

## ارزیابی فرایند خشک شدن، کمیت اسانس و مدل سازی ریاضی گیاه دارویی به لیمو (*Lippia citriodora* H. B. et K.) با استفاده از جریان هوای گرم

سیدرضی کریمی<sup>۱\*</sup>، رضا شاه حسینی<sup>۲</sup> و سعید ذاکری<sup>۳</sup>

\*- نویسنده مسئول، دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

پست الکترونیک: razi1391@gmail.com

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

تاریخ پذیرش: تیر ۱۳۹۰

تاریخ اصلاح نهایی: خرداد ۱۳۹۰

تاریخ دریافت: دی ۱۳۸۹

### چکیده

گیاه دارویی به لیمو با نام علمی *Lippia citriodora* H. B. et K. متعلق به خانواده Verbenaceae می‌باشد که مواد مؤثره آن دارای اثرهای آرام‌بخشی، ضد تشنج، برطرف‌کننده تپش قلب، ضداسهال و ضد میکروبی می‌باشد. خشک کردن اصولی و دقیق گیاهان دارویی به منظور کاهش رطوبت، افزایش ماندگاری و افزایش کمی و کیفی مواد مؤثره آنها امری اجتناب‌ناپذیر است. در این تحقیق از خشک‌کن هوای گرم برای خشک کردن برگ گیاه به لیمو با استفاده از درجه حرارت‌های (۳۰، ۴۰ و ۵۰ درجه سلسیوس) و سرعت‌های مختلف جریان هوا (۰/۵m/s، ۱ و ۱/۵) برای رسیدن به میزان رطوبت ۱۵٪ استفاده گردید. پس از فرایند خشک شدن نمونه‌ها اسانس آنها توسط دستگاه کلونجر استحصال گردید. نتایج نشان داد که دو تیمار دما و سرعت هوا و اثر متقابل آنها بر زمان خشک شدن، دارای اثر معنی‌دار بود. مقایسه میانگین تیمار دما، اختلاف معنی‌داری بین دمای ۴۰°C و ۵۰°C از نظر مدت زمان خشک شدن نشان نداد. اما با افزایش دما اثر سرعت ناچیز شد. بهترین تیمار از نظر کمترین زمان خشک شدن مربوط به دمای ۴۰°C و سرعت ۱m/s می‌باشد. سطوح دمایی مختلف اثری معنی‌دار بر میزان اسانس داشته، به طوری که بیشترین مقدار اسانس مربوط به دمای ۳۰°C و کمترین مقدار آن مربوط به دمای ۴۰°C بود. سرعت هوای داغ نیز اثر معنی‌داری را بر میزان اسانس نشان داد، به طوری که در سرعت ۰/۵m/s بیشترین مقدار اسانس حاصل شد. نتایج حاصل از بررسی اثرهای متقابل نشان داد که حداکثر اسانس مربوط به دمای ۵۰°C و سرعت ۰/۵m/s بود. در نهایت ۷ مدل ریاضی خشک کردن لایه‌های نازک برای شرایط مختلف خشک شدن، از نظر R2، SSE و RMSE مقایسه شدند که بهترین مدل برای خشک کردن گیاه به لیمو Modified Page بود.

واژه‌های کلیدی: به لیمو (*Lippia citriodora* H. B. et K.)، خشک‌کن جریان هوای گرم، مدل‌سازی، اسانس، کمیت.

### مقدمه

کاملاً پی برده‌اند و بروز انواع سرطان‌ها و بیماریهای مختلف تأییدکننده این موضوع می‌باشد. بر این اساس کشورهای پیشرفته که دارای امکانات تحقیقاتی گسترده‌ای

در قرن اخیر دانشمندان به زیان‌های ناشی از سموم شیمیایی، مواد افزودنی، اسانس و طعم‌دهنده‌های مصنوعی

ضداسهالی، مدری (Abed & Benmerabet, 1981)،  
ضدمیکروبی علیه میکروفلور دندان (Torrent Marti, 1985)،  
آرامبخشی، ضدتب و مهار اثر تحریککنندگی  
هیستامین می باشد (Nakamura et al., 1997).

با خشک و یا منجمد کردن مواد غذایی می توان مدت  
نگهداری آنها را افزایش داد (Fatouh et al., 2006). به  
کمک خشک کردن می توان برداشت زود هنگام، وزن  
سبک تر برای حمل و نقل، فضای کمتر برای نگهداری  
طولانی مدت بدون خرابی و آماده سازی برای فرایند  
اسانس گیری را فراهم کرد (Dandamrongrak et al., 2002).  
برای گیاهان دارویی بهترین بازه ی درجه حرارت  
خشک کردن از نظر کیفیت بالای محصول نهایی، دمای  
 $30^{\circ}\text{C}$  تا  $60^{\circ}\text{C}$  می باشد (Soysal & Oztekin, 2001).  
گیاهان دارویی پس از خشک شدن باید حدود ۱۰ تا ۱۴٪  
رطوبت داشته باشند. درجه حرارت مطلوب برای  
خشک کردن اندامهایی که حاوی اسانس می باشند ۳۰ تا  
۵۰ درجه سلسیوس می باشد (امیدبگی، ۱۳۸۴).  
خشک کن های دارای جریان هوای گرم در مقایسه با  
خشک کن های دارای جریان هوای خنک، کیفیت بهتر و  
سرعت عمل بیشتری دارند، از این رو برای خشک کردن  
گیاهان اغلب از این نوع دستگاه ها استفاده می شود  
(Soysal & Oztekin, 2001).

در تحقیقی، تأثیر دماهای  $30^{\circ}\text{C}$  و  $60^{\circ}\text{C}$  بر روی  
اسانس و ترکیب های فرار آویشن و مریم گلی مورد  
بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که دمای  $60^{\circ}\text{C}$  برای  
خشک کردن این گیاهان مناسب نیست و باعث کاهش  
شدید ترکیب های فرار می گردد. این کاهش به علت از  
بین رفتن مونوترپن های غیراکسیژنه می باشد  
(Huopalahti et al., 1986).

در مورد شناسایی این مواد مضر بوده اند، تصمیم گرفته اند  
که در چند سال اخیر کلیه مواد مصرفی شیمیایی را از مواد  
غذایی، دارویی، آرایشی و بهداشتی بتدریج حذف نموده و  
بجای آن از منابع گیاهی استفاده کنند. کشور ما دارای  
غنی ترین منابع گیاهی از نظر مقدار و تنوع در سطح جهان  
می باشد. هم اکنون کشورهای پیشرفته پی به ارزش گیاهان  
دارویی و صنعتی برده و درصدد کشت و پرورش آنها در  
سایر کشورهای فقیر شده اند. شناسایی گیاهان اسانس دار  
گامی مهم در جهت اهلی کردن و ترویج شیوه های صحیح  
بهره برداری و استفاده از این گیاهان می باشد. گیاهان  
دارویی اسانس دار نقش مهمی در زندگی انسان دارند و در  
ایران از سابقه طولانی برخوردار می باشند (موسویان و  
بصری، ۱۳۸۷) و به لحاظ اهمیت فراوان این گیاهان،  
ضرورت دارد تا مطالعات جامعی در مورد آنها انجام شود.  
گیاه دارویی به لیمو با نام علمی *Lippia citriodora* از  
خانواده شاه پسند (مظفریان، ۱۳۷۵) درختچه ای است به  
ارتفاع ۱/۵ تا ۲ متر، دارای ساقه دراز، زاویه دار و منشعب  
با برگ های ساده، خشن، کامل، فراهم و مجتمع به تعداد  
۳ تا ۴ عددی به رنگ سبز روشن و دارای گل های جامی  
سفیدرنگ می باشد (Tutin, 1981). در طب سنتی برای  
این گیاه اثرهای آرامبخشی، ضد تشنج، برطرف کننده تپش  
قلب و سرگیجه ذکر شده است (امین، ۱۳۷۰). اسانس این  
گیاه دارای ترکیب های مختلفی می باشد که عمده ترین آنها،  
ژرانیال، میرسنون، لیمونن، لپیپولنون، ژرانیول و  
سیترونلول می باشد (Montes Bellakhdar et al., 1993).  
(et al., 1973). این گیاه همچنین حاوی آلکالوئید،  
فلاونوئید، موسیلاژ، تانن هیدرولیزشونده و فنل های  
اسیدی می باشد (Skaltsa & Torrent Marti, 1976).  
(Shammas, 1988). اسانس این گیاه دارای اثرهای

