



تأثیر روش‌های مختلف خشک کردن بر سینتیک خشک شدن، مدلسازی ریاضی، کمیت و کیفیت اسانس آویشن

حامد کریمی^۱، علی نجات لرستانی^{۳*}، رضا تحویلان^۴

- ۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
 ۲- کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشکده داروسازی، دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران
 ۳- دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
 ۴- دانشیار، گروه فارماسیوتیکس، دانشکده داروسازی، دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران.

چکیده	اطلاعات مقاله
<p>فرایند خشک کردن نقش مهمی در کمیت و کیفیت اسانس به دست آمده از گیاه دارد. گیاهان دارویی اسانس دار اگر بلافاصله خشک نشوند و یا اسانس آن‌ها استخراج نشود مواد موثره و ترکیبات فرارشان را از دست می‌دهند. هدف از این پژوهش طراحی و ساخت خشک کن هیبریدی برای گیاهان دارویی و مقایسه آن با دو روش مختلف خشک کردن آویشن (خشک کردن سنتی و خشک کردن در آون) می‌باشد. در این پژوهش اثر روش‌های مختلف خشک کردن (خشک کردن هیبریدی، آون و روش سنتی) بر میزان اسانس و نوع و درصد اجزای تشکیل دهنده آویشن، مورد بررسی قرار گرفت. سپس اسانس از تمامی اندام‌های آویشن در سه تکرار به وسیله روش تقطیر با آب استخراج و اجزای شیمیایی به وسیله دستگاه‌های GC و GC/MS مورد تجزیه و شناسایی قرار گرفت. نتایج مدلسازی ریاضی نشان داد که مدل میدلی می‌تواند با دقت بالایی منحنی‌های خشک کردن آویشن را برازش نماید. بالاترین مقدار اسانس استخراج شده به روش تقطیر با آب برابر $2/4\%$ (v/w) توسط خشک کن هیبریدی بدست آمد. خشک کن هیبریدی ۲۴ نوع ترکیبات فرار آویشن را حفظ می‌کند در حالی که این مقادیر به ترتیب ۱۰ و ۶ نوع برای روش‌های آون و سایه بود. اجزای اصلی اسانس در روش‌های مختلف خشک کردن شامل؛ آلفا و بتا پینن، کاریوفیلن، اکسید کاریوفیلن، کاروتول، تیمول، متیل اتر تیمول، ترپینن-۴-آل، گاما-ترپینن، پ-سیمن بود. به طور کلی روش خشک کردن هیبریدی به عنوان بهترین روش برای فرآوری پس از برداشت آویشن پیشنهاد می‌شود.</p>	<p>تاریخ‌های مقاله : تاریخ دریافت: ۹۸/۱۱/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۰/۱۶</p> <p>کلمات کلیدی: اسانس، آویشن، روش‌های خشک کردن، خشک‌کن هیبریدی، Gc/Ms.</p> <p>DOI: 10.52547/fsct.18.04.11</p> <p>* مسئول مکاتبات: lorestani@razi.ac.ir</p>

۱- مقدمه

آویشن باغی با نام علمی *Thymus vulgaris* گیاهی چندساله و بومی نواحی شرقی مدیترانه است. آویشن، بوته‌های مترکم و پرشاخه، ریشه مستقیم و کم و بیش چوبی با انشعاب‌های فراوان، ساقه مستقیم و چهار گوش دارد که ارتفاع بوته معمولاً بین ۲۰ تا ۵۰ سانتی متر است. پایین ساقه چوبی است در حالی که قسمتهای فوقانی آن سبز رنگ بوده و انشعاب‌های فراوانی دارد برگها کوچک، متقابل و کم و بیش نيزه‌ای شکل و بدون دمبرگ هستند. از کاربردهای دارویی اسانس این گیاه میتوان به داروهای تقویت معده، نیرودهنده، ضد تشنج، ضد اسپاسم، ضد روماتیسم، ضد سیاتیک، رفع بیماری‌های مختلف دستگاه تنفسی، قاعده آور، رفع ضعف عمل دستگاه هضم، نفخ، ضعف عمومی، سیاه سرفه، سرفه های مزمن و دردهای قاعدگی اشاره نمود [۱]. گونه‌های آویشن از گیاهان دارویی بسیار مهم هستند که به طور فراوان استفاده می‌شوند. خواص اسانس انواع آویشن مربوط به دو ترکیب تیمول و کارواکرول است [۲].

میزان رطوبت بالا در میوه‌ها، نقش مهمی در ذخیره‌سازی آن‌ها ایفا می‌کند. کاهش رطوبت یا خشک‌کردن از طریق انتقال هم‌زمان جرم و حرارت به طور گسترده برای افزایش ماندگاری، تسهیل حمل و نقل، حفظ کیفیت و کاهش افت پس از برداشت محصولات کشاورزی به منظور تولید میوه‌ها و سبزی‌های خشک مورد استفاده قرار می‌گیرد. خشک کردن یکی از قدیمی‌ترین روش‌های نگاه‌داری محصولات کشاورزی است. این فرایند اهمیت زیادی در فراوری گیاهان دارویی دارد، چرا که گیاهان دارویی اسانس‌دار اگر بلافاصله خشک نشوند و یا اسانس آن‌ها استخراج نشود مواد موثره و ترکیبات فرارشان را از دست می‌دهند، هم‌چنین تحقیقات نشان داده است که ترکیبات معطر گیاهان تحت تاثیر روش‌های فراوری قرار می‌گیرند. اگر گیاه بلافاصله پس از برداشت خشک شود، به حفظ رنگ و مواد معطر گیاه کمک می‌کند [۳].

هدف استفاده از شبیه‌سازی یا مدل‌سازی ریاضی در فرآیند خشک کردن محصولات کشاورزی در واقع تبدیل کیفیت‌های فیزیکی و رابطه متقابل این کیفیت‌ها به کمیت‌های عددی و روابط ریاضی است. بدین ترتیب یک مدل ریاضی شامل

متغیرها و مجموعه معادلات وابسته به آنهاست که می‌تواند تأثیر متقابل این متغیرها را همانطور که در دنیای واقعی اتفاق می‌افتد، نشان دهد. از این رو یک مدل ریاضی وسیله بسیار مناسبی در تحلیل گری است که با توسل به آن می‌توان رفتار یک سیستم را پیش از اعمال واقعی تغییرات پیش بینی نمود [۴].

تحقیقات متعددی درباره خشک کردن محصولات کشاورزی از جمله سبزی‌ها انجام شده است. تاثیر روش‌های مختلف خشک کردن بر کمیت و کیفیت اسانس *Mentha longifolia* در آفریقای جنوبی در سال ۲۰۰۵ مطالعه شد. ترکیب اصلی اسانس در هر دو روش خشک کردن در هوا و آفتاب متون بود که به ترتیب برابر ۳۸/۳ و ۴۷/۹٪ بود، در صورتی که در روش آون لیمونن ۴۵/۸٪ ترکیب اصلی اسانس بود، حال آنکه پولگون ترکیب اصلی برگ تازه بود. متون و پولگون در اسانس نمونه‌های خشک شده با آون شناسایی نشدند [۵].

