



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

حامد کرمی^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 فراشان 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>تاریخ های مقاله :</p> <p>تاریخ دریافت: ۹۸/۱۱/۲۷</p> <p>تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۰/۱۶</p> <p>کلمات کلیدی:</p> <p>اسانس، آویشن، روش‌های خشک کردن، خشک کن 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، بوته های مترکم و پرشاخه، ریشه مستقیم و کم و بیش چوبی با انشعاب های 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 قسمت های فوقانی آن سبز رنگ بوده و انشعاب های فراوانی دارد برگ ها کوچک، متقابل و کم و بیش نيزه ای شکل و بدون دم برگ هستند. از کاربردهای دارویی اسانس این گیاه میتوان به داروهای تقویت معده، نیرودهنده، ضد تشنج، ضد اسپاسم، ضد روماتیسم، ضد سیاتیک، رفع بیماری های مختلف دستگاه تنفسی، قاعده آور، رفع ضعف عمل دستگاه هضم، نفخ، ضعف عمومی، سیاه سرفه، سرفه های مزمن و دردهای قاعدگی اشاره نمود [۱]. گونه های آویشن از گیاهان دارویی بسیار مهم هستند که به طور فراوان استفاده می شوند. خواص اسانس انواع آویشن مربوط به دو ترکیب تیمول و کارواکرول است [۲].

میزان رطوبت بالا در میوه ها، نقش مهمی در ذخیره سازی آن ها ایفا می کند. کاهش رطوبت یا خشک کردن از طریق انتقال هم زمان 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 میوه ها و سبزی های خشک مورد استفاده قرار می گیرد. خشک کردن یکی از قدیمی ترین روش های نگهداری محصولات کشاورزی است. این فرایند اهمیت زیادی در فراوری گیاهان دارویی دارد، چرا که گیاهان دارویی اسانس دار اگر بلافاصله خشک نشوند و یا اسانس آن ها استخراج نشود مواد موثره و ترکیبات فرارشان را از دست می دهند، هم چنین تحقیقات نشان داده است که ترکیبات معطر گیاهان تحت تاثیر روش های فراوری قرار می گیرند. اگر گیاه بلافاصله پس از برداشت خشک شود، به حفظ رنگ و مواد معطر گیاه کمک می کند [۳].

هدف استفاده از شبیه سازی یا مدل سازی ریاضی در فرآیند خشک کردن محصولات کشاورزی در واقع تبدیل کیفیت های فیزیکی و رابطه متقابل این کیفیت ها به کمیت های عددی و روابط ریاضی است. بدین ترتیب یک مدل ریاضی شامل

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

تحقیقات متعددی درباره خشک کردن محصولات کشاورزی از جمله سبزی ها انجام شده است. تاثیر روش های 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 نمونه های خشک شده با آون شناسایی نشدند [۵].

کرمی و همکاران در سال ۲۰۱۷ اثر سه دما (۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی گراد) 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 ترپین، پیریتون و بتامیرکس می شود. 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 منتول می شود [۶].

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

بررسی تأثیر روش های مختلف خشک کردن (سایه و آون ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درجه سانتیگراد) در گیاه آویشن دانی (*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 سانتی گراد نگهداری شد [۹].

۲-۲- طراحی و ساخت خشک کن هیبریدی

ساختمان خشک کن مورد استفاده در این تحقیق شامل یک جمع کننده خورشیدی به همراه یک المنت برقی ۱۰۰۰ وات برای گرم کردن هوای ورودی به محفظه خشک کن، ۵ حسگر دمای (LM75) با دامنه اندازه گیری دما از ۵۵- تا ۱۲۵ درجه سانتی گراد و دقت اندازه گیری ± 2 درجه سانتی گراد هم چنین از ۲ حسگر رطوبت (HS1101) با دقت اندازه گیری $\pm 2\%$ برای اندازه گیری دما و رطوبت نسبی جابه جایی هوا است. فن خشک کن دارای قابلیت تغییر میزان هوای ورودی به محفظه خشک کن است. برای اندازه گیری سرعت جریان جابه جایی هوا به محفظه خشک کن از یک سرعت سنج پره ای مدل AVM-07 ساخت کشور تایوان با دقت اندازه گیری $\pm 0.1\%$ 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 نرم افزار CODEVISION برنامه نویسی - شده بود [۹].