### نسبت رطوبت

در هر تیمار آزمایش مقدار ۵۰ گرم از برگ‌های تازه برداشت شده به‌لیمو، تحت تأثیر درجه حرارت و سرعت‌های مختلف جریان هوای گرم در خشک‌کن قرار گرفتند. دماهای مورد استفاده برای خشک کردن نمونه‌ها ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت‌های جریان هوا ۰/۵، ۱ و ۱/۵ متر بر ثانیه در نظر گرفته شد. بنابراین مجموع آزمایشها در ۹ تیمار و هر کدام در ۳ تکرار انجام شد. توزین نمونه‌ها در زمان‌های معین انجام گردید تا اینکه رطوبت نمونه به حدود ۱۵٪ (بر پایه وزن تر) رسید. آنالیز آماری نتایج این پژوهش، به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد.

برای تعیین نسبت رطوبت (MR: Moisture ratio) از رابطه ۱ استفاده شد:

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (1)$$

در این رابطه، M رطوبت نهایی،  $M_0$  رطوبت اولیه و Me: Moisture equilibrium رطوبت تعادلی محصول برحسب اعشار و بر پایه خشک می‌باشند.

رطوبت تعادلی عبارت است از آن مقدار رطوبتی که در انتهای فرایند خشک شدن در محصول باقی می‌ماند و با ادامه‌ی فرایند خشک شدن تغییر نخواهد کرد. برای تعیین رطوبت تعادلی در هر وضعیت از رابطه ۲ (معادله‌ی چانگ)، استفاده شد:

$$Me = E - F \ln(-(T+C) \ln(PV/PS)) \quad (2)$$

که در آن Me رطوبت تعادلی، T دما (°C) و PV/PS رطوبت نسبی محیط به اعشار می‌باشد. PV عبارت است از فشار جزئی بخار آب محیط و PS فشار بخار اشباع

خشک کردن گیاه به‌لیمو جهت استحصال اسانس، این پژوهش با هدف ارزیابی زمان خشک شدن، تغییرات کمیت اسانس و مدل‌سازی ریاضی آن در شرایط مختلف خشک کردن انجام شد.

### مواد و روشها

#### تهیه مواد اولیه و آماده‌سازی خشک‌کن

به منظور انجام این پژوهش، قلمه‌های یکنواخت و سالم از گیاهان مادری گیاه به‌لیمو تهیه و پس از ریشه‌دار شدن در گلخانه‌های محوطه دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس تهران کشت شدند. پس از مراقبت‌های لازم از گیاهان کشت شده، برداشت سرشاخه‌های گیاهان در زمان گلدهی کامل به‌صورت تصادفی انجام شد. برای تعیین میزان رطوبت اولیه برگ‌ها، ۳ نمونه ۵۰ گرمی در یک آون در دمای ۱۰۵°C به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند (Azizi et al., 2009). میزان رطوبت اولیه برگ‌ها به‌طور متوسط ۸۵٪ بر پایه‌ی وزن تر بود. در این تحقیق از دستگاه خشک‌کن آزمایشگاهی موجود در دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس استفاده گردید (شکل ۱). این دستگاه قادر به تنظیم دمای هوای گرم بین ۲۰ تا ۱۵۰°C و سرعت جریان هوای بین ۰/۱ تا ۸m/s می‌باشد (چایجان، ۱۳۷۹). دستگاه مذکور از یک سیستم کنترل سرعت جریان هوا، قسمت گرم‌کننده برقی، سیستم کنترل دمای هوای خشک‌کن، فن الکتریکی، حسگرها و محفظه خشک‌کن تشکیل شده‌است. توزین نمونه‌ها در طول فرایند خشک شدن با استفاده از یک ترازوی دیجیتالی با حساسیت ۰/۰۱ و ظرفیت ۱۵۰۰ گرم انجام گردید.

سیستیک خشک کردن برگ‌های به‌لیمو و به کمک ابزار برازش منحنی در نرم‌افزار مطلب (Matlab) برآورد گردید. برای انتخاب بهترین مدل مناسب توصیف‌کننده‌ی سیستیک خشک کردن، طبق معادلات زیر، ضریب همبستگی (R<sup>2</sup>)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE: ) و مجموع مربعات خطا (Root mean square error) و مابین داده‌های تجربی و نتایج پیش‌بینی شده توسط هر مدل، محاسبه و با مدل‌های دیگر مقایسه گردید.

محیط در همان شرایط می‌باشد. E، F و C ضرایب ثابت هستند (Brooker *et al.*, 1992). تجزیه و تحلیل آماری و ترسیم نمودارها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS و SPSS انجام شد.

#### مدل‌سازی ریاضی منحنی‌های خشک کردن

پرکاربردترین مدل‌های خشک کردن که قبلاً توسط محققان پیشنهاد گردیده در جدول ۱ آمده‌است (Akpinar *et al.*, 2003). مقادیر ثابت ۷ مدل توصیفی مورد مطالعه (a, c, y, k) با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی مربوط به

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{ci} - MR_{ei}) \times \sum_{i=1}^N (MR_{ci} - MR_{ei})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^N (MR_{ci} - MR_{ei})^2] \times [\sum_{i=1}^N (MR_{ci} - MR_{ei})^2]}} \quad (۳)$$

$$RMSE = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{ci} - MR_{ei})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (۴)$$

$$SSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{ci} - MR_{ei})^2 \quad (۵)$$

در این معادلات، N تعداد مشاهدات، MR<sub>ci</sub> نسبت رطوبت تجربی و MR<sub>ei</sub> نسبت رطوبت تئوری می‌باشد.