کرمی و همکاران در سال ۲۰۱۷ اثر سه دما (۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد) و دو سرعت هوا (۱ و ۲ متر بر ثانیه) را بر خشک شدن نعناع مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که افزایش دمای خشک شدن از ۴۰ تا ۶۰ درجه سانتیگراد موجب از بین رفتن ترکیباتی نظیر آلفا ترپینن، پیریتون و بتامیرکس می‌شود. همچنین افزایش سرعت خشک کردن هوا از ۱ تا ۲ متر بر ثانیه، باعث افزایش درصد ترکیبات فرار مانند آلفاپینن، ۱،۸-سینئول، بتاپینن و متول می‌شود [۶].

بررسی روشهای مختلف خشک کردن (سایه، آفتاب و آون) در گیاه *Mentha pulegium* نشان داد که بیشترین و کمترین درصد اسانس به ترتیب در روشهای سایه و آون بدست آمد. روش خشک کردن بر اجزاء اسانس نیز تأثیر گذاشت و اظهار شد که تصمیم‌گیری در مورد انتخاب روش مناسب خشک کردن بستگی به ترکیب‌های مورد نظر اسانس خواهد داشت [۷].

بررسی تأثیر روشهای مختلف خشک کردن (سایه و آون ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درجه سانتیگراد) در گیاه آویشن دناپی (*Thymus daenensis Celak*) نشان داد که بالاترین درصد اسانس در آون در دمای ۳۰°C بدست آمد. همچنین تیمول به عنوان جزء غالب اسانس این گیاه در روش سایه از کمترین مقدار برخوردار بود [۸].

حذف رطوبت سطحی و پژمردگی، برگ‌های تازه آویشن در کیسه‌های پلاستیکی از جنس پلی اتیلن بسته بندی شدند. سپس تا زمان شروع آزمایشات در یخچال در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد [۹].

۲-۲- طراحی و ساخت خشک‌کن هیبریدی

ساختمان خشک‌کن مورد استفاده در این تحقیق شامل یک جمع‌کننده خورشیدی به همراه یک المنت برقی ۱۰۰۰ وات برای گرم کردن هوای ورودی به محفظه خشک‌کن، ۵ حسگر دمای (LM75) با دامنه اندازه‌گیری دما از ۵۵- تا ۱۲۵ درجه سانتی‌گراد و دقت اندازه‌گیری ± 2 درجه سانتی‌گراد هم‌چنین از ۲ حسگر رطوبت (HS1101) با دقت اندازه‌گیری ± 2 ٪ برای اندازه‌گیری دما و رطوبت نسبی جابه‌جایی هوا است. فن خشک‌کن دارای قابلیت تغییر میزان هوای ورودی به محفظه خشک‌کن است. برای اندازه‌گیری سرعت جریان جابه‌جایی هوا به محفظه خشک‌کن از یک سرعت‌سنج پره‌ای مدل AVM-07 ساخت کشور تایوان با دقت اندازه‌گیری ± 1 ٪ و حساسیت ۰/۱ متر بر ثانیه استفاده گردید. برای اجرای فرایند خشک کردن، میکرو کنترلر AVR مدل 8 ATMEGA ساخت کشور چین مورد استفاده قرار گرفت که توسط نرم‌افزار CODEVISION برنامه نویسی شده بود [۹].

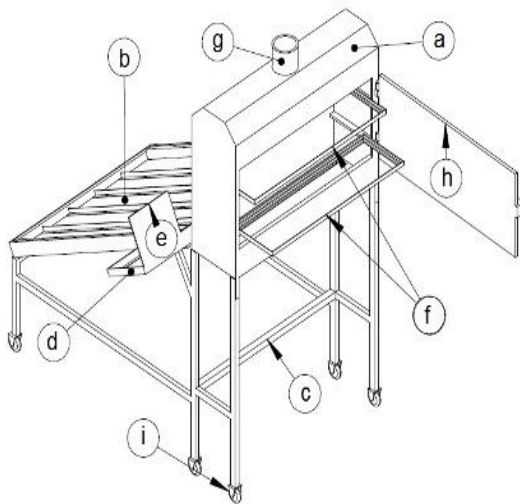


FIG 1 Schematic of constructed Hybrid Dryer:
a-Dryer Chamber b-Solar collector c-Framed-Photovoltaic cell e-Automated Control unit f-Trays
g-Chimney h-cabinet door i-Wheels

عملیات خشک کردن به لحاظ مصرف انرژی یکی از پرهزینه‌ترین فرایندهای پس از برداشت در کشاورزی است. با توجه به کاهش و رو به اتمام بودن سوخت‌های فسیلی، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند جایگزین مناسبی برای سوخت‌های فسیلی باشد. همچنین خشک کردن صنعتی، به دلیل مصرف زیاد انرژی منجر به افزایش قیمت تمام شده محصول می‌شود. خشک‌کن‌های هیبریدی می‌توانند انرژی را ذخیره، زمان و سطح مورد نیاز را کاهش، کیفیت محصول را افزایش، فرآیند را کارآمدتر و حفاظت‌های زیست محیطی را نیز افزایش دهند. همچنین در بسیاری از مناطق روستایی کشورهای در حال توسعه، خرید خشک‌کن‌های صنعتی برای کشاورزان مقرون به صرفه نبوده و کشاورزان خرده پا به ندرت از این خشک‌کن‌ها استفاده می‌کنند. با توجه به موقعیت جغرافیایی، کشور ایران به دلیل واقع شدن در منطقه نیمه گرمسیری و خشک، از تابش نور کافی برخوردار می‌باشد و می‌توان از این پتانسیل بهره گرفت. شاید یکی از رقابتی خشک‌کن خورشیدی را خشک‌کن‌های الکتریکی بنامیم. اما باید دانست که برای استفاده از خشک‌کن‌های الکتریکی (که از سوخت‌های فسیلی استفاده می‌کنند) باید هزینه‌های بسیار گزافی (هم برای خرید و هم برای استفاده) متحمل شد. لذا طراحی و ساخت خشک‌کن هیبریدی که بتواند با کاهش هزینه‌ها، کیفیت محصول را بالا برده و امنیت بهداشتی آن را تضمین نماید، ضروری به نظر می‌رسد [۹].

