



بررسی فرآیند خشک‌شدن و مدل‌سازی ریاضی گیاه دارویی به‌لیمو با استفاده از جریان هوای گرم

سعید ذاکری^۱، محمدهادی خوش‌تقاضا^۲، سید رضی کریمی آکندی^۱ و رضا شاه‌حسینی^۳

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

۲- دانشیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم باغبانی دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

گیاه دارویی به‌لیمو با نام علمی *Lippia citriodora* از خانواده شاه‌پسند می‌باشد. مواد موثره این گیاه دارای اثرات آرام‌بخشی، ضدتشنج، مدر و برطرف‌کننده تپش قلب و سرگیجه می‌باشد. جهت افزایش ماندگاری این محصول لازم است که رطوبت آن کاهش یابد. در این تحقیق از خشک‌کن جریان هوای گرم جهت خشک‌کردن برگ گیاه دارویی به‌لیمو با استفاده از درجه حرارت و سرعت‌های مختلف جریان هوا جهت رسیدن به میزان رطوبت ۱۵٪ استفاده گردید. دماهای مورد استفاده ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درجه سلسیوس و میانگین‌های سرعت هوا ۰/۵، ۱ و ۱/۵ متر بر ثانیه بودند. نتایج بدست آمده نشان داد که دو تیمار دما و سرعت هوا و اثر متقابل آنها بر زمان خشک شدن معنی‌دار بود. مقایسه میانگین تیمار دما، اختلاف معنی‌داری بین دمای ۴۰ و ۵۰ درجه سلسیوس از نظر مدت زمان خشک شدن، نشان نداد. با افزایش دما اثر سرعت ناچیز شد. بهترین تیمار از جهت کمترین زمان خشک شدن و مصرف انرژی پایین مربوط به دمای ۴۰°C و سرعت ۱ (m/s) می‌باشد. مدل ریاضی خشک کردن لایه‌های نازک برای مواد مختلف از نظر R^2 ، SSE و RMSE مقایسه شدند که بهترین مدل برای خشک‌کردن گیاه به‌لیمو مدل Modified Page بدست آمد.

کلمات کلیدی: به‌لیمو، خشک‌کن جریان هوای گرم، مدل‌سازی.

مقدمه

در جهان امروز در قرن اخیر دانشمندان به زیان ناشی از مصرف مواد و سموم شیمیایی و مواد افزودنی و نگهداری سیستیک و اسانس و طعم‌های مصنوعی کاملاً پی برده‌اند و بروز انواع سرطان‌ها و بیماری‌های مختلف تاییدکننده این موضوع می‌باشد. لذا کشورهای پیشرفته که دارای امکانات تحقیقاتی گسترده‌ای در مورد شناسایی این مواد مضر بوده‌اند و تصمیم گرفته‌اند که در چند سال اخیر کلیه مواد مصرفی شیمیایی را در مواد غذایی، داروئی، آرایشی و بهداشتی به تدریج حذف نمایند. کشور ما دارای غنی‌ترین منابع گیاهی از نظر مقدار و تنوع در سطح جهان می‌باشد و از نظر

شرایط جغرافیایی و آب و هوایی هم بهترین گونه‌ها با بالاترین مواد موثره در اکثر کشورها وجود دارند (موسویان و بصیری، ۱۳۸۷).

هم اکنون کشورهای پیشرفته پی به ارزش گیاهان دارویی و صنعتی برده و در صدد کشت و پرورش آنها در سایر کشورهای فقیر شده اند. شناسایی گیاهان اسانس دار گامی مهم برای اهلی کردن و ترویج شیوه‌های صحیح بهره‌برداری و استفاده از این گیاهان می‌باشد. گیاهان دارویی اسانس دار نقش مهمی در زندگی انسان دارد و در ایران از سابقه طولانی برخوردار است (موسویان و بصیری، ۱۳۸۷) و به لحاظ اهمیت فراوان این گیاهان، ضرورت دارد تا مطالعات جامعی در مورد آنها انجام شود. به‌لیمو یکی از گیاهان مهم دارویی است که از گذشته‌های دور مورد استفاده بوده است.