جدول ۱- مدل‌های ریاضی استفاده‌شده برای توصیف خشک کردن به‌لیمو

| منبع                          | نام مدل             | فرمول مدل  | شماره مدل |
|-------------------------------|---------------------|--|-----------|
| Ayensu (1997)                 | Lewis               | MR=exp(-kt)  | ۱         |
| Doymaz (2007)                 | Page                | MR=exp(-kt <sup>n</sup> )                              | ۲         |
| Chong <i>et al.</i> (2008)    | Modified Page       | MR=exp(-(kt) <sup>n</sup> )                            | ۳         |
| Ceylan <i>et al.</i> (2007)   | Henderson and Pabis | MR=a exp(-kt)  | ۴         |
| Yaldis <i>et al.</i> (2001)   | Logarithmic         | MR=a exp(-kt) + c                                      | ۵         |
| Togrul & Pehlivan (2003)      | Two-term Model      | MR=a exp(-k <sub>1</sub> t) + c exp(-k <sub>2</sub> t) | ۶         |
| Lahsasni <i>et al.</i> (2004) | Mideli              | MR=a exp(-kt) + ct                                     | ۷         |

## اسانس‌گیری

محصول را به ترتیب ۴۸٪ و ۱۶٪ کاهش می‌دهد. افزایش دما از ۳۰°C به ۴۰°C در سرعت ۱/۵m/s زمان خشک شدن محصول را ۵۶٪ کاهش می‌دهد، در صورتی که با افزایش دما از ۴۰°C به ۵۰°C در این سرعت تغییری در زمان خشک شدن دیده نمی‌شود. افزایش سرعت در یک دمای ثابت منجر به کاهش زمان خشک شدن می‌شود. افزایش سرعت از ۰/۵ m/s به ۱m/s و ۱/۵m/s در دمای ۳۰°C زمان خشک شدن را به ترتیب ۳۶٪ و ۳۷٪ کاهش می‌دهد. البته با افزایش سرعت در دو دمای بالاتر ۴۰°C و ۵۰°C تأثیر زیادی بر مدت زمان خشک شدن مشاهده نمی‌شود. با توجه به آنچه در شکل‌های ۲ تا ۴ یافت می‌شود می‌توان گفت که با افزایش دما اثر سرعت کمتر می‌شود، به طوری که تغییرات زمان خشک شدن برای سرعت‌های مختلف در دمای ۳۰°C بیشتر از دمای ۴۰°C یا ۵۰°C می‌باشد.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر درجه حرارت و سرعت هوا بر زمان خشک شدن (جدول ۲) نشان می‌دهد که درجه حرارت خشک کردن در سطح احتمال ۱٪ و سرعت جریان هوا در سطح احتمال ۵٪ و اثرهای متقابل آنها در سطح احتمال ۱٪ بر زمان خشک شدن دارای تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

پس از خشک شدن نمونه‌ها، استخراج اسانس به روش تقطیر با آب و به وسیله دستگاه کلونجر انجام شد. برای این کار مقدار ۱۵ گرم از هر نمونه بعد از خردشدن درون بالن کلونجر ریخته شد و روی محتویات داخل بالن کلونجر ۴۵۰ میلی‌لیتر آب اضافه شد. با تنظیم میزان حرارت و سرعت عبور آب سرد از میرد، تقطیر شروع شد. مدت زمان اسانس‌گیری برای تمامی تیمارها و تکرارها ۲ ساعت در نظر گرفته شد. پس از استخراج، جمع‌آوری و توزین اسانس برای تمام نمونه‌ها، داده‌ها با استفاده از برنامه آماری SAS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند و توسط روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن مقایسه میانگین‌ها انجام گردید.

## نتایج

منحنی‌های تغییر رطوبت حاصل از تیمارهای اعمال شده در شکل‌های ۲ تا ۴ ارائه شده‌است. در سرعت ۰/۵m/s افزایش دما از ۳۰°C به ۴۰°C مدت زمان خشک شدن را ۶۶٪ کاهش می‌دهد، در حالی که افزایش دما از ۴۰°C به ۵۰°C در همین سرعت مدت زمان خشک شدن را ۲۷٪ کاهش می‌دهد. در سرعت ۱m/s افزایش دما از ۳۰°C به ۴۰°C و از ۴۰°C به ۵۰°C زمان خشک شدن

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر درجه حرارت و سرعت هوا بر زمان خشک شدن و میزان اسانس

| منابع تغییرات           | درجه آزادی | میانگین مربعات (زمان) | میانگین مربعات (اسانس) |
|-------------------------|------------|-----------------------|------------------------|
| درجه حرارت خشک کردن (A) | ۲          | ۴۵۲۶۷/۵۹۲ **          | ۰/۰۰۶ *                |
| سرعت جریان هوا (B)      | ۲          | ۵۱۳۷/۰۳۷ *            | ۰/۰۰۰ *                |
| اثر متقابل (A×B)        | ۴          | ۶۱۵۹/۲۵۹ **           | ۰/۰۰۳ *                |
| خطا                     | ۱۸         | ۴۳۴/۲۵۹               | ۰/۰۰۰۰۲                |
| c.v                     | -          | ٪۲۱/۴۳                | ٪۲/۱                   |

\* : اختلاف در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار است.

\*\* : اختلاف در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار است.

بیشترین و سرعت  $1\text{ m/s}$  کمترین زمان خشک شدن را به خود اختصاص دادند (جدول ۴). گروه‌بندی تیمارها با آزمون دانکن (جدول ۵) نشان داد که بیشترین زمان خشک شدن مربوط به دمای  $30^\circ\text{C}$  و سرعت  $0.5\text{ m/s}$  می‌باشد و همچنین دو تیمار با دمای  $30^\circ\text{C}$  و سرعت ۱ و  $1/5\text{ m/s}$  اختلاف معنی‌داری ندارند. کمترین زمان مربوط به دمای  $50^\circ\text{C}$  می‌باشد و بین سرعت‌های مختلف در دمای  $40^\circ\text{C}$  و  $50^\circ\text{C}$  اختلاف معنی‌داری مشاهده نمی‌شود.

مقایسه میانگین اثر اصلی درجه حرارت بر مدت زمان خشک شدن نشان داد که بالاترین زمان خشک شدن ( $183/889$  دقیقه) مربوط به دمای  $30^\circ\text{C}$  و کمترین زمان ( $58/889$  دقیقه) مربوط به دمای  $50^\circ\text{C}$  می‌باشد و بین دمای  $40^\circ\text{C}$  و  $50^\circ\text{C}$  اختلاف معنی‌داری از نظر مدت زمان خشک شدن وجود ندارد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر اصلی جریان هوای داغ بر مدت زمان خشک شدن نشان داد که بین تمامی سرعت‌های هوای داغ اختلاف معنی‌داری وجود دارد، به طوری که سرعت  $0.5\text{ m/s}$

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرهای اصلی درجه حرارت بر روی مدت زمان خشک شدن

| مدت زمان خشک شدن (min) | درجه حرارت خشک شدن ( $^\circ\text{C}$ ) |
|------------------------|---|
| 183/889 A              | 30                                      |
| 63/333 B               | 40                                      |
| 58/889 B               | 50                                      |

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرهای اصلی سرعت جریان هوا بر روی مدت زمان خشک شدن

| مدت زمان خشک شدن (min) | سرعت جریان هوا (m/s) |
|------------------------|----------------------|
| 126/111 A              | 0.5                  |
| 78/333 C               | 1                    |
| 101/667 B              | 1.5                  |

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر درجه حرارت و سرعت هوا بر میزان اسانس استحصالی (جدول ۲) نشان داد که تأثیرات سرعت هوای داغ، دمای خشک کردن و همین‌طور اثر متقابل آنها در سطح احتمال ۰.۵٪ معنی‌دار شده‌است. در شکل ۵ تأثیر سرعت جریان هوای داغ بر روی میزان اسانس نشان داده شده‌است، که میزان اسانس در سرعت‌های  $0.5$  و سرعت‌های ۱ و  $1/5\text{ m/s}$  اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهد و در سرعت  $0.5\text{ m/s}$  بیشترین مقدار اسانس بدست آمد. میزان

نتایج مقادیر ثابت‌های ( $a, c, d, k$ ) مدل‌های تجربی مورد مطالعه (جدول ۱) با استفاده از داده‌های مورد آزمایش مربوط به سیتتیک خشک کردن گیاه به لیمو (نسبت رطوبت به‌عنوان تابعی از زمان خشک کردن) در شرایط مختلف خشک کردن در جدول ۷ آورده شده‌است که در نهایت مدل Modified Page با حداکثر ضریب همبستگی و حداقل RMSE و SSE به‌عنوان مدل مناسب برای توصیف سیتتیک خشک کردن برگ‌های به‌لیمو انتخاب شد (Hall, 1980; Lahsasni et al., 2004).

