S. 2018. Effects of pretreatment during drying on the antioxidant properties and color of selected tomato varieties. *Food science and nutrition*, 6(2), 503-511.
26. Naser Aldeen, M. G., Mansoor, R., and AlJoubbeh, M. 2015. Fluctuations of phenols and flavonoids in infusion of lemon verbena (*Lippia citriodora*) dried leaves during growth stages. *Nutrition and Food Science*, 45:766-773.
27. Ozdemir, N., Ozgen, Y., Kiralan, M., Bayrak, A., Arslan, N., and Ramadan, M. F. 2018. Effect of different drying methods on the essential oil yield, composition and antioxidant activity of *Origanum vulgare* L. and *Origanum onites* L. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(2):820-825.
28. Rabha, D., Muthukumar, P., and Somayaji, C. 2017. Experimental investigation of thin layer drying kinetics of ghost chilli pepper (*Capsicum Chinense* Jacq.) dried in a forced convection solar tunnel dryer. *Renewable Energy*, 105:583-589.
29. Santos, A., Nunes, T., Coutinho, T., and Silva, M. 2015. Use popular de espécies medicinais da família Verbenaceae no Brasil. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 17:980-991.
30. Sefidkon, F., Abbasi, K., and Khaniki, G. B. 2006. Influence of drying and extraction methods on yield and chemical composition of the essential oil of *Satureja hortensis*. *Food chemistry*, 99:19-23.
31. Sellami, I. H., Wannas, W. A., Bettaieb, I., Berrima, S., Chahed, T., Marzouk, B., and Limam, F. 2011. Qualitative and quantitative changes in the essential oil of *Laurus nobilis* L. leaves as affected by different drying methods. *Food chemistry*, 126:691-697.
32. Shahhoseini, R., Beyraghdar, A., Karimi, S-R., and Ebadi, M.T. 2013. Essential Oil Content and Composition of Lemon Verbena (*Lippia citriodora* Kunth.) during Different Phenological Stages. *Journal of Medicinal Plants and By-Products*, 2:205-208.
33. Strumilo, C. and Kudra, T. 1998. *Drying: Principles, Applications and Design* . Pahlevanzadeh, H. Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran.
34. Tiwari, A. 2016. A review on solar drying of agricultural produce. *Journal of Food Processing Technology*, 7:623.

35. Toujani, M., Hassini, L., Azzouz, S., and Belghith, A. 2013. Experimental study and mathematical modeling of silverside fish convective drying. *Journal of Food Processing and Preservation*, 37:930-938.
36. Venskutonis, P. 1997. Effect of drying on the volatile constituents of thyme (*Thymus vulgaris* L.) and sage (*Salvia officinalis* L.). *Food Chemistry*, 59:219-227.
37. Zheng, X., Jiang, Y., and Pan, Z. 2005. Drying and quality characteristics of different components of alfalfa. Pages 1. 2005 ASAE Annual Meeting: American Society of Agricultural and Biological Engineers.