گیاه دارویی به‌لیمو با نام علمی *Lippia citriodora* از خانواده شاه‌پسند (مظفریان، ۱۳۷۵؛ زرگری، ۱۳۷۱) درختچه‌ای است به ارتفاع ۱.۵ تا ۲ متر، دارای ساقه دراز، زاویه‌دار و منشعب، با برگ‌های ساده، خشن، کامل، فراهم و مجتمع به تعداد ۳ تا ۴ عددی به رنگ سبز روشن و دارای گل‌های جامی سفیدرنگ می‌باشد (Tutin, 1981). در طب سنتی برای این گیاه اثرات آرام‌بخشی، ضدتشنج، مدر و برطرف‌کننده تپش قلب و سرگیجه ذکر شده است (امین، ۱۳۷۰). اسانس این گیاه دارای ترکیبات مختلفی می‌باشد که عمده‌ترین آنها طی آزمایشات مختلف و بسته به سایر شرایط، او ۸- سینئول، ژرانیال، ۶- متیل ۵- هپتن ۲- اون، میرسنون، لیمونن، لیبیفولنون، ژرانیول و سیترونلول می‌باشد (Bellakhdar et al., 1993; Montes et al, 1973) این گیاه همچنین حاوی آلکالوئید، فلاونوئید، موسیلاژ، تانن هیدرولیزشونده و فنل‌های اسیدی می‌باشد (Torrent, 1976; Skaltsa & Shamma, 1988). اسانس این گیاه اثرات ضد اسهالی، مدری (Abed & Benmerabet, 1981; Salud, 1998) ضد میکروبی علیه میکروفلور دندان (Torrent, 1985) آرام‌بخشی و ضدتب و مهار اثر تحریک‌کنندگی هیستامین می‌باشد (Nakamura et al., 1997).

نگهداری مواد غذایی عمر اقتصادی قابل استفاده را افزایش می‌دهد که توسط خشک کردن و منجمد کردن به این منظور می‌رسیم (Fatouh et al., 2005). خشک کردن بواسطه کاهش مقدار رطوبت، از مواد غذایی نگهداری می‌کند، درحالی‌که انجماد، توسط کاهش دما زیر نقطه انجماد آب محصولات را نگهداری می‌کند. تکنیک خشک کردن اجازه برداشت زودهنگام، وزن سبک‌تر برای حمل و نقل، فضای کمتر برای نگهداری طولانی مدت بدون خرابی را فراهم می‌آورد (Dandamrongrak et al., 2002).

گیاهان دارویی پس از خشک شدن باید حدود ۱۰ تا ۱۴٪ رطوبت باقی داشته باشند. درجه حرارت مطلوب برای خشک کردن اندام‌هایی که حاوی اسانس می‌باشند ۴۰ تا ۵۰ درجه سلسیوس می‌باشد (امید بیگی، ۱۳۸۴). خشک‌کن‌های دارای جریان هوای گرم در مقایسه با خشک‌کن‌های دارای جریان هوای خنک، کیفیت بهتر و سرعت عمل بیشتری دارند، از این رو برای خشک کردن گیاهان اغلب از این نوع دستگاه‌ها استفاده می‌شود (Soyal & Oztekin, 2001).

پارکر (Parker, 1999) طی تحقیقی به خشک کردن برگهای تازه ریحان شیرین، مرزنجوش و جعفری در یک خشک‌کن هوای داغ برای رسیدن به میزان رطوبت ۱۰ درصد (بر پایه تر) در دماهای ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۵، درجه سلسیوس پرداخت. نتیجه نشان داد که زمان لازم برای خشک شدن ریحان شیرین، مرزنجوش و جعفری به ترتیب ۱۵، ۱۶، ۶، ۵ ساعت گزارش شد.

در یک بررسی، تاثیر دماهای ۳۰ و ۶۰ درجه سلسیوس بر روی اسانس و ترکیبات فرار آویشن و مریم‌گلی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد، دمای ۶۰°C برای خشک کردن این گیاهان مناسب نیست و باعث کاهش شدید ترکیبات فرار می‌گردد. این کاهش به خاطر از بین رفتن مونوترپن‌های غیر اکسیژنه بود (Huopalahti et al., 1986).