در خشک‌کن باعث کاهش رطوبت نسبی آن و بعکس باعث افزایش فشار بخار میان محصول و محیط اطراف می‌شود، در نتیجه سرعت انتقال جرم (رطوبت) از برگ به محیط افزایش پیدا می‌کند و شیب خطوط نمودار افزایش پیدا می‌کند.

سرعت جریان هوا از عواملی است که به کمک آن می‌توان ضریب انتقال جرم و ضریب انتقال حرارت را تغییر داد. بدین ترتیب که با افزایش این فاکتور، ضرایب فوق افزایش می‌یابد و در نتیجه انتقال جرم از محصول به هوای اطراف آن در واحد زمان شدت می‌یابد که خود منجر به کاهش زمان خشک شدن می‌شود. در یک سرعت ثابت، اختلاف زیادی بین دماهای  $40^{\circ}\text{C}$  و  $50^{\circ}\text{C}$  از نظر زمان خشک شدن وجود ندارد (شکل‌های ۲ تا ۴ و جدول ۵)، زیرا خروج آب از برگ‌ها به مرحله اشباع شدن می‌رسد و از یک میزان معینی بالاتر نخواهد رفت. بر همین اساس هرچه دما بالاتر می‌رود از شدت تغییرات آن کاسته می‌شود. نتایج جدول ۵ نیز تأکید بر این دارد که اثر متقابل سرعت و دماهای  $40^{\circ}\text{C}$  و  $50^{\circ}\text{C}$  از نظر زمان خشک شدن معنی دار نیست، به عبارتی با افزایش دما اثر سرعت هوا ناچیز می‌شود.

اسانس استحصال شده به ازای دماهای حرارتی مختلف در شکل ۶ نشان داده شده‌است. نتایج نشان می‌دهد که از لحاظ میزان اسانس، بین تمامی سطوح حرارتی اختلاف معنی‌داری وجود داشته و بیشترین این مقدار برای دمای  $30^{\circ}\text{C}$  و کمترین این مقدار برای دمای  $40^{\circ}\text{C}$  بدست آمد. در نهایت در شکل ۷ اثر متقابل بین دمای خشک شدن و سرعت جریان هوای داغ نشان داده شده‌است. به طوری که بیشترین مقدار اسانس استحصال شده مخصوص کمترین سرعت جریان هوا و بیشترین دمای خشک شدن یعنی سرعت  $0.5\text{m/s}$  و دمای  $50^{\circ}\text{C}$  بدست آمد.

#### بحث

نتایج مربوط به منحنی‌های کاهش رطوبت (شکل‌های ۲ تا ۴) نشان داد که با گذشت زمان و نزدیک شدن فرایند خشک شدن به انتها، از شیب هر منحنی و در نتیجه سرعت اُفت رطوبت کاسته می‌شود که علت این مسئله کاهش فشار بخار در محصول و نزدیک شدن آن به فشار محیط می‌باشد (سلیمانی و شاهدهی، ۱۳۸۵). در ارتباط با عامل درجه حرارت، همان‌گونه که نتایج نشان داد افزایش درجه حرارت هوا

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل درجه حرارت و سرعت جریان هوا بر روی مدت زمان خشک شدن

|          | دما ( $^{\circ}\text{C}$ ) |    |        | سرعت (m/s) |
|----------|----------------------------|----|--------|------------|
|          | ۵۰                         | ۴۰ | ۳۰     |            |
| ۵۰EF     | ۶۳/۳۳ CD                   |    | ۲۶۵ A  | ۰/۵        |
| ۶۰ EF    | ۶۰ CD                      |    | ۱۱۵ AB | ۱          |
| ۶۶/۶۷ EF | ۶۶/۶۷ CD                   |    | ۱۷۱ AB | ۱/۵        |

مربعات خطا، مدل Two-term به عنوان بهترین مدل انتخاب شد. برای سرعت  $1\text{m/s}$  مدل‌های Page و Modified Page با حداقل ضریب همبستگی  $0/997$ ، به عنوان بهترین مدل انتخاب شدند. برای سرعت  $1/5\text{m/s}$  با توجه به این که تنها مدل Two-term ضریب همبستگی آن بیشتر از  $0/998$  بود، به عنوان بهترین مدل انتخاب شد.

در نهایت برای بهترین مدل از بین مدل‌های مذکور، با استفاده از ضریب همبستگی، ریشه میانگین مربعات خطا و مجموع مربعات خطا بین داده‌های تجربی و نتایج پیش‌بینی شده توسط هر مدل، Modified Page به عنوان مدل مناسب انتخاب گردید که ضرایب مربوطه به بهترین مدل (Modified Page) برای تیمارهای مختلف در جدول ۷ لحاظ گردیده است.

نتایج مقایسه داده‌های افت رطوبت اندازه‌گیری شده با مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل‌های مذکور نشان داد که مدل Modified Page با توجه به ضریب همبستگی  $0/999$ ، مجموع مربعات خطای حداکثر  $0/008$  و میزان ریشه میانگین مربعات خطای حدود  $0/002$ ، می‌تواند برای توصیف و پیش‌بینی سینتیک خشک کردن برگ گیاه دارویی به لیمو با دقت حدود  $0/001$  استفاده گردد.

در رابطه با تأثیر سرعت جریان هوا بر میزان اسانس، از آنجا که با افزایش سرعت جریان هوای داغ، حجم هوا نیز افزایش پیدا کرده با فرض ثابت ماندن زمان خشک شدن میزان اسانس استحصال شده باید کمتر شود، در صورتی که با کاهش زمان خشک شدن همچنان شاهد رسیدن به اسانس کمتری می‌باشیم (شکل ۵) که می‌توان در دو علت جستجو کرد؛ یا زمان خشک شدن کاهش چندانی نداشته یا در مراحل پایانی خشک شدن

دمای  $30^\circ\text{C}$  اثر کمی روی زمان خشک شدن دارد (جدول ۳)، اما هنگامی که با افزایش سرعت هوا همراه می‌شود، تأثیرگذاری سرعت بیشتر مشاهده می‌شود. در دماهای بالاتر به دلیل این که تأثیرگذاری دما زیاد است اثر افزایش سرعت هوا تفاوت معنی داری نشان نمی‌دهد (جدول ۵). با توجه به این که افزایش سرعت موجب سرد نگه داشتن محصول می‌شود (نسبت به سرعت‌های پایین‌تر)، از این رو اگر درجه حرارت هوا به گونه‌ای باشد که نتواند این اثر را خنثی کند زمان خشک شدن طولانی‌تر می‌شود، بنابراین افزایش سرعت از  $1\text{m/s}$  به  $1/5\text{m/s}$  در دماهای  $40^\circ\text{C}$  و  $50^\circ\text{C}$  موجب افزایش زمان خشک شدن می‌شود.