هدف از این پژوهش بررسی تأثیر روش‌های مختلف خشک‌کردن بر روی سینتیک خشک کردن و نیز کمیت اسانس استحصالی از آویشن می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- آماده سازی ماده اولیه

برای انجام این تحقیق برگ و سرشاخه‌های گیاه آویشن (*Thymus Vulgaris L.*) از فاصله ۴ تا ۵ سانتی‌متری از سطح زمین و از مزرعه آزمایشی گیاهان دارویی دانشکده علوم پزشکی کرمانشاه برداشت شد. آزمایش‌ها با سه روش مختلف خشک کردن (خشک‌کن هیبریدی نوع آوران، آون و روش سنتی) با سه تکرار انجام شد. جهت جلوگیری از

۲-۳- فرآیند خشک‌کردن

دو ساعت قبل از شروع فرآیند خشک‌کردن به منظور تعدیل دمایی با محیط، اندام‌های هوایی آویشن مورد استفاده، بیرون از یخچال قرار گرفتند. مقدار آویشن تازه مورد استفاده در هر روش خشک‌کردن ۱۰۰۰ گرم در نظر گرفته شد. روش‌های خشک‌کردن مورد مطالعه به صورت زیر می‌باشد:

خشک‌کردن در سایه: برگ‌های تازه آویشن به صورت لایه نازک با ضخامت بستر تقریباً برابر با یک سانتیمتر بر روی یک پارچه نخی پهن و در هوای آزاد قرار گرفت و تا رسیدن به وزن ثابت خشک‌شد. میانگین سرعت باد، دمای روز (دمای خشک‌کردن) و رطوبت نسبی محیط طی دوره خشک‌کردن طبق گزارشات ایستگاه هواشناسی منطقه به ترتیب ۲ متر بر ثانیه، ۳۲ درجه سانتی‌گراد و ۱۲٪ گزارش شد.

خشک‌کردن در آون: برگ‌های تازه آویشن به صورت لایه نازک با ضخامت بستر تقریباً برابر با یک سانتیمتر در داخل آون قرار گرفت و تا رسیدن به وزن ثابت خشک‌شد. دمای خشک‌کردن برابر ۳۵ درجه سانتی‌گراد انتخاب شد.

خشک‌کردن در خشک‌کن هیبریدی: برگ‌های تازه آویشن همراه با ساقه بر روی سینی‌های توری خشک‌کن به صورت لایه نازک قرار گرفت و توسط هوای گرم شده توسط جمع‌کننده (کلکتور) و هیتر برقی، تا رسیدن به وزن ثابت خشک‌شد. میانگین شدت تابش خورشید طی دوره خشک‌کردن طبق گزارشات ایستگاه حدوداً ۴۰۰۰ کیلو ژول بر مترمربع گزارش شد. دمای خشک‌کن برابر ۴۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت هوای ورودی به محفظه برابر ۱/۵ متر بر ثانیه انتخاب شد و رطوبت نسبی محیط برابر ۱۲٪ بود. در طی فرآیند خشک‌کردن، تغییرات وزن محصول به وسیله ترازوی دیجیتالی (AND، GF-3000) با دقت ± 0.01 گرم ثبت شد. سپس رطوبت نهایی نمونه‌ها با آون‌گذاری در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت [۱۰] و با استفاده از معادله (۱) محاسبه شد [۱۱]:

$$M_d = \frac{W_w - W_d}{W_d} \quad (1)$$

که M_d رطوبت گیاه آویشن بر پایه خشک (db)، W_w وزن آویشن در طی خشک‌شدن، W_d وزن آویشن خشک می‌باشد.

برای رسیدن شرایط سیستم به حالت پایدار کلیه آزمایش‌ها ۲۵ دقیقه بعد از روشن کردن سیستم شروع شد. سپس سینی حاوی نمونه‌ها در محفظه خشک‌کن قرار داده شد. نحوه خشک‌کردن به این صورت است که فن هوا را از روی جمع‌کننده که به وسیله هیتر الکتریکی و جمع‌کننده گرم شده است به داخل محفظه سینی‌ها انتقال می‌دهد. جریان هوا هنگام گذر از توده، رطوبت نمونه را جذب و باعث گرم شدن آن می‌شود. بدین ترتیب افزایش دما باعث تسریع در خروج آب از بافت نمونه و در نتیجه خشک‌کردن محصول می‌گردد.

۲-۴- مدلسازی ریاضی سینتیک خشک‌کردن

برای مدل‌سازی ریاضی سینتیک خشک‌کردن لایه نازک آویشن، از نسبت رطوبت در طی فرآیند خشک‌کردن استفاده شد. نسبت رطوبت با توجه به رطوبت اولیه، رطوبت تعادلی و رطوبت توده در هر لحظه در طول دوره خشک‌شدن با معادله زیر محاسبه می‌شود [۱۱]:

$$MR = \frac{(M - M_e)}{M_i - M_e} \quad (2)$$

که در آن: MR نسبت رطوبت (بدون بعد)، M محتوی رطوبت در هر زمان بر پایه وزن خشک (کیلوگرم آب/کیلوگرم ماده خشک)، M_i رطوبت اولیه توده محصول (کیلوگرم آب/کیلوگرم ماده خشک) و M_e رطوبت تعادلی (کیلوگرم آب/کیلوگرم ماده خشک) است.

سمت چپ معادله نسبت رطوبت را نشان می‌دهد که مشخص‌کننده فرآیند خشک‌کردن است. براساس تحقیقات انجام شده، در صورتی که محتوی رطوبت نسبی هوای خشک‌کن متغیر باشد، در نتیجه آن، محتوای رطوبت تعادلی نمونه‌ها نیز ثابت نخواهد بود و برای محاسبه نسبت رطوبت نیازی به اندازه‌گیری محتوای رطوبت تعادلی نخواهد بود. بنابراین، معادله نسبت رطوبت در طول دوره خشک‌کردن به صورت زیر ساده می‌گردد [۱۱]:

$$MR = \frac{M}{M_i} \quad (3)$$

نرخ تبخیر رطوبت عبارتست از مقدار رطوبت خارج شده از واحد سطح ماده‌ی خشک در واحد زمان که نشان‌دهنده‌ی سرعت تبخیر رطوبت از محصول می‌باشد. نرخ خشک‌شدن آویشن توسط روش معادله زیر تعیین می‌شود:

نسبت رطوبت به دست آمده در طی آزمایش با ۶ مدل از مدل‌های استاندارد خشک کردن لایه نازک محصولات کشاورزی مقایسه گردید که در جدول (۱) آمده است.

$$DR = \frac{M_t - M_{t+dt}}{dt} \quad (4)$$

که در آن: DR نرخ خشک شدن، M_t محتوی رطوبت نمونه در زمان t بر پایه وزن خشک، M_{t+dt} محتوی رطوبت نمونه در زمان $t+dt$ بر پایه وزن خشک می باشد.

Table 1 Thin layer drying models used in modeling of *T. vulgaris*

Model	Equations	Reference
Midili <i>et al</i>	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	[۱۲]
Verma <i>et al</i>	$MR = a \exp(-kt) + (1-a)\exp(-gt)$	[۱۳]
Wang and Sing	$MR = 1 + at + bt^2$	[۱۴]
Two-term	$MR = a \exp(-k_0t) + b \exp(-k_1t)$	[۱۵]
Logarithmic	$MR = a \exp(-kt) + c$	[۱۶]
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	[۱۷]

MR, moisture Ratio

t, time

a, b, g, k, n, empirical constants and coefficients in drying models

دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد تا زمان آزمایشات بعدی نگهداری شد [۲۰].