در این تحقیق سینتیک خشک کردن گیاه به‌لیمو بررسی می‌شود و ارتباط بین دما و سرعت هوا با زمان خشک شدن محصول بررسی می‌شود. و همچنین مدل ریاضی خشک کردن به‌لیمو بدست آورده شد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌ها با جمع‌آوری برگ‌ها و سرشاخه‌ها در زمان گلدهی و به صورت تصادفی انجام شد. برای تعیین محتوای رطوبتی اولیه ۳ نمونه ۵۰ گرمی در یک آون در دمای ۱۰۵ °C به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. محتوای رطوبتی اولیه برگ‌ها بطور متوسط ۸۵٪ بر پایه‌ی وزن تر بود (عزیزی و همکاران، ۱۳۸۷). در این تحقیق از یک دستگاه خشک‌کن آزمایشگاهی هوای گرم که قادر به تنظیم دمای هوای خشک‌کن بین ۲۰ °C تا ۱۵۰ سرعت جریان هوای بین ۰/۱ تا ۸ m/s با دقت بالایی می‌باشد. دستگاه خشک‌کن آزمایشگاهی مذکور (چایجان، ۱۳۷۹) از یک سیستم کنترل سرعت جریان هوا، قسمت گرم‌کننده برقی، سیستم کنترل دمای هوای خشک‌کن، فن الکتریکی، حسگرها و محفظه خشک‌کن تشکیل شده است. توزین نمونه‌ها هم‌نیز در طول فرایند خشک شدن با استفاده از یک ترازوی دیجیتالی با حساسیت ۰/۰۱ و ظرفیت ۱۵۰۰ گرم انجام گرفت. متغیرهای اندازه‌گیری در این تحقیق دمای جریان هوا، سرعت جریان هوا، رطوبت نسبی هوا و تغییر وزن نمونه‌ها می‌باشد. برای گیاهان دارویی بهترین بازه‌ی درجه حرارت خشک کردن، از نظر کیفیت بالا محصول نهایی، ۳۰°C الی ۶۰ می‌باشد (Soyal & Oztekin, 2001). لذا دماهای مورد استفاده جهت خشک کردن نمونه‌ها ۳۰°C، ۴۰ و ۵۰ و میانگین سرعت‌های هوا ۰/۵، ۱ و ۱/۵ بودند. توزین وزن نمونه‌ها در زمان‌های معین انجام گرفت تا اینکه در نهایت رطوبت نمونه به ۱۵٪ رسید. آزمون آماری مورد استفاده در این طرح از نوع فاکتوریل بود که در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد.

برای تعیین رطوبت نسبی از رابطه (۱) استفاده می‌شود:

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

در این رابطه M رطوبت نهایی، M_o رطوبت اولیه و M_e رطوبت تعادلی محصول بر پایه خشک می‌باشند.

برای تعیین رطوبت تعادلی در هر وضعیت از رابطه (۲)، معادله‌ی چانگ، استفاده می‌شود:

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

که در آن M رطوبت تعادلی، T دما بر حسب درجه سلسیوس و PV/PS رطوبت نسبی محیط به اعشار می باشد. E, F و C ضرایب ثابت هستند (Brooker et al., 1992). تجزیه تحلیل آماری و ترسیم نمودارها با استفاده از نرم افزارهای SAS و Excel انجام گرفت.

مدل سازی ریاضی منحنی های خشک کردن

پرکاربردترین مدل های خشک کردن که قبلا توسط محققین پیشنهاد گردیده در جدول ۱ آمده است (Akpınar et al., 2003). مقادیر ثابت ۷ مدل توصیفی مورد مطالعه (a, y, c, k) با استفاده از داده های آزمایشگاهی مربوط به سیب خشک کردن برگ های به لیمو و به کمک ابزار برازش منحنی در نرم افزار مطلب برآورد گردید. برای انتخاب مدل مناسب توصیف کننده ی سیب خشک کردن، ضریب همبستگی، ریشه میانگین مربعات خطا و مجموع مربعات خطا مابین داده های تجربی و نتایج پیش بینی شده توسط هر مدل محاسبه و با مدل های دیگر مقایسه گردید، و در نهایت مدل خشک کردن با حدکثر ضریب همبستگی و حداقل RMSE و SSE به عنوان مدل مناسب برای توصیف سیب خشک کردن برگ های به لیمو انتخاب شد. (Lasasni et al., 2004; Hall, 1980). مقادیر ثابت ۷ (a, c, d, k) مدل تجربی مورد مطالعه (جدول ۱) با استفاده از داده های مورد آزمایش مربوط به سیب خشک کردن گیاه به لیمو (نسبت رطوبت به عنوان تابعی از خشک کردن) در شرایط متفاوت خشک کردن با استفاده از نرم افزار مطلب MATLAB برآورد گردیدند (جدول ۶).

جدول شماره ۱- مدل های ریاضی استفاده شده برای توصیف خشک کردن به لیمو

Model no	Model Equation	Model name	References
1	$MR = \exp(-kt)$	Lewis	Ayensu (1997)
2	$MR = \exp(-kt^n)$	Page	Diamante and Munro (1993)
3	$MR = \exp(-(kt)^n)$	Modified Page	Ozdemir and Devres (1999)
4	$MR = a \exp(-kt)$	Henderson and Pabis	Henderson and Pabis (1961)
5	$MR = a \exp(-kt) + c$	Logarithmic	Yaldis, Ertekin, and Uzun (2001)
6	$MR = a \exp(-k_1 t) + c \exp(-k_2 t)$	Two-term model	Togrul and Pehlivan (2002)
7	$MR = a \exp(-kt) + ct$	Mideli	Lahsani, Kouhila, and Mahrouz (2004)