برای دمای  $30^\circ\text{C}$  مدل‌های Modified Page و Two-term model با ضریب همبستگی حداقل  $0/999$  تعیین گردیدند و با توجه به کمتر بودن مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا و مجموع مربعات خطا برای مدل Modified Page، این مدل به عنوان بهترین انتخاب گردید. برای دمای  $40^\circ\text{C}$  مدل‌های Page و Modified Page و Henderson and Pabis با ضریب همبستگی حداقل  $0/997$  تعیین گردیدند که از این میان مدل Modified Page با توجه به مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا و مجموع مربعات خطا، به عنوان بهترین مدل‌ها انتخاب شد. همین‌طور برای دمای  $50^\circ\text{C}$  مدل Two-term با حداقل همبستگی  $0/998$  به عنوان بهترین مدل ثبت شد.

برای سرعت  $0/5\text{m/s}$  مدل‌های Logarithmic و Two-term با ضریب همبستگی حداقل  $0/999$  بهترین انطباق را با منحنی خشک شدن داشتند که با توجه به کمتر بودن مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا و مجموع



بیشتر از  $40^{\circ}\text{C}$ ) با افزایش میزان اسانس مواجه شد. بنابراین بهترین سرعت و دمای خشک شدن برای بیشترین میزان اسانس، سرعت  $0.5\text{m/s}$  و دمای  $50^{\circ}\text{C}$  می باشد.

### نتیجه گیری کلی

با توجه به این که در پژوهش حاضر تیمار  $40^{\circ}\text{C}$  و سرعت  $1\text{m/s}$  (کمترین زمان خشک شدن) و تیمار  $50^{\circ}\text{C}$  و سرعت  $0.5\text{m/s}$  (بیشترین میزان اسانس استحصال) به عنوان بهترین تیمارها انتخاب گردیدند؛ لازم است برای تبیین دقیق موضوع و انتخاب تیمار یا تیمارهای برتر از همه جهات، علاوه بر اعمال سرعت ها و دماهای بیشتر، آنالیزهای دستگاهی اسانس (فیتوشیمیایی) نیز در این رابطه انجام شود تا با مشخص کردن مهمترین اجزای ماده مؤثره و بررسی سایر مؤلفه ها مانند زمان، انرژی مصرفی و ... در کنار یکدیگر در نهایت به بهترین تیمار برای خشک کردن این گیاه دارویی با اطمینان کامل دست یافت.

تأثیر جریان هوا بر اسانس بیشتر از محتوی رطوبتی می باشد.

با توجه به قابلیت فرار بودن اسانس ها و حساسیت این ترکیب ها به دماهای بالا، به نظر می رسد که با افزایش درجه حرارت میزان اسانس استحصال شده باید کمتر شود و این روند برای دماهای  $30^{\circ}\text{C}$  و  $40^{\circ}\text{C}$  صادق است، اما در دمای  $50^{\circ}\text{C}$  تغییر کرده و میزان اسانس در این دما مجدداً افزایش پیدا کرده (شکل ۶) که این پدیده ممکن است به علت تجمع ناگهانی اسانس در سلول های ذخیره ای اسانس باشد.

در نهایت با توجه به اثر متقابل بین دما و سرعت هوای داغ (شکل ۷) مشاهده می شود که با افزایش جریان هوا برای دمای  $30^{\circ}\text{C}$  میزان اسانس استحصالی اختلاف معنی داری افزایش پیدا کرده و در این دما با این روند ممکن است با افزایش سرعت (اعمال سرعت های بیش از  $1.5\text{m/s}$ ) میزان اسانس تا حد معینی به طور صعودی افزایش پیدا کند. برای دمای  $50^{\circ}\text{C}$  این حالت کاملاً بعکس می باشد و با کاهش سرعت جریان هوا، میزان اسانس افزایش می یابد و طبق این روند ممکن است با کاهش دما (اعمال دمای کمتر از  $50^{\circ}\text{C}$  و

جدول ۶- مقادیر بدست آمده با استفاده از مدل سازی ریاضی سینتیک خشک شدن برگ گیاه دارویی به لیمو