۲-۶- جداسازی و شناسایی ترکیب‌های اسانس

برای جداسازی و شناسایی ترکیب‌های اسانس، از دستگاه کروماتوگرافی گازی متصل به طیف سنجی جرمی در آزمایشگاه دانشکده داروسازی دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه استفاده شد. به منظور جداسازی و شناسایی ترکیبات اسانس از دستگاه‌های کروماتوگرافی گازی^۳ و کروماتوگرافی گازی-طیف سنجی جرمی^۴ استفاده شد. اسانس گیاه آویشن پس از آماده سازی به دستگاه GC/Mass تزریق شد تا طیف جرمی ترکیب‌ها مشخص شود. از دستگاه GC/Mass متصل به طیف سنجی جرمی نوع Agilent 6890 با ستون به طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۰/۳۲ میلی‌متر و ضخامت لایه ۰/۲۵ میکرومتر از نوع HP-5 MS استفاده شد. برنامه دمایی ستون به این نحو تنظیم گردید:

برنامه زمان‌بندی آون به این صورت بود که دمای ابتدایی آون ۵۰ درجه سلسیوس و توقف در این دما به مدت ۳ دقیقه، گرادیان حرارتی ۳ درجه سلسیوس در هر دقیقه، افزایش دما تا ۱۵۰ درجه سلسیوس و توقف در این دما به مدت ۱۰ دقیقه،

مدل‌های رگرسیون تغییرات نسبت رطوبت در طی خشک کردن براساس متغیر مستقل زمان با استفاده از نرم‌افزار Expert Professional استخراج گردید. برای تعیین بهترین مدل از سه معیار ضریب تعیین (R^2)، مربع کای^۱ (χ^2) و ریشه متوسط خطای داده‌ها (RMSE) استفاده شد. مدلی که بتواند تغییرات نسبت رطوبت را در طی خشک کردن بهتر پیش‌بینی کند با استفاده از مقدار R^2 بیش‌تر و مقدار χ^2 و RMSE کم‌تر، انتخاب می‌شود [۱۸].

۲-۵- استخراج اسانس به روش تقطیر با آب

برای اسانس‌گیری از دستگاه کلونجر و با روش تقطیر با آب استفاده شد. مقدار آویشن خشک شده مورد استفاده برای این تحقیق ۳۰ گرم بود. مقدار آب مورد استفاده در هر آزمایش ۵۰۰ میلی‌لیتر بود. مدت زمان اسانس‌گیری برای هر تیمار پس از به جوش آمدن ۲ ساعت بود [۱۹] و میزان اسانس به دست آمده از هر تیمار به صورت حجم اسانس بر حسب میلی‌لیتر (% V/W) محاسبه گردید. در لوله مندرج امکان اندازه‌گیری اسانس به روش حجمی وجود دارد [۶]. اسانس استخراج شده در شیشه‌های کوچک قهوه‌ای رنگ درب‌بندی و در فریزر با

³. Gas chromatography

⁴. Gas chromatography/ Mass spectroscopy

1. Chi-square

2. Root Mean Square Error

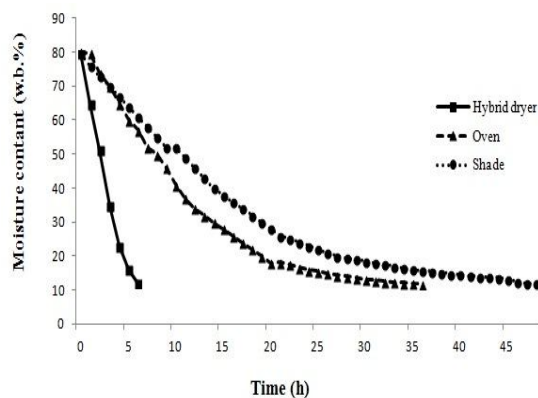


Fig 2 Moisture content curve vs. drying time for Thyme

باتوجه به شکل ۲ با کاهش میزان رطوبت از سرعت خشک شدن کاسته می‌شود. زیرا رطوبت از مرکز نمونه باید به سطح منتقل و سپس تبخیر گردد. درجه حرارت هوا و سرعت هوای خشک کردن مهمترین عامل در کنترل خصوصیات کیفی محصول در حین خشک کردن است.

با توجه به نمودار نرخ خشک شدن شکل ۳ مشاهده می‌شود که سرعت خشک شدن در ابتدای فرآیند بیشتر از مراحل انتهایی است که این امر به دلیل زیاد بودن مقدار رطوبت در ابتدای فرآیند خشک کردن و در نتیجه بالا بودن شدت تبخیر رطوبت از سطح محصول است.

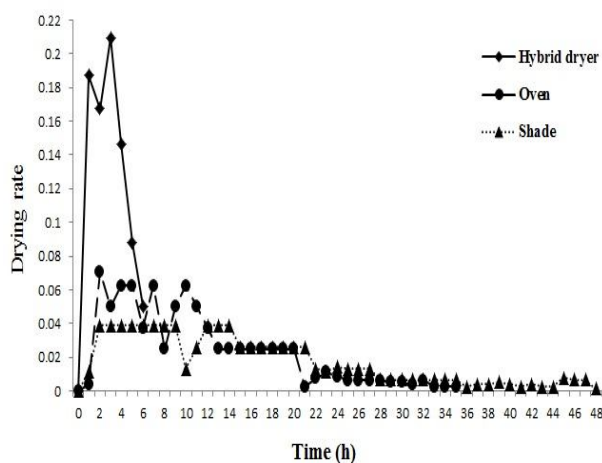


Fig 3 Drying rate vs. drying time for Thyme

همانطور که ملاحظه می‌شود در زمان‌های اولیه خشک شدن، به علت افزایش دمای محصول، افزایش سرعت هوا و وجود آب کافی در سطح محصول و به علت افزایش ضریب جابجایی و کاهش فشار بخار و دور کردن رطوبت از اطراف نمونه‌ها نرخ خشک شدن افزایشی است، تا اینکه آب در

افزایش دما تا ۲۵۰ درجه سلسیوس و یک دقیقه توقف در این دما. دمای اتاقک تزریق ۲۷۰ درجه سلسیوس بود و از گاز هلیوم به عنوان گاز حامل با سرعت جریان ۱/۰ میلی‌متر در دقیقه استفاده گردید. طیف نگار جرمی مورد استفاده مدل Agilent 5975C با ولتاژ ۷۰ الکترون ولت روش یونیزاسیون EI و دمای منبع یونیزاسیون ۲۲۰ درجه سلسیوس بود. دستگاه GC استفاده شده از نوع Younglin Acm 6000 با ستون به طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۰/۳۲ میلی‌متر و ضخامت لایه ۰/۲۵ میکرومتر از نوع HP-5 بود. تشخیص دهنده یا حسگر مورد استفاده MSD بود [۱۹،۶].