نتایج و بحث:

تغییرات زمان سینتیک خشک شدن

برای دمای ۴۰ درجه سلیوس مدل‌های Modified Page و Two-term model با ضریب همبستگی حداقل ۰/۹۹۹ تعیین گردیدند. و با توجه به کمتر بودن مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا و مجموع مربعات خطا برای مدل Modified Page، این مدل بهترین انتخاب گردید. و برای دمای ۵۰ درجه سلیوس مدل‌های Page و Modified Page و Henderson and Pabis با ضریب همبستگی حداقل ۰/۹۹۷ 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 شدند. همین‌طور برای دمای ۶۰ درجه سلیوس مدل Two-term با حداقل همبستگی ۰/۹۹۸ بعنوان بهترین مدل ثبت شدند.

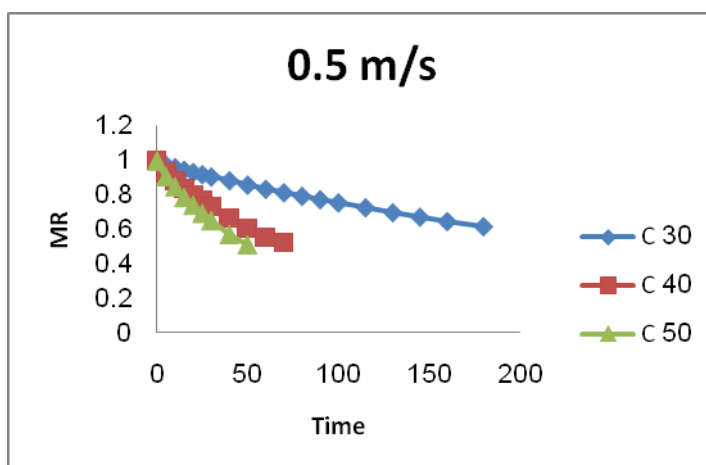
برای سرعت ۰/۵ m/s مدل‌های Logarithmic و Two-term با ضریب همبستگی حداقل ۰/۹۹۹ بهترین انطباق را با منحنی خشک شدن داشت که با توجه به کمتر بودن مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا و مجموع مربعات خطا، مدل Two-term انتخاب شد. برای سرعت ۱ m/s مدل‌های Page و Modified Page با حداقل ضریب همبستگی ۰/۹۹۷ بهترین انتخاب شدند. برای سرعت ۱/۵ m/s با توجه به اینکه تنها مدل Two-term ضریب همبستگی آن بیشتر از ۰/۹۹۸ بود، بهترین 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 پیش بینی شده توسط هر مدل، Modified Page به عنوان مدل مناسب انتخاب گردید که در جدول ۷ ضرائب مربوطه به بهترین مدل (Modified Page) برای تیمارهای مختلف آورده شده است.

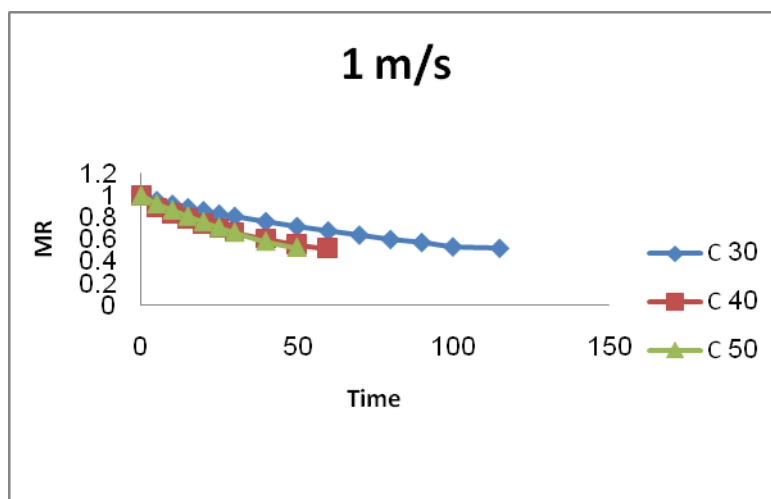
منحنی‌های رطوبتی حاصل از تیمارهای اعمال شده در شکل‌های ۱ الی ۳ ارائه شده است. آنچه در این نمودارها به وضوح قابل مشاهده می‌باشد، این است که در هر نمودار، افزایش درجه حرارت هوای خشک منجر به افزایش شیب یا کاهش طول منحنی و در نتیجه کاهش زمان لازم برای از دست دادن رطوبت می‌شود. البته این کاهش از دمای ۴۰°C درجه به ۵۰°C خیلی مشهود نمی‌باشد. نکته دیگر اینکه افزایش سرعت در یک دمای ثابت منجر به کاهش زمان خشک شدن می‌شود البته این کاهش زمان، بین دو شکل ۲ و ۳ (تغییر سرعت هوا از ۱ به ۱/۵) قابل اغماض است. با توجه به آنچه در شکل‌ها یافت می‌شود می‌توان گفت که با افزایش دما اثر سرعت کمتر می‌شود. برای مثال تغییرات زمان خشک شدن برای سرعت‌های مختلف در دمای ۳۰°C بیشتر از دمای ۴۰ یا ۵۰ درجه سلیوس می‌باشد. جداول ۲ تا ۵ نیز نتایج بالا را تأیید می‌کنند. جدول ۲ بیان می‌کند که فاکتور دما، سرعت و اثر متقابل آن‌ها در سطح ۹۹٪ معنی‌دار است. نتایج جدول شماره ۳ نشان می‌دهد که بالاترین زمان خشک شدن مربوط به دمای ۳۰°C و کمترین زمان مربوط به دمای ۵۰°C می‌باشد و همچنین بین دمای ۴۰ و ۵۰ درجه سلیوس اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. با مشاهده جدول ۴ مشخص گردید بیشترین زمان خشک شدن مربوط به سرعت ۰/۵ m/s می‌باشد و کمترین زمان مربوط به ۱ m/s بوده است. و بین سه سطح سرعت اختلاف معنی‌داری وجود دارد. جدول ۵ نشان داد که اثرات