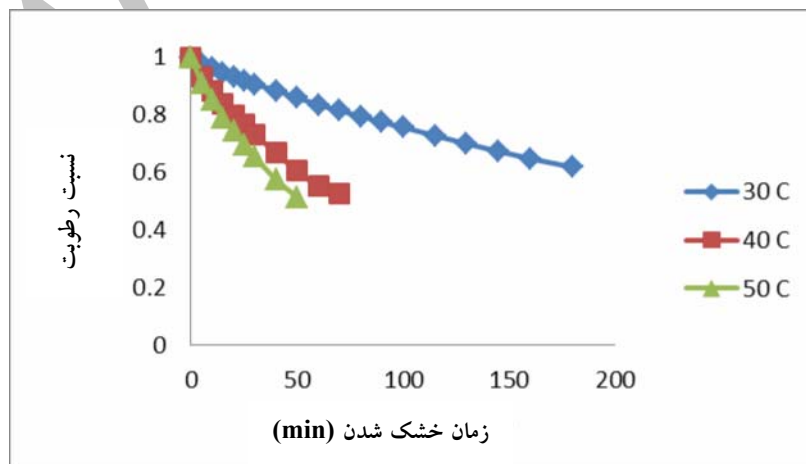
| Temp<br>°C | Speed (m/s)         |                |          | ۱        |                |          | ۱/۵      |                |          |          |
|------------|---------------------|----------------|----------|----------|----------------|----------|----------|----------------|----------|----------|
|            | Model               | R <sup>2</sup> | SSE      | RMSE     | R <sup>2</sup> | SSE      | RMSE     | R <sup>2</sup> | SSE      | RMSE     |
| ۳۰         | Lewis               | ۰/۹۷۵          | ۰/۰۲۱۶۱  | ۰/۰۳۱۳۴  | ۰/۹۷۵          | ۰/۰۲۱۶۱  | ۰/۰۳۱۳۴  | ۰/۰۹۳۲۸        | ۰/۰۱۷    | ۰/۰۳۴۵۸  |
|            | Page                | ۰/۹۹۸۶         | ۰/۰۰۵۶۷  | ۰/۰۰۰۰۹  | ۰/۹۹۹۸         | ۰/۰۰۲۵۸۲ | ۰/۰۰۰۱   | ۰/۹۹۹۶         | ۰/۰۰۲۷۱  | ۰/۰۲۷۱   |
|            | Modified Page       | ۰/۹۹۹          | ۰/۰۰۵۶۷۳ | ۰/۰۰۰۰۸  | ۰/۹۹۹۸         | ۰/۰۰۲۵۸  | ۰/۰۰۰۱   | ۰/۹۹۹۶         | ۰/۰۰۲۷۱۲ | ۰/۰۰۲۷۱۲ |
|            | Henderson and Pabis | ۰/۹۸۳۴         | ۰/۰۱۹۹۵  | ۰/۰۰۲۵۷۴ | ۰/۹۹۲۶         | ۰/۰۱۴۰۷  | ۰/۰۰۵۶۹  | ۰/۹۷۶          | ۰/۰۲۰۹۳  | ۰/۰۲۰۹۳  |
|            | Logarithmic         | ۰/۹۹۹          | ۰/۰۰۴۹۷  | ۰/۰۰۰۲۸۸ | ۰/۹۹۹          | ۰/۰۰۴۹   | ۰/۰۰۱۱۷  | ۰/۹۹۵          | ۰/۰۰۹۸۸  | ۰/۰۰۹۸۸  |
|            | Two-term model      | ۰/۹۹۹۱         | ۰/۰۰۴۸۶  | ۰/۰۰۰۱۵  | ۰/۹۹۹۶         | ۰/۰۰۳۶۶  | ۰/۰۰۰۱۹  | ۰/۹۹۹۳         | ۰/۰۰۴۱۳  | ۰/۰۰۴۱۳  |
|            | Midill-Kucuk        | ۰/۹۹۸۷         | ۰/۰۰۵۵۱  | ۰/۰۰۰۳۶  | ۰/۹۹۹          | ۰/۰۰۵۴۵  | ۰/۰۰۱۵۱  | ۰/۹۹۴          | ۰/۰۱۱۲۳  | ۰/۰۱۱۲۳  |
| ۴۰         | Lewis               | ۰/۹۰۲۲         | ۰/۰۲۳۴۶  | ۰/۰۴۸۴۴  | ۰/۸۸۶          | ۰/۰۲۳۹۷  | ۰/۰۵۱۶۱  | ۰/۸۴۱۱         | ۰/۰۲۸۹۹  | ۰/۰۶۰۲   |
|            | Page                | ۰/۹۹۶۴         | ۰/۰۰۹۲۷  | ۰/۰۰۰۱۵  | ۰/۹۹۹۳         | ۰/۰۰۴۳۴  | ۰/۰۰۰۰۹  | ۰/۹۹۹۵         | ۰/۰۰۳۶۵  | ۰/۰۰۳۶۵  |
|            | Modified Page       | ۰/۹۹۶۸         | ۰/۰۰۹۲۷  | ۰/۰۰۰۱۵  | ۰/۹۹۹۳         | ۰/۰۰۴۳۴  | ۰/۰۰۰۰۵  | ۰/۹۹۹۵         | ۰/۰۰۳۶۵  | ۰/۰۰۳۶۵  |
|            | Henderson and Pabis | ۰/۹۵۳          | ۰/۰۳۵۳۹  | ۰/۰۱۱۱   | ۰/۹۴۷۲         | ۰/۰۳۷۲۴  | ۰/۰۱۴۲۹  | ۰/۹۲۲          | ۰/۰۴۵۱۸  | ۰/۰۴۵۱۸  |
|            | Logarithmic         | ۰/۹۹۷          | ۰/۰۰۹۲۹  | ۰/۰۰۱۱۳  | ۰/۹۹۵          | ۰/۰۱۲۶۹  | ۰/۰۰۱۷۷  | ۰/۹۹۰۳         | ۰/۰۱۷۱۹  | ۰/۰۱۷۱۹  |
|            | Two-term model      | ۰/۹۹۸۸         | ۰/۰۰۶۴۳  | ۰/۰۰۲۷۷  | ۰/۹۸۷          | ۰/۰۲۱۴۹  | ۰/۰۰۰۰۹  | ۰/۹۹۹۵         | ۰/۰۰۴۱۹  | ۰/۰۰۴۱۹  |
|            | Midill-Kucuk        | ۰/۹۹۵          | ۰/۰۱۲۲۴  | ۰/۰۰۱۸   | ۰/۹۹۱          | ۰/۰۶۱۰۲  | ۰/۰۰۳۰۵  | ۰/۹۸۳۳         | ۰/۰۲۲۵۵  | ۰/۰۲۲۵۵  |
| ۵۰         | Lewis               | ۰/۸۴۱۱         | ۰/۰۲۸۹۹  | ۰/۰۶۰۲   | ۰/۹۹۰۱         | ۰/۰۰۲۵   | ۰/۰۱۶۶۶  | ۰/۸۷۷۸         | ۰/۰۳۳۱۱  | ۰/۰۵۴۸۷  |
|            | Page                | ۰/۹۹۹۵         | ۰/۰۰۴۰۳۲ | ۰/۰۰۰۵۷  | ۰/۹۹۷          | ۰/۰۰۸۴۷۴ | ۰/۰۰۱۱۹  | ۰/۹۹۵۶         | ۰/۰۱۰۹۲  | ۰/۰۱۰۹۲  |
|            | Modified Page       | ۰/۹۹۹۵         | ۰/۰۰۴۰۳  | ۰/۰۰۰۵۷  | ۰/۹۹۷          | ۰/۰۰۸۴۷  | ۰/۰۰۱۱۹  | ۰/۹۹۶          | ۰/۰۱۰۹۲  | ۰/۰۱۰۹۲  |
|            | Henderson and Pabis | ۰/۹۹۷          | ۰/۰۰۸۸۷  | ۰/۰۰۱۶۶  | ۰/۹۹۳          | ۰/۰۱۴۳۹  | ۰/۰۱۵۰۲  | ۰/۹۴۵          | ۰/۰۳۸۷۵  | ۰/۰۳۸۷۵  |
|            | Logarithmic         | ۰/۹۹۹۳         | ۰/۰۰۴۹۳  | ۰/۰۰۰۲۷۲ | ۰/۹۹۸۹         | ۰/۰۰۶۲۳۳ | ۰/۰۰۰۰۷  | ۰/۹۹۷۴         | ۰/۰۰۸۸۲  | ۰/۰۰۸۸۲  |
|            | Two-term model      | ۰/۹۹۹۳         | ۰/۰۰۴۵   | ۰/۰۰۰۲۷  | ۰/۹۹۸۹         | ۰/۰۰۶۷۴  | ۰/۰۰۰۰۴۹ | ۰/۹۹۸۴         | ۰/۰۰۷۳۲  | ۰/۰۰۷۳۲  |
|            | Midill-Kucuk        | ۰/۹۹۹۳         | ۰/۰۰۴۹۶  | ۰/۰۰۰۲۳  | ۰/۹۹۹۱         | ۰/۰۰۵۸   | ۰/۰۰۱۳۸  | ۰/۹۹۴۹         | ۰/۰۱۲۴   | ۰/۰۱۲۴   |

جدول ۷- ضرایب بدست آمده از مدل ریاضی Modified Page برای سرعت و دماهای مختلف

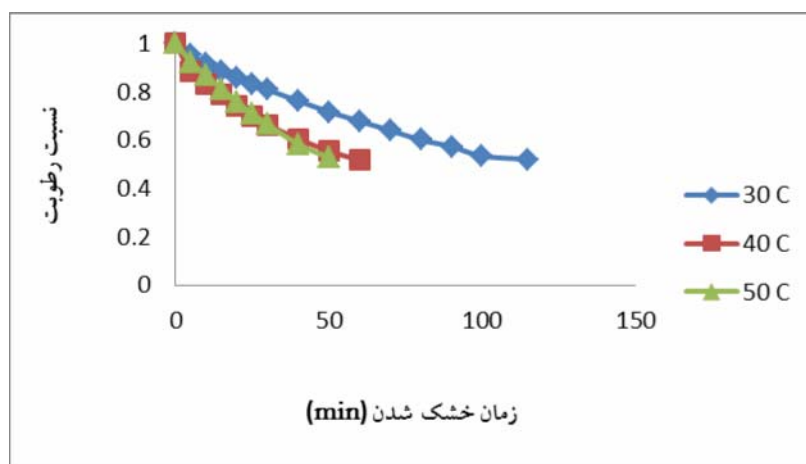
| (°C) | (m/s) | a | k |
|------|-------|---|---|
| /    | /     | / | / |
| /    | /     | / | / |
| /    | /     | / | / |
| /    | /     | / | / |
| /    | /     | / | / |
| /    | /     | / | / |
| /    | /     | / | / |
| /    | /     | / | / |