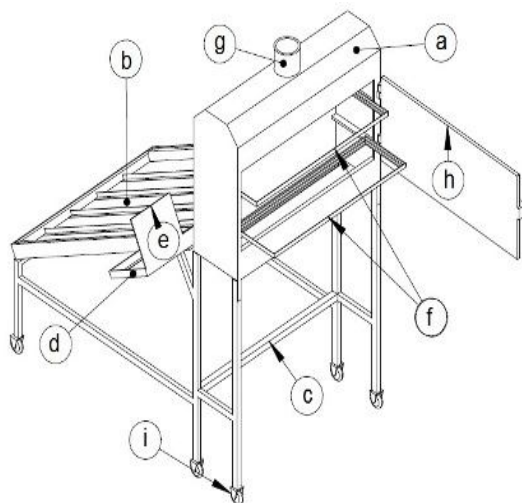


FIG 1 Schematic of constructed Hybrid Dryer:
a-Dryer Chamber b-Solar collector c-Framed-
Photovoltaic cell e-Automated Control unit f-Trays
g-Chimney h-cabinet door i-Wheels

عملیات خشک کردن به لحاظ مصرف انرژی یکی از پرهزینه ترین فرایندهای پس از برداشت در کشاورزی است. با توجه به کاهش و رو به اتمام بودن سوخت های فسیلی، استفاده از انرژی های تجدیدپذیر می تواند جایگزین مناسبی برای سوخت های فسیلی باشد. همچنین خشک کردن صنعتی، به دلیل مصرف زیاد انرژی منجر به افزایش قیمت تمام شده محصول می شود. خشک کن های هیبریدی می توانند انرژی را ذخیره، زمان و سطح مورد نیاز را کاهش، کیفیت محصول را افزایش، فرآیند را کارآمدتر و حفاظت های زیست محیطی را نیز افزایش دهند. همچنین در بسیاری از مناطق روستایی کشورهای در حال توسعه، خرید خشک کن های صنعتی برای کشاورزان مقرون به صرفه نبوده و کشاورزان خرده پا به ندرت از این خشک کن ها استفاده می کنند. با توجه به موقعیت جغرافیایی، کشور ایران به دلیل واقع شدن در منطقه نیمه گرمسیری و خشک، از تابش نور کافی برخوردار می باشد و می توان از این پتانسل بهره گرفت. شاید یکی از رقبای خشک کن خورشیدی را خشک کن های الکتریکی بنامیم. اما باید دانست که برای استفاده از خشک کن های الکتریکی (که از سوخت های فسیلی استفاده می کنند) باید هزینه های بسیار گزافی (هم برای خرید و هم برای استفاده) متحمل شد. لذا طراحی و ساخت خشک کن هیبریدی که بتواند با کاهش هزینه ها، کیفیت محصول را بالا برده و امنیت بهداشتی آن را تضمین نماید، ضروری به نظر می رسد [۹].

هدف از این پژوهش بررسی تأثیر روشهای مختلف خشک کردن بر روی سینتیک خشک کردن و نیز کمیت اسانس استحصال از آویشن می باشد.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- آماده سازی ماده اولیه

برای انجام این تحقیق برگ و سرشاخه های گیاه آویشن (*Thymus Vulgaris L.*) از فاصله ۴ تا ۵ سانتی متری از سطح زمین و از مزرعه آزمایشی گیاهان دارویی دانشکده علوم پزشکی کرمانشاه برداشت شد. آزمایش ها با سه روش مختلف خشک کردن (خشک کن هیبریدی نوع آورانه، آون و روش سنتی) با سه تکرار انجام شد. جهت جلوگیری از

۲-۳- فرآیند خشک کردن

دو ساعت قبل از شروع فرآیند خشک کردن به منظور تعدیل دمایی با محیط، اندام های هوایی آویشن مورد استفاد، بیرون از یخچال قرار گرفتند. مقدار آویشن تازه مورد استفاده در هر روش خشک کردن ۱۰۰۰ گرم در نظر گرفته شد. روش های خشک کردن مورد مطالعه به صورت زیر می باشد:

خشک کردن در سایه: برگ های 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 خشک شد. میانگین سرعت باد، دمای روز (دمای خشک کردن) و رطوبت نسبی محیط طی دوره خشک کردن طبق گزارشات ایستگاه هواشناسی منطقه به ترتیب ۲ متر بر ثانیه، ۳۲ درجه سانتی گراد و ۱۲٪ گزارش شد.

خشک کردن در آون: برگ های 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 خشک شد. دمای خشک کردن برابر ۳۵ درجه سانتی گراد انتخاب شد.

خشک کردن در خشک کن هیبریدی: برگ های تازه آویشن همراه با ساقه بر روی سینی های توری خشک کن به صورت لایه نازک قرار گرفت و توسط هوای گرم شده توسط جمع کننده (کلکتور) و هیتر برقی، تا رسیدن به وزن ثابت خشک شد. میانگین شدت تابش خورشید طی دوره خشک کردن طبق گزارشات ایستگاه حدوداً ۴۰۰۰ کیلو ژول بر مترمربع گزارش شد. دمای خشک کن برابر ۴۰ درجه سانتی گراد با سرعت هوای ورودی به محفظه برابر ۱/۵ متر بر ثانیه انتخاب شد و رطوبت نسبی محیط برابر ۱۲٪ بود. در طی فرایند خشک کردن، تغییرات وزن محصول به وسیله ترازوی دیجیتالی (AND، GF-3000) با دقت ± 0.01 گرم ثبت شد. سپس رطوبت نهایی نمونه ها با آون گذاری 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 خشک شدن، W_d وزن آویشن خشک می باشد.

برای رسیدن شرایط سیستم به حالت پایدار کلیه آزمایش ها ۲۵ دقیقه بعد از روشن کردن سیستم شروع شد. سپس سینی حاوی نمونه ها در محفظه خشک کن قرار داده شد. نحوه خشک کردن به این صورت است که فن هوا را از روی جمع کننده که به وسیله هیتر الکتریکی و جمع کننده گرم شده است به داخل محفظه سینی ها انتقال می دهد. جریان هوا هنگام گذر از توده، رطوبت نمونه را جذب و باعث گرم شدن آن می شود. بدین ترتیب افزایش دما باعث تسریع در خروج آب از بافت نمونه و در نتیجه خشک کردن محصول می گردد.

۲-۴- مدلسازی ریاضی سیتیک خشک کردن

برای مدل سازی ریاضی سیتیک خشک کردن لایه نازک آویشن، از نسبت رطوبت در طی فرایند خشک کردن استفاده شد. نسبت رطوبت با توجه به رطوبت اولیه، رطوبت تعادلی و رطوبت توده در هر لحظه در طول دوره خشک شدن با معادله زیر محاسبه می شود [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 می دهد که مشخص کننده فرایند خشک کردن است. براساس تحقیقات انجام شده، در صورتی که محتوی رطوبت نسبی هوای خشک کن متغیر باشد، در نتیجه آن، محتوای رطوبت تعادلی نمونه ها نیز ثابت نخواهد بود و برای محاسبه نسبت رطوبت نیازی به اندازه گیری محتوای رطوبت تعادلی نخواهد بود. بنابراین، معادله نسبت رطوبت در طول دوره خشک کردن به صورت زیر ساده می گردد [۱۱]:

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

نرخ تبخیر رطوبت عبارتست از مقدار رطوبت خارج شده از واحد سطح ماده ی خشک در واحد زمان که نشان دهنده ی سرعت تبخیر رطوبت از محصول می باشد. نرخ خشک شدن آویشن توسط روش معادله زیر تعیین می شود:

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.

$$DR = \frac{M_t - M_{t+dt}}{dt} \quad (۴)$$

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-طیف‌سنجی جرمی^۴ استفاده شد. اسانس گیاه آویشن پس از آماده‌سازی 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 رگرسیونی تغییرات نسبت رطوبت در طی خشک کردن براساس متغیر مستقل زمان با استفاده از نرم‌افزار Curve 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^۲ (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

^۳. Gas chromatography

^۴. Gas chromatography/ Mass spectroscopy

1. Chi-square

2. Root Mean Square Error