متقابل بین تیمارها معنی‌دار بوده است و گروه‌بندی تیمارها با آزمون دانکن نشان داد که بیشترین مدت زمان مربوط به دمای ۳۰°C درجه و سرعت ۰/۵ m/s می‌باشد و همچنین دو تیمار با دمای ۳۰°C و سرعت ۱ و ۱/۵ متر بر ثانیه اختلاف معنی‌داری ندارند. کمترین مدت زمان مربوط به دمای ۵۰°C می‌باشد. و همچنین بین سرعت‌های مختلف در دمای ۵۰°C اختلاف معنی‌داری مشاهده نمی‌شود.

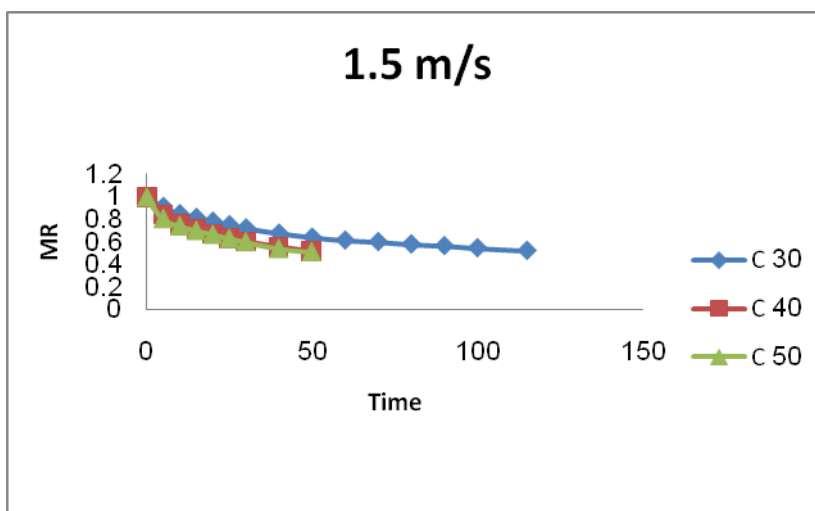
نتایج مربوط به منحنی‌های رطوبتی نشان داد که با گذشت زمان و نزدیک شدن فرآیند خشک شدن به انتها، از شیب هر منحنی و در نتیجه سرعت افت رطوبت کاسته می‌شود که علت این مسأله کاهش فشار بخار در محصول و نزدیک شدن آن به باشد(سلیمانی و فشار محیط می-شاهدی، ۱۳۸۵).