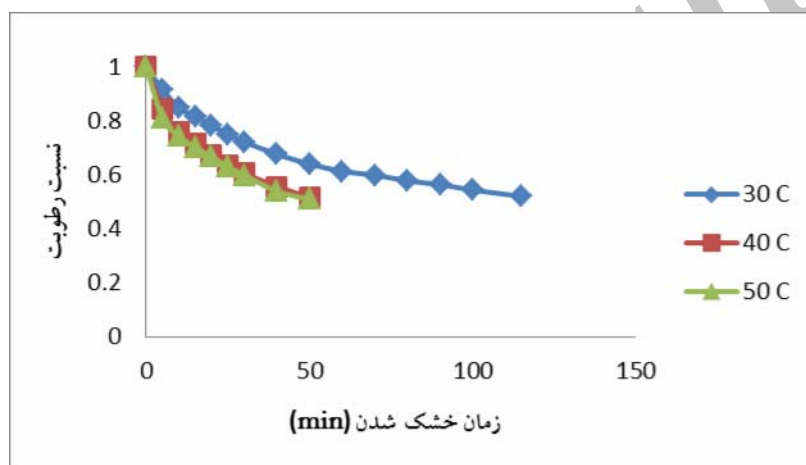
شکل ۱- شماتیک دستگاه خشک کن



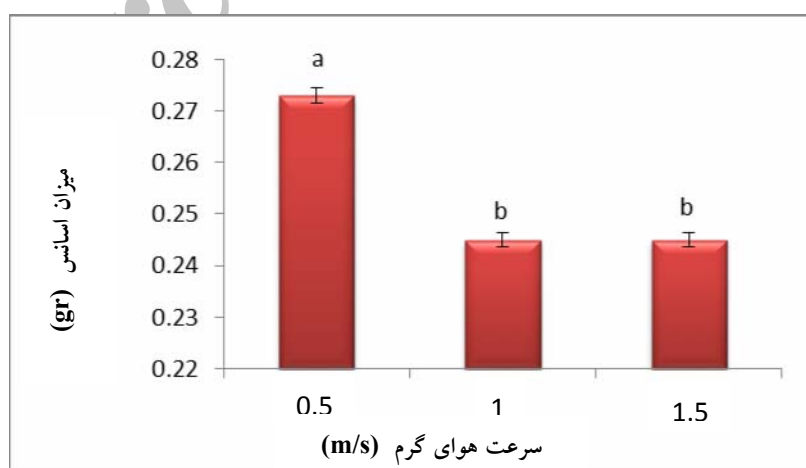
شکل ۲- تغییرات نسبت رطوبت در دماهای مختلف و سرعت ۰/۵ متر بر ثانیه



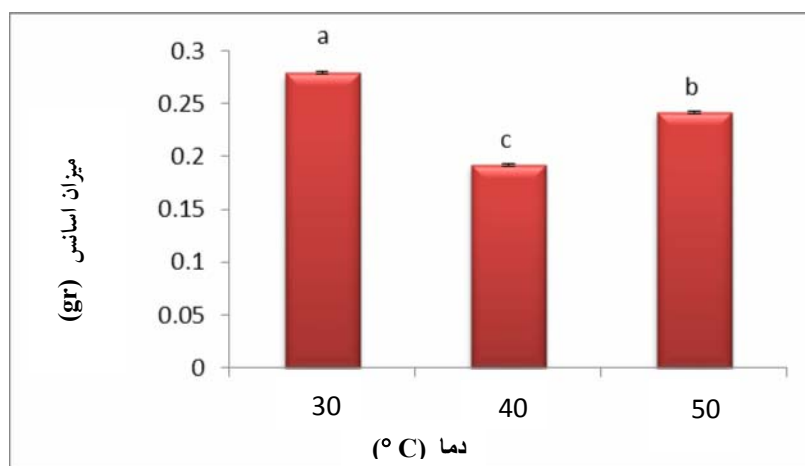
شکل ۳- تغییرات نسبت رطوبت در دماهای مختلف و سرعت ۱ متر بر ثانیه



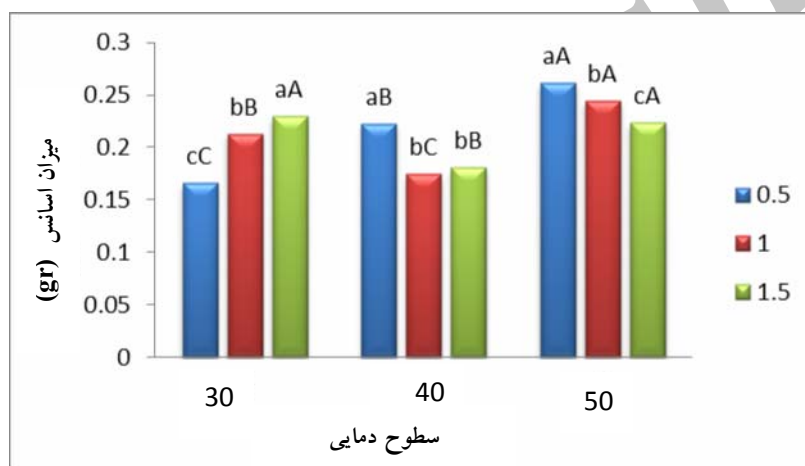
شکل ۴- تغییرات نسبت رطوبت در دماهای مختلف و سرعت ۱/۵ متر بر ثانیه



شکل ۵- میزان اسانس بدست آمده به ازای سطوح متفاوت سرعت جریان هوای گرم



شکل ۶- میزان اسانس بدست آمده به ازای سطوح متفاوت دمای خشک شدن



شکل ۷- تأثیر متقابل سرعت جریان هوا و دمای خشک شدن بر روی میزان اسانس بدست آمده  
حروف بزرگ بیانگر معنی داری درون هر یک از سرعت‌ها و حروف کوچک بیانگر معنی داری در بین هر یک از دماها است.

### منابع مورد استفاده

- سلیمانی، م. و شاهدی، م.، ۱۳۸۵. بررسی منحنی‌های هم‌دمای جذب و دفع رطوبتی بذر ذرت (هیبریدهای تری وی کراس ۶۴۷ و سینگل کراس ۷۰۴). علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۲(۱۰): ۲۳۰-۲۱۷.

- مظفریان، و.، ۱۳۷۵. فرهنگ اسامی گیاهان ایران. فرهنگ معاصر، تهران، ۳۲۵ صفحه.

- موسویان، م.ت.ح. و بصیری، ش.، ۱۳۸۷. بررسی تأثیرات درجه حرارت و سرعت جریان هوا در خشک کردن صنعتی آویشن گونه برگ‌باریک روی مقادیر کمی اسانس استحصالی.