داده‌های حاصل از آزمایش تأثیر نوع خشک‌کن بر مقدار اسانس استحصالی، در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار تجزیه و تحلیل شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- سینتیک خشک شدن

به منظور بررسی محتوای رطوبت، منحنی تغییرات نسبت رطوبت در برابر مدت زمان خشک کردن در روش‌های مختلف خشک کردن در شکل (۲) نشان داده شده است. محتوای رطوبت اولیه آوبشن بر پایه تر ۷۹/۴۳٪ بود. محتویات رطوبت نهایی نمونه‌ها برای ۳ آزمایش مختلف به صورت زیر خلاصه می‌شود: در روش سنتی نمونه‌ها در زیر سایه ۴۸ ساعت زمان نیاز بود تا به رطوبت ۱۲ درصد برسند، در حالی که در روش آون در دمای ۳۵ درجه سانتیگراد ۳۲ ساعت طول می‌کشید تا به رطوبت ۱۲ درصد برسند، و در روش خشک کردن با خشک‌کن هیبریدی در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد ۷ ساعت طول کشید تا به رطوبت ۱۲ درصد برسند. به دلیل دمای پایین‌تر، زمان لازم برای نمونه‌هایی که در روش سنتی خشک شدند طولانی‌تر بود. دما اثر قابل ملاحظه‌ای بر سینتیک خشک کردن دارد که با افزایش دما، زمان خشک شدن کاهش می‌یابد. با توجه به شکل، می‌توان دریافت که میانگین مقدار خشک شدن در خشک‌کن هیبریدی حدود ۶ برابر سریعتر از روش آون و ۸ برابر سریع‌تر از روش سنتی است، که علت این امر افزایش گرادیان حرارتی در داخل جسم و در نتیجه افزایش سرعت تبخیر رطوبت محصول می‌باشد.

افزایش تبخیر از سطح محصول می گردد. نتایج این تحقیق با نتایج سایر محققین در مورد برگ‌های گشنیز و آویشن [۲۲،۲۱] و برگ‌های نعناع [۲۳] مطابقت دارد. آزمایش‌های خشک کردن آویشن در سه روش مختلف خشک کردن با سه تکرار انجام شد. با توجه به مقادیر R^2 ، χ^2 و RMSE مدل‌های رگرسیونی مختلف ارزیابی شد و معیار مدل بهتر، مقدار بیش‌تر R^2 و مقدار کمتر χ^2 و RMSE بود. بر اساس نتایج، مدل رگرسیونی میدیلی و همکاران تغییرات رطوبت در طی خشک کردن آویشن را بهتر برازش کرد. نتایج برازش مدل‌ها بر اساس متوسط شاخص‌های آماری برای سه روش خشک شدن در جدول (۲) آورده شده است.

Table 2 Statistical results obtained from the selected drying models

Model	RMSE			χ^2			R^2		
	Hybrid dryer	Oven	Shade	Hybrid dryer	Oven	Shade	Hybrid dryer	Oven	Shade
Midili <i>et al</i>	0.007	0.002	0.009	0.001	0.005	0.006	0.999	0.999	0.998
Verma <i>et al</i>	0.016	0.045	0.029	0.025	0.007	0.005	0.998	0.997	0.997
Wang and Sing	0.041	0.033	0.063	0.037	0.018	0.003	0.989	0.983	0.981
Two-term	0.009	0.005	0.008	0.005	0.007	0.027	0.989	0.995	0.996
Logarithmic	0.011	0.011	0.006	0.002	0.003	0.001	0.998	0.994	0.992
Page	0.007	0.002	0.012	0.001	0.004	0.014	0.995	0.992	0.998

مقایسه میانگین‌های مربوط به تاثیر روش‌های مختلف خشک کردن بر درصد اسانس (شکل ۴) نشان می دهد که بیشترین عملکرد اسانس بر پایه وزن خشک (۷/۴٪) در خشک کننده هیبریدی بدست آمد که اختلاف آن با سایر تیمارها معنی دار بود. همچنین در دو روش آون و سایه بیشترین مقدار اسانس برابر (۷/۶٪) به دست آمد.

این عملکرد اسانس استحصال آویشن در خشک کن هیبریدی در مقایسه با میانگین اسانس استحصال از گونه‌های آویشن ایرانی که برابر ۱/۸٪، اسپانیایی ۰/۷۳٪، مراکشی ۰/۸۵٪ و عربستانی ۱/۲۷٪ گزارش شده است، نسبتاً بالاتر بود [۲۴]. این نتایج با تحقیقات انجام شده بر روی برخی از گیاهان دارویی مانند آویشن و رزماری [۲۵]، رزماری [۲۶]، نعناع [۶]، پونه [۲۷] و ترخون [۲۸] مطابقت دارد.

۳-۳- اثر روش‌های خشک کردن بر ترکیبات

اسانس

حوالی سطح ماده کاهش می یابد و نفوذ آب از درون محصول به سطح شروع می شود که از این لحظه به بعد نفوذ رطوبت، کنترل کننده نرخ خشک کردن می باشد، لذا نرخ خشک شدن به طور طبیعی کاهش می یابد. همچنین چروکیدگی سطح محصول در مراحل انتهایی خشک کردن باعث ایجاد یک مقاومت در انتقال آب به سطح محصول شده که این امر باعث کاهش شدت خشک کردن در مراحل پایانی خشک کردن می شود. همچنین با توجه به شکل مشاهده می شود که نرخ خشک شدن در خشک کن هیبریدی بسیار بالاتر از دو روش دیگر است که دلیل آن استفاده از فن می باشد که هوا را با سرعت ۱/۵ متر بر ثانیه بر روی محصول می دمد و باعث

۳-۲- مقایسه اثر روش‌های مختلف خشک

کردن بر مقدار اسانس

شکل ۴، اثر روش‌های مختلف خشک کردن بر عملکرد اسانس بر اساس وزن خشک را نشان می دهد. بر اساس نتایج تجزیه واریانس روش‌های مختلف خشک کردن تاثیر معنی داری بر درصد اسانس داشته اند ($p < 0.01$).