شکل ۱- تغییرات نسبت رطوبت در دماهای مختلف و سرعت ۰/۵ متر بر ثانیه بر ثانیه



شکل ۲- تغییرات نسبت رطوبت در دماهای مختلف و سرعت ۱ متر ثانیه



شکل ۳- تغییرات نسبت رطوبت در دماهای مختلف و سرعت ۱/۵ متر بر ثانیه

جدول ۲- تجزیه واریانس (ANOVA) اثر درجه حرارت و سرعت هوا بر زمان خشک شدن

F	میانگین مربعات MS	مجموع مربعات SS	درجه آزادی	منابع تغییر
۱۰۴/۲۴**	۴۵۲۶۷/۵۹۲	۹۰۵۳۵/۱۸۵	۲	درجه حرارت خشک کردن (A)
۱۱/۸۳*	۵۱۳۷/۰۳۷	۱۰۲۷۴/۰۷۴	۲	سرعت جریان هوا (B)
۱۴/۱۸**	۶۱۵۹/۲۵۹	۲۴۶۳۷/۰۳۷	۴	اثرات متقابل (A×B)
	۴۳۴/۲۵۹	۷۸۱۶/۶۶۶	۱۸	خطا
		۱۳۳۲۶۲/۹۶۳	۲۶	کل

(*)؛ اختلاف در سطح ۹۵ درصد معنی دار است. (**): اختلاف در سطح ۹۹ درصد معنی دار است.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات درجه حرارت خشک کردن بر روی مدت زمان خشک شدن

مدت زمان خشک شدن (min)	درجه حرارت خشک شدن (°C)
۱۸۳/۸۸۹ ^A	۳۰
۶۳/۳۳۳ ^A	۴۰
۵۸/۸۸۹ ^B	۵۰

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

مدت زمان خشک شدن (min)	سرعت جریان هوا (m/s)
۱۲۶/۱۱۱ ^A	۰/۵
۷۸/۳۳۳ ^C	۱
۱۰۱/۶۶۷ ^B	۱/۵

در ارتباط با عامل درجه حرارت ، همان گونه که منحنی‌ها و نتایج نشان دادند افزایش درجه حرارت هوا در خشک کن باعث کاهش رطوبت نسبی آن و بالعکس باعث افزایش فشار بخار میان محصول و محیط اطراف می شود در نتیجه سرعت انتقال جرم (رطوبت) از دانه به محیط افزایش پیدا می کند و شیب خطوط نمودار افزایش پیدا می کند.

سرعت جریان هوا از عواملی است که به کمک آن می توان ضریب انتقال جرم و ضریب انتقال حرارت را توسط آن تغییر داد. بدین ترتیب که با افزایش این فاکتور، ضرایب فوق افزایش می یابد و در نتیجه انتقال جرم از محصول به هوای اطراف آن در واحد زمان شدت می یابد که خود منجر به کاهش زمان خشک شدن می شود.

در یک سرعت ثابت، اختلاف زیادی بین دماهای ۴۰ و ۵۰ درجه سلسیوس وجود ندارد زیرا خروج آب از برگ ها به مرحله اشباع شدن می رسد و از یک حدی بالاتر نخواهد رفت. لذا هرچه دما بالاتر می رود از شدت تغییرات آن کاسته می شود. نتایج جدول ۴ نیز تاکید بر این دارد که اثر متقابل سرعت و دمای ۴۰ یا ۵۰ درجه معنی دار نیست. به عبارتی با افزایش دما اثر سرعت هوا ناچیز می شود.

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

دما (°C)		سرعت (m/s)	
۵۰	۴۰	۳۰	
۵۰ ^{AB}	۶۳/۳۳ ^{AB}	۲۶۵ ^A	۰/۵
۶۰ ^{AB}	۶۰ ^{AB}	۱۱۵ ^{AB}	۱
۶۶/۶۷ ^{AB}	۶۶/۶۷ ^{AB}	۱۷۱ ^{AB}	۱/۵

جدول ۶- ضرائب بدست آمده از مدل ریاضی Modified Page برای سرعت های هوای ۰/۵ m/s، ۱ و ۱/۵ و دماهای ۴۰(°C)، ۵۰ و ۶۰.

دما (°C)	سرعت هوا		a	k
	(m/s)	(m/s)		
۴۰	۰/۵	۰/۷۵۴۴	۰/۷۵۴۴	۰/۰۰۲۲۵
	۱	۰/۸۱۸۷	۰/۸۱۸۷	۰/۰۰۵۶
	۱/۵	۰/۷۰۰۶	۰/۷۰۰۶	۰/۰۰۰۴
۵۰	۰/۵	۰/۶۵۹۹	۰/۶۵۹۹	۰/۰۰۸۱۸
	۱	۰/۶۲۹۴	۰/۶۲۹۴	۰/۰۰۹۱۲
	۱/۵	۰/۵۶۶۷	۰/۵۶۶۷	۰/۰۰۰۹۸
۶۰	۰/۵	۰/۹۰۵۴	۰/۹۰۵۴	۰/۰۱۳۳۴
	۱	۰/۸۸۰۷	۰/۸۸۰۷	۰/۰۱۱۶۱
	۱/۵	۰/۶۳۳۶	۰/۶۳۳۶	۰/۰۰۷۴۱

دمای ۳۰°C اثر کمی روی زمان خشک شدن دارد لذا وقتیکه با افزایش سرعت هوا همراه می‌شود، تاثیرگذاری سرعت، بیشتر دیده می‌شود و اما در دماهای بالاتر از آنجا که تاثیرگذاری دما زیاد است، اثر افزایش سرعت هوا تفاوت معناداری نشان نمی‌دهد. بهترین تیمار از جهت کمترین زمان خشک شدن و مصرف انرژی پایین مربوط به دمای ۴۰°C و سرعت ۱ (m/s) انتخاب می‌شود.