- امیدبیگی، ر.، ۱۳۸۴. تولید و فرآوری گیاهان دارویی (جلد اول). انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد، ۳۴۸ صفحه.

- امین، غ.ر.، ۱۳۷۰. متداولترین گیاهان دارویی سنتی ایران (جلد اول). انتشارات معاونت پژوهشی وزارت بهداشت و درمان، تهران، ۳۰۰ صفحه.

- چایجان، ر.ا.، ۱۳۷۹. طراحی و ساخت خشک‌کن بستر سیال آزمایشگاهی برای محصولات دانه‌ای. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

- هجدهمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی، خراسان رضوی، مشهد مقدس، ۲۵-۲۴ مهرماه: ۲۲۵.
- Fatouh, M., Metwally, M.N., Helali, A.B. and Shedid, M.H., 2006. Herbs drying using heat pump dryer. *Energy Conversion and Management*, 47(15-16): 2629-2643.
  - Hall, A.C., 1980. Interfacial tension and phase behavior in system of petroleum sulfonate/brine/n-alkane. *Journal of Colloids and Surface*, 1(2): 209-228.
  - Huopalahti, R., Kesäelhti, E. and Linko, R., 1986. Effect of hot air and freeze drying on the volatile compounds of dill (*Anethum graveolens* L.) herb. *Journal of Agriculture Science in Finland*, 57(2): 133-138.
  - Lahsasni, S., Kouhila, M., Mahrouz, M., Idlimam, A. and Jamali, A., 2004. Thin layer convection solar drying and mathematical modeling of prickly pear peel (*Opuntia ficus indica*). *Journal of Energy*, 29(2): 211-224.
  - Montes, M., Valenzuela, L., Wilkomirsky, T. and Arrive, M., 1973. Composition of the essential oil from *Aloysia triphylla* (Cedron). *Planta Medica*, 23: 119-124.
  - Skaltsa, H. and Shamma, G., 1988. Flavonoids from *Lippia citriodora*. *Planta Medica*, 54(5): 465.
  - Soysal, Y. and Oztekin, S., 2001. PH-postharvest technology: Technical and economic performance of a tray dryer for medicinal and aromatic plants. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 79(1): 73-79.
  - Togrul, I.T. and Pehlivan, D., 2003. Modelling of drying kinetics of single apricot. *Journal of Food Engineering*, 58: 23-32.
  - Torrent Marti, MT., 1976. Some pharmacognostic and pharmacodynamic aspects of *Lippia citriodora*. *Rev. R. Acad. Farm. Barcelona*, 14: 39-55.
  - Torrent Marti, MT., 1985. Pharmacological effects of essential oils of biological origin. *Rev. R. Acad. Farm. Barcelona*, 1: 43-46.
  - Tutin, T.G., 1981. *Lippia* In: *Flora Europaea*. Cambridge University press, Cambridge, 123p.
  - Yaldis, O., Ertekin, C. and Uzun, H.I., 2001. Mathematical modelling of thin layer solar drying of Sultana grapes. *Energy-An International Journal*, 26: 457-465.
  - Abed, L. and Benmerabet, K., 1981. Interred de l'apport en potassium et sodium des infusions de plantes medicinales. *Plantes Medicinales et Phytotherapie*, 15: 92-98.
  - Akpınar, E.K., Bicer, Y. and Yildiz, C., 2003. Thin layer drying of red pepper. *Journal of Food Engineering*, 59: 99-104.
  - Ayensu, A., 1997. Dehydration of food crops using a solar dryer with convective heat flow. *Solar Energy*, 59: 121-126.
  - Azizi, M., Rahmati, M., Ebadi, T. and Hassanzadeh Khayat, M., 2009. The effect of different drying methods on weight loss rate, essential oil and chamazulene contents of chamomile (*Matricaria recutita*) flowers. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 25(20): 182-192.
  - Bellakhdar, J., Idrissi, A., Canigual, S., Iglesias, J. and Vila, R., 1993. Analysis of the essential oil of the odorant vervain (*Lippia citriodora* H.B. and K.) [geranial, neral, 6-methyl-5-hepten-2-one, cineol-1,8]. *Plantes Medicinales et Phytotherapie*, 26(4): 269-273.
  - Brooker, D.B., Bakker-Arkema, F.W. and Hall, C.W., 1992. *Drying and Storage of Grains and Oilseeds*. Springer, USA., 468p.
  - Ceylan, I., Aktas, M. and Dogan H., 2007. Mathematical modelling of drying characteristics of tropical fruits. *Applied Thermal Engineering*, 27: 1931-1936.
  - Chong, C.H., Law, C.L., Cloke, M., Hii, C.L., Abdullah, L.C. and Daud, W.R.W., 2008. Drying kinetics and product quality of dried Chempedak. *Journal of Food Engineering*, 88: 522-527.
  - Dandamrongrak, R., Young, G. and Mason, R., 2002. Evaluation of various pre-treatment for the dehydration of banana and selection of suitable drying models. *Journal of Food Engineering*, 55(2): 139-46.
  - Doymaz, I., 2007. Air-drying characteristics of tomatoes. *Journal of Food Engineering*, 78: 1291-1297.

## Assessment of drying process, quantity of essential oil and mathematical modeling of lemon verbena (*Lippia citriodora* H. B. et K.) using hot air

S.R. Karimi<sup>1\*</sup>, R. Shahhoseini<sup>2</sup> and S. Zakeri<sup>3</sup>

1\*- Corresponding author, MSc. Student, Department of Agricultural Mechanics, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran  
E-mail: razi1391@gmail.com

2- MSc. Student, Department of Horticultural Science, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

3- MSc. Student, Department of Agricultural mechanics, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received: December 2010

Revised: June 2011

Accepted: June 2011

### Abstract

Lemon verbena (*Lippia citriodora* H. B. et K.) is one of the medicinal plants, belonging to the family Verbenaceae. This plant has active ingredients with sedative, anticonvulsant, heartbeat away, anti-diarrhea and antimicrobial effects. Accurate drying of medicinal plants is inevitable in order to reduce the humidity and increase the longevity and quantity and quality of the active ingredients. In this research, hot air dryer was used to dry the leaves of lemon verbena by using temperatures of 30, 40 and 50°C and different air speeds of 0.5, 1 and 1.5 m/s to reach a humidity of 15%. Essential oil was extracted by Clevenger apparatus. Results showed that effects of temperature and air speed and their interaction on drying time were significant. Results of mean comparisons showed no significant difference between the temperatures of 40°C and 50°C. With increase of temperature, the effect of air speed was negligible. The best treatment in terms of minimum drying time was 40°C and 1 m/s speed. Different levels of temperature showed significant effect on quantity of the essential oil as the highest and the lowest essential oil level were respectively obtained at 30°C and 40°C. The speed of the hot air also showed a significant effect on quantity of the essential oil as the maximum essential oil was obtained at the speed of 0.5 m/s. The results of interaction effects showed that maximum essential oil obtained at 50°C temperature and 0.5 m/s speed. Finally, 7 Mathematical models of thin layer drying for different conditions such as R2, SSE and RMSE were compared. According to the results, Modified Page was identified as the best model for drying lemon verbena.

**Key words:** *Lippia citriodora* H. B. et K., hot air drying, model building, essential oil, quantity.