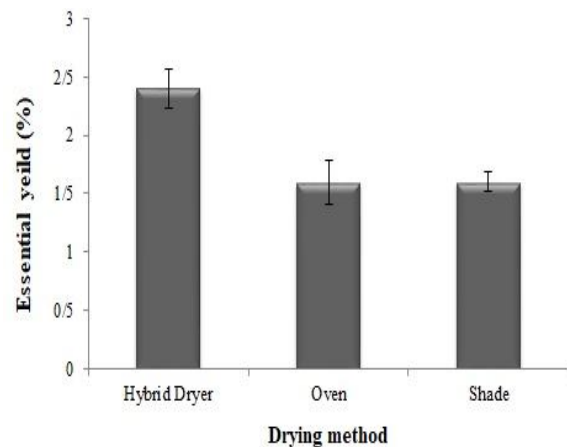
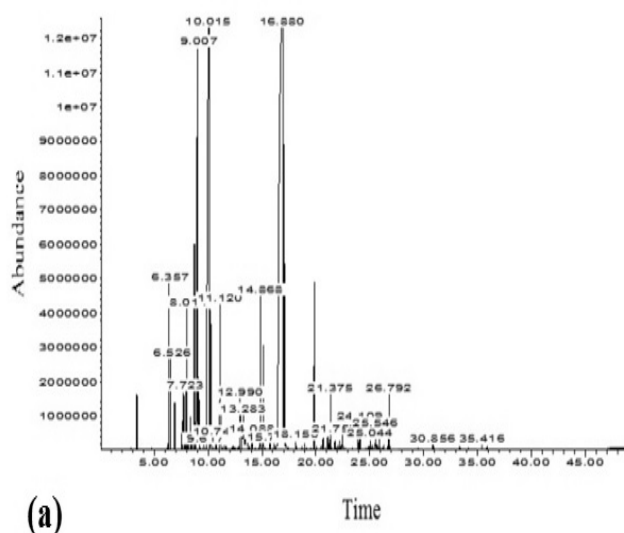
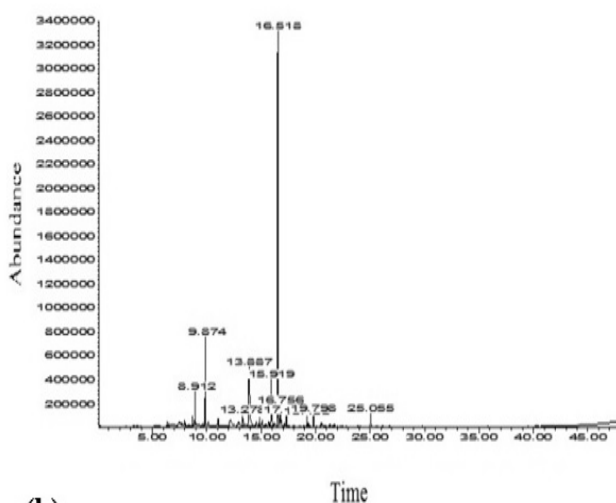


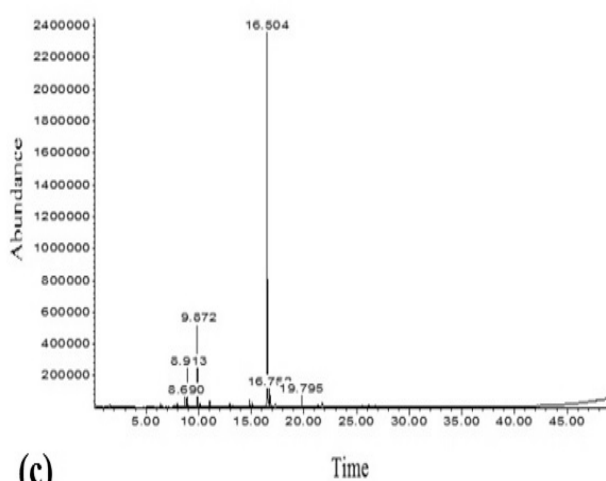
Fig 4 The essential oil content of Thyme in different drying methods



(a)



(b)



(c)

FIG 5 Chromatogram from essential oil obtained by different methods by a) a hybrid dryer b) Oven and c) shade method.

اسانس های استخراج شده با استفاده از GC و GC/MS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. طبق نتایج کروماتوگرافی حاصل از آزمون های GC و GC/MS (شکل ۶)، ۲۷ ترکیب شناسایی شد. ترکیب شیمیایی روغن ها در جدول ۳ و کروماتوگرام های به دست آمده در شکل ۵ دیده می شود. در خشک شدن توسط خشک کن هیبریدی، اکثر ترکیبات اسانس ها در گیاه دست نخورده باقی ماند و ۲۴ ترکیب اسانس آویشن حفظ شد، در حالی که در روش خشک کردن آون و روش سنتی به ترتیب ۹ و ۶ ترکیب حفظ شد.

همانطور که در جدول ۳ نشان داده شده است، اجزای غیر فنولی عمده شامل لینالول (۲/۵۸٪)، پی-سیمن (۱۷/۷۸٪)، آلفا-پینن (۱/۸۶٪) و آلفا-ترپینول (۰/۲۷٪) است. ترکیبات فنولیک اصلی تیمول برابر ۴۷/۷ درصد بود. اجزای اصلی اسانس در روش های مختلف خشک کردن شامل آلفا و بتا پینن، کاربوفیلن، اکسید کاربوفیلن، کاروتول، تیمول، متیل اتر تیمول، ترپینن-۴-آل، گاما-ترپینن، پ-سیمن بود. نتایج این مطالعه نشان داد که محتوای تیمول، گاما ترپینن، کارواکروول و پ-سیمن در روش خشک کردن هیبریدی بالاتر از روش های آون و سنتی بود و این مقدار برای تیمول به ترتیب ۱۹ و ۲۶ درصد بالاتر از دو روش سنتی و آون بود. مقدار گاما-ترپینن به دست آمده در روش خشک کردن با استفاده از خشک کن هیبریدی به ترتیب (۴/۵٪) و (۶/۵٪) بالاتر از دو روش سنتی و آون است، همچنین مقدار پی-سیمن به دست آمده نیز به ترتیب (۲/۲٪) و (۲/۶٪) بالاتر از دو روش سنتی و آون است [۲۹]. با توجه به جدول ۳ مشاهده می شود در طی ارزیابی ترکیب اسانس گیاه آویشن نسبت به خشک شدن، مقدار آلفا ترپینن موجود در روغن اسانس در روش سنتی و آون از بین رفته است، این تغییر در ترکیب ممکن است به دلیل از بین رفتن مواد فرار بیشتر (مونوترپن ها) به دلیل طولانی تر شدن زمان خشک شدن باشد. تنوع کم در محتوای اسانس در دو روش سنتی و آون می تواند به عنوان تابعی از دمای هوا و سرعت با شدت کم تبخیر رطوبت سطح بافت با توجه به افزایش انتقال این مولکول ها به هوای اطراف قابل توجیه باشد.

Table 3 compositions of essential oils of *Thymus vulgaris L.* obtained by three drying methods.