نتیجه گیری

۱. نتایج مقایسه داده های افت رطوبت اندازه گیری شده با مقادیر پیش بینی شده توسط مدل های مذکور نشان داد که مدل Modified Page با توجه به ضریب همبستگی ۰/۹۹۹، مجموع مربعات خطا حداکثر ۰/۰۰۸ و میزان ریشه میانگین مربعات خطا حدود ۰/۰۰۲، می‌تواند برای توصیف و پیش بینی سینتیک خشک کردن برگ گیاه دارویی به لیمو با دقت حدود ۰/۰۰۱ بکار رود.
۲. زمان های خشک شدن برای سرعت های مختلف در دمای ۵۰ °C تغییری نکرد و حدود ۶۰ دقیقه ثابت ماند.
۳. زمان خشک شدن برای دماهای ۴۰ °C و ۳۰ در سرعت ۰/۵ m/s اختلاف معنی داری داشت و از ۲۷۵ دقیقه به ۱۱۵ دقیقه کاهش یافت.
۴. بهترین تیمار از جهت کمترین زمان خشک شدن و مصرف انرژی پایین مربوط به دمای ۴۰°C و سرعت ۱ (m/s) می‌باشد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از همکاری آزمایشگاه های گروه علوم باغبانی و ماشین های کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

- امید بیگی، ر. (۱۳۸۴). تولید و فرآوری گیاهان دارویی. انتشارات آستان قدس رضوی. جلد اول.
- امین، غ. (۱۳۷۰). گیاهان دارویی سنتی ایران. انتشارات معاونت پژوهشی وزارت بهداشت و درمان. تهران، جلد اول، صفحات ۶۵-۶۴.
- چایجان، ر.ا. (۱۳۷۹). طراحی و ساخت خشک‌کن بستر سیال آزمایشگاهی برای محصولات دانه‌ای. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.
- زرگری، ع. (۱۳۷۱). گیاهان دارویی. چاپ پنجم. موسسه چاپ و انتشارات دانشگاه تهران، جلد سوم، صفحات ۱۳-۷۱۱.
- سلیمانی، م.، شاهدی، م. (۱۳۸۵). علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، شماره اول
- عزیزی، م.، رحمتی، م.، عبادی، ت. و حسن‌زاده خیاط، م. (۱۳۸۸). تأثیر روش‌های مختلف خشک کردن بر سرعت کاهش وزن، میزان اسانس و درصد کامازولن گیاه دارویی بابونه (*Matricaria recutita* L.). فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، جلد ۲۵، شماره ۲، صفحه‌ی ۱۹۲-۱۸۲.
- مظفریان، و. (۱۳۷۵). فرهنگ اسامی گیاهان ایران. فرهنگ معاصر، صفحه ۳۲۵.
- موسویان، م.ت.ح.، بصیری، ش. (۱۳۷۸). بررسی تاثیرات درجه حرارت و سرعت جریان هوا در خشک کردن صنعتی آویشن گونه برگ باریک روی مقادیر کمی اسانس استحصالی. هجدهمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی، خراسان رضوی، مشهد مقدس، مهرماه ۱۳۸۷.
- Abed, L., and Benmerabet, K. (1981). Interet de l'apport en potassium et sodium des infusions de plantes medicinales. *Plant Med. Phtother*, 15: 92-8.
- Akpinar, E. K., Bicer, Y., & Yildiz, C. (2003). Thin layer drying of red pepper. *Journal of Food Engineering*, 59: 99-104.
- Arizaespinar, L. (1994). Volatile constituents of *Aloysia triphylla* (L'Herit) Britton. *J.*
- Ayensu, A. (1997). Dehydration of food crops using a solar dryer with convective heat flow. *SolarEnergy* 59: 121-126.
- Bellakhdar, A., I Idrissi., Canigueral, S., Iglesias, J., and Vila, R. (1993). Analysis of the essential oil of the odorant vervein (*lippie citriodra* H.B. and K). *Plant Med. Phytother.* 26: 269-273.
- Brooker, D.B., F.W. Bakker-Arkema and C.W. Haall. (1992). Drying and storage of grains and oilseeds. The AVI Pub. Company, USA

- Dandamrongrak, R., Young, G., and Mason, R. (2002). Evaluation of various pre-treatment for the dehydration of banana and selection of suitable drying models. *J Food Eng*; 55: 139–46.
- Diamante, L.M., & Munro, P.A. (1993). Mathematical modeling of the thin layer solar drying of sweet potato slices. *Solar Energy*, 51(4): 271-276.
- Fatouh, M., Metwally, M.N., Helali, A.B., and Shedid, M.H. (2006). Herbs drying using heat pump dryer. *Energy Conversion and Management*, 47: 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: 209-228.
- Henderson, S.M., and Pabis, S. (1961). Grain drying theory I: Temperature effect on drying coefficient. *Journal of Agricultural Research Engineering*, 6, 169-174.
- 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: 133- 138.
- Lasasni, S., M. Kouhila and Mahrouz, M. (2004). Thin layer convection solar drying and mathematical modeling of prickly pear peel (*Opuntia ficus indica*). *Journal of Food Engineering*. 29, 211-224.
- Montes, M., Valenzuela, L., Wilkomirsky, T., and Arrive, M. (1973). Composition of the essential oil from *Aloysia triphylla* (Cedron). *Planta Med.* 23: 119-124
- Nkamura, T., Okuyama, E., Tsukada, A., Yamazaki, M., Satake, M., Nishibe, S., Deyama, T., Moriya, A., Maruno, M., and Nishimura, H. (1997). Acteside as the analgesic principle of cedron (*Lippia triphylla*), a Peruvian medicinal plant. *Chem. Pharm. Bull*, 45: 499-504.
- Oysal, Y., and Oztekin, S. (2001). Technical and economic performance of a tray dryer for medicinal and aromatic plants. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 79(1): 73-79.
- Ozdemir, M., and Devres, Y.O. (1999). The thin layer drying characteristics of hazelnuts during roasting. *Journal of Food Engineering*, 42: 225-233.
- Panchariya, P.C., Popovic, D., & Sharma, A.L. (2002). Thin-layer modeling of black tea drying process. *Journal of Food Engineering*, 52: 349-357.
- Peuty, M.A., Themelin, J.F., Cruz, G., Arnand, J.P., and Fohr. (1994). Improvement of paddy quality by optimization of drying conditions. pp.929-35. *In* : V. Rudolph and P. B. Keey (Eds.), Montpellier, France
- Rao, L.J., sing, M., Raghavan, B., and Abraham, K.O. (1998). Rosmary (*rosmarinus officinalis*): impact of drying on its flovr quality. *Journal of Food quality*. 21:107-115
- Salud Perez, G., Zavala, MA., Vargas, SR., Perez, GC., and Perez, GRM. (1998). Antidiarrhoeal activity of C-9 aldehyde isolated from *Aloysia triphylla*. *Phytother.* 12: S45-S46

- Skaltsa, H., and Shamma, G. (1988). Flavonoids from *Lippia citriodora*. *Plant Med*, 54: 465.
- Soysal, Y. and Oztekin, S. (2001). Technical and economic performance of a tray dryer for medicinal and aromatic plants. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 79(1): 73-79
- Torrent Martia, 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 Europea*. Cambridge University press, Cambridge. Vol. 13, p.123.
- Yaldiz, O., Ertekin, C., & Uzun, H.I. (2001). Mathematical modeling of thin layer solar drying of sultana grapes. *Energy*, 26: 457- 465.

Assessment drying process and mathematical modeling of medical plant lemon verbena (*Lippia citriodora*) using hot air

Abstract:

Medical plant lemon verbena (*Lippia citriodora*) is from verbenaceae family. Active ingredients of this plant have a large effect such as sedative, anticonvulsant, diuretic and lifter heartthrob and dizziness. To increase the durability of this product it is necessary to reduce its moisture. In this research evaluated essential oil quantity and drying methods of lemon verbena leaf with hot air. In this process heat levels were 30, 40 and 50 °C and levels of air speed were 0.5, 1 and 1.5 m/s to achieve the level of leaf humidity to 15 percent. The results showed that effect of temperature and air speed and their interaction on drying time was significant but drying time was not significant between the 40 and 50 °C. With increase of temperature, effect of air speed was negligible. The best treatment for minimum drying time and using energy down was 40 °C and speed 1 (m/s). Mathematical models of thin layer drying was compared and evaluated terms such as R², SSE and RMSE. The best of lemon drying model was Modified Page. Finally, the relationship among temperature, speed and essential oil quantity extraction was made model by cure table.

Key words: *Lippia citriodora*, hot air drying, model building.