No	R.I	Hybrid dryer		oven		shade		
		corr. area	Area %	corr. area	Area %	corr. area	Area %	
1	Butanoic acid	904	123959859	1.54	-	-	-	
2	1,3,6-Octatriene	916	123959859	1.74	-	-	-	
3	α -Pinene	930	132184601	1.86	-	-	-	
4	β -Pinene	973	8951332	0.12	-	-	-	
5	1-Octen-3-ol	980	1029887214	14.59	-	-	-	
6	α -Terpinene	1014	19603153	0.27	-	-	-	
7	p-Cymene	1030	8777934	0.12	3136028	1.51	4460541	
8	Limonene	1031	-	-	17522120	8.47	-	
9	Linalool	1102	183527994	2.58	-	-	-	
10	γ -Terpinene	1062	132184601	1.86	18577022	8.99	12030406	
11	Borneol	1167	90823141	1.18	-	-	-	
12	Terpinen-4-ol	1182	106516038	1.28	38508308	18.63	1410574	
13	α -Terpineol	1185	88047823	1.24	3199515	1.54	1811448	
14	Thymol methyl ether	1235	210248679	2.96	-	-	-	
15	Citral	1240	8775030	0.12	-	-	-	
16	Carvone	1242	-	-	4934972	2.38	-	
17	Thymol	1290	3386204290	47.7	104947219	50.78	75726694	
18	Carvacrol	1313	1261253539	17.18	6957832	3.36	5579644	
19	β -Cubebene	1389	54444698	0.76	-	-	-	
20	Caryophyllene oxide	1573	52738912	0.74	-	-	-	
21	Cyclooctasiloxane	1568	-	-	2110749	2.51	-	
22	γ -Eudesmol	1629	24159867	0.34	-	-	-	
23	τ -Cadinol	1633	41260725	0.58	-	-	-	
24	Apiol	1679	-	-	3764574	1.82	-	
25	1-Hexadecanol	1882	5855553	0.08	-	-	-	
26	Carotol	2033	71686151	1.01	-	-	-	
27	Phytol	2111	9992738	0.14	-	-	-	
Total			7175043731	99.9	185047453	99.9	101019307	99.9

مقدار اسانس استحصالی در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت هوای ورودی ۱/۵ متر بر ثانیه به دست آمد. نتایج بدست آمده در این تحقیق با نتایج محققان دیگر مطابقت دارد [۳۲-۳۰، ۲۵].

۴- نتیجه‌گیری

خشک کردن آویشن با استفاده از ۳ روش مختلف نتایج جالب و متفاوتی به دست آورد. نرخ خشک شدن آویشن در خشک کن ۸/۶ برابر سریع‌تر از روش سنتی و آون بود. نتایج مدل‌سازی ریاضی منحنی‌های خشک کردن نشان داد که مدل میدیلی و همکاران توانستند منحنی خشک کردن را با بالاترین ضریب و کمترین خطا پیش‌بینی نماید. بر اساس نتایج، مقدار اسانس استخراج شده برای خشک کن هیبریدی حدود ۴۰-۵۰٪ بیشتر از روش سنتی و آون بود. نتایج نشان داد با افزایش مدت زمان خشک شدن، اسانس کمتری استخراج می‌شود. بر اساس نتایج GC خشک کن هیبریدی ۲۴ نوع ترکیبات فرار از

نتایج نشان داد که روش‌های مختلف خشک کردن تاثیر معنی‌داری بر درصد اجزای اصلی دارد. این تفاوت احتمالا ناشی از تفاوت در شرایط محیطی است. با این حال، تغییر غلظت اسانس در طول خشک شدن بستگی به نوع ترکیب، نوع گیاه، زمان خشک شدن، دمای هوا و سرعت هوا دارد. باید توجه داشت که اگر دمای پایین و شار هوایی بالا در طول مدت خشک شدن استفاده شود، برخی از پدیده‌های اکسیداسیون به طور چشمگیری رخ می‌دهد. این امر ناشی از فرار برخی از مواد موثره گیاه در طول خشک کردن با دمای بالا می‌باشد. همچنین در طول فرایند خشک کردن رطوبت به وسیله انتشار از سطح برگ‌ها خارج می‌شود و از آن جایی که غده‌های حاوی اسانس در سطح برگ‌ها یا نزدیکی آن قرار دارند، در فرایند خشک کردن مقداری از اسانس گیاه از دست می‌رود، این مکانیزم می‌تواند علت کاهش میزان اسانس در طی خشک کردن را توضیح دهد [۲۷ و ۲۸]. با توجه تحقیقات انجام شده برای پونه [۲۷] و ترخون [۲۸] مشاهده شد بیشترین

- [6] Karami H, Rasekh M, Darvishi Y, Khaledi R (2017) Effect of Drying Temperature and Air Velocity on the Essential Oil Content of *Mentha aquatica* L. *Journal of Essential Oil Bearing Plants* 20 (4):1131-1136
- [7] Hassanpouraghdam MB, Hassani A (2014) Oven and Conventional Drying Methods Affect Volatile Oil Content and Composition of *Mentha pulegium* L. . *Journal of Essential Oil Bearing Plants* 17 (2):346 – 352
- [8] Ne'mati S, Sefidkon F, Poorherave M (2011) The effects of drying methods on essential oil content and composition of *Thymus daenensis* Celak. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 27 (1):72-80
- [9] Karami H (2014) Designing, Construction and Evaluation of a Hybrid Dryer for Medicinal Plants. Razi university, Kermanshah, Iran
- [10] AOAC (1990) Official Method of Analysis, Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA .
- [11] Karami H, Kaveh M, Mirzaee-Ghaleh E, Taghinezhad E (2018) Using PSO and GWO techniques for prediction some drying properties of tarragon (*Artemisia dracuncululus* L.). *Journal of Food Process Engineering* 41 (8):e12921. doi:doi:10.1111/jfpe.12921
- [12] Midilli A, Kucuk H, Yapar Z (2002) A new model for single layer drying. *Dry Technol* 20:1503-1513
- [13] Verma LR, Bucklin RA, Endan JB, Wratten FT (1985) Effects of drying air parameters on rice drying models. *Trans ASAE* 28:296-301
- [14] Wang CY, Singh RP (1978) A single layer drying equation for rough rice. *ASAE, St Joseph, MI*:78-3001
- [15] Yaldız O, Ertekin C, Uzun HI (2001) Mathematical modeling of thin layer solar drying of Sultana grapes. *Energy* 26 (5):457-464
- [16] Karathanos VT (1999) Determination of water content of dried fruits by drying kinetics. *J Food Eng* 39:337-344
- [17] Guarte RC (1996) Modelling the drying behaviour of copra and development of a natural convection dryer for production of high quality copra in the Philippines. Hohenheim University, , Stuttgart, Germany
- [18] Aghbashlo M, Kianmehr M, Samimi-Akhijahani H (2009) Evaluation of thin-layer drying models for describing drying kinetike

آویشن را حفظ می کند در حالی که این مقادیر به ترتیب ۱۰ و ۶ نوع برای آون و روش سستی است. در نهایت می توان نتیجه گرفت که خشک شدن برگ آویشن در خشک کن هیبریدی بسیار مناسب است تا میزان تولید اسانس و درصد ترکیبات فرار آن مانند تیمول افزایش یابد. بنابراین، می توان خشک کن هیبریدی را به عنوان یک روش مناسب برای خشک کردن آویشن انتخاب کرد. این روش مانع از کاهش ترکیبات فرار می شود. انتظار می رود که این مطالعه در جهت معرفی خشک کن هیبریدی برای بهبود عملکرد سیستم خشک کردن، مفید باشد.

۵- سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه رازی، کرمانشاه و طرح پژوهشی مصوب دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه به شماره ۹۲۳۱۳ مورخ ۱۳۹۲/۹/۶ است. بدین وسیله از مدیران محترم، معاونت پژوهشی دانشکده و معاونت پژوهشی دانشگاه رازی و علوم پزشکی کرمانشاه، به خاطر تأمین اعتبار این طرح تشکر می شود.

۶- منابع

- [1] Zargari A (1984) *Medicinal Plants*, vol 2. Tehran university ,
- [2] Farag RS, Badei AZMA, Elbaroty GSA (1989) Influence of thyme and clove essential oils on cotton seed oil oxidation. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 66 (6):800-804
- [3] Omid Beigi R (2011) *Production and Medical Plant Processing*, vol 2. Astaneqods publisher ,
- [4] Kaveh M, Jahanbakhshi A, golpour I, Mesri Gandshmin T, Abbaspour-Gilandeh Y, Jahedi Rad S (2019) Prediction of white mulberry drying kinetics in microwave-convective dryer: A comparative study between mathematical model, artificial neural network and ANFIS. *Food Science and Technology* 16 (88):201-219
- [5] Askun OT, Grieson DS, Afolayan AJ (2007) Effects of drying methods on the quality and quantity of the essential oil of *Mentha longifolia* L. subsp. *Capensis*. *Food Chemistry* 101 (3):995-998

- [26] Akhoondi R, Mirjalili MH, Hadian J (2015) Quantitative and qualitative variations in the essential oil of *Rosa foetida* Herrm. (Rosaceae) flowers as affected by different drying methods. *Journal of Essential Oil Research* 27 (5): 1-7.
- [27] Karami H, Rasekh M, Darvishi Y (2017) Effect of temperature and air velocity on drying kinetics and organo essential oil extraction efficiency in a hybrid dryer. *Innovative Food Technologies* 5 (1):65-75. doi:10.22104/jift.2017.458
- [28] Karami H, Rasekh M (2018) Kinetics mass transfer and modeling of tarragon drying (*Artemisia dracunculus* L.). *Scientific Journal Management System* 34 (5):734-747. doi:10.22092/ijmapr.2018.116756.2221
- [29] Sourestani MM, Malekzadeh M, Tava A (2014) Influence of drying, storage and distillation times on essential oil yield and composition of anise hyssop [*Agastache foeniculum* (Pursh.) Kuntze]. *Journal of Essential Oil Research* 26 (3):177-184
- [30] Jaganmohan-Rao L, Meenakshi-Singh P, Raghavan B, Abraham K (1998) Rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.): impact of drying on its flavor quality. *Journal of Food Quality* 21 (2):107-115
- [31] Blanco M, Ming L, Marques M, And Bovi O (2002) Drying temperature effects in rosemary essential oil content and composition. *Acta Horticulturae* 569:99-103
- [32] Fadel H, El-Massry K (2000) *Rosmarinus officinalis* L: effect of drying on the volatile oil of fresh leaves and antioxidant activity of their extracts. *Journal of the Essential Oil Bearing Plants* 3 (1):5-19.
- of barberries (*barberries vulgaris*). *J Food Pro Eng* 32 (2):278-293
- [19] Sadowska U, Zabinski A, Szumny A, Dziadek K (2016) An effect of peppermint herb (*Mentha piperita* L.) pressing on physico-chemical parameters of the resulting product. *Industrial Crops and Products* 94:909-919
- [20] Ghasemi Pirbalouti A, Mahdad E, Craker L (2013) Effects of drying methods on qualitative and quantitative properties of essential oil of two basil landraces. *J Food Chem* 141:2440-2449
- [21] Sarimeseli A (2011) Microwave drying characteristics of coriander (*Corianderum sativum* L.) leaves. *Energy Conv Manage* 53:1449-1453
- [22] Sarimeseli A, Coskun MA, Yuceer AM (2014) Modeling Microwave Drying Kinetics Of Thyme (*Thymus Vulgaris* L.) Leaves Using ANN Methodology And Dried Product Quality. *Journal of Food Processing and Preservation* 38: 558-564
- [23] Ozbek B, Dadali G (2007) Thin layer drying characteristics and modelling of mint leaves undergoing microwave treatment. *J Food Eng* 83: 541-549
- [24] Abedini S, Sahebkarb AM, Hassanzadeh-Khayyatc M (2014) Chemical Composition of the Essential Oil of *Thymus vulgaris* L. Grown in Iran. *Journal of Essential Oil Bearing Plants* 17 (3):538 - 543
- [25] Piga A, Usai M, Marchetti M, Foddai M, Del Caro A, Meier H, Onorati V, Vinci F (2007) Influence Of Different Drying Parameters On The Composition Of Volatile Compounds Of Thyme and Rosemary Cultivated In Sardinia. Paper presented at the Proceedings of the 3rd CIGR Section VI International Symposium on FOOD AND AGRICULTURAL PRODUCTS, Naples, Italy.



The Effect of Different Drying Methods on Drying Kinetics, Mathematical Modeling, Quantity and Quality of Thyme Essential Oil

Karami, H.^{1,2}, Nejat Lorestani, A.^{3*}, Tahvilian, R.⁴

1. Graduated MSc, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Razi University, Kermanshah, Iran.
2. Novel Drug Delivery Research Center, Students Research Committee School of Pharmacy, Kermanshah University of Medical Sciences (KUMS) Kermanshah, Iran
3. Associate Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Razi University, Kermanshah, Iran.
4. Associate Professor, Department of Pharmaceutics, Novel Drug Delivery Research Center, School of Pharmacy, Kermanshah University of Medical Sciences (KUMS) Kermanshah, Iran.

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:

Received 2020/ 02/ 16
Accepted 2021/ 01/ 05

Keywords:

Drying Methods,
Essential Oils,
Gc/Ms,
Hybrid Dryer,
Thyme.

DOI: 10.52547/fsct.18.04.11

*Corresponding Author E-Mail:
lorestani@razi.ac.ir

The drying process plays an important role in the treatment of medicinal plants, in order to maintain the quantity and quality of the essential oil extracted from the plant. Because Medicinal herbs containing essential oils if they are not dried immediately or their essence is not extracted, they will lose their active ingredients and volatile compounds. The aim of this study is to design a hybrid dryer to drying medicinal plants to compare their results with traditional drying methods (sun and shade). The effects of different drying methods (hybrid dryer, oven, and shade drying) on the essential oil content and chemical composition of thyme were studied. The essential oils from all organs of thyme were extracted by hydro distillation and the chemical components were analyzed by GC/MS systems. Mathematical modeling results showed that the Midilli model can fit the drying curves with high accuracy. The highest essential oils yield of 2.4 % (v/w) was obtained by a hybrid dryer. Results indicated that hybrid dryer could keep the 24 Kinds of volatile compounds of thyme while these values were 10 and 6 for oven and shadow methods, respectively. The main components of the essential oils in different drying methods were including alpha and beta pinene, caryophyllene, caryophyllene oxide, carotol, thymol, thymol methyl ether, terpinene-4-ol, gama-terpinene, p-cymene. In general, hybrid-drying method is recommended as the best method for post-harvest thyme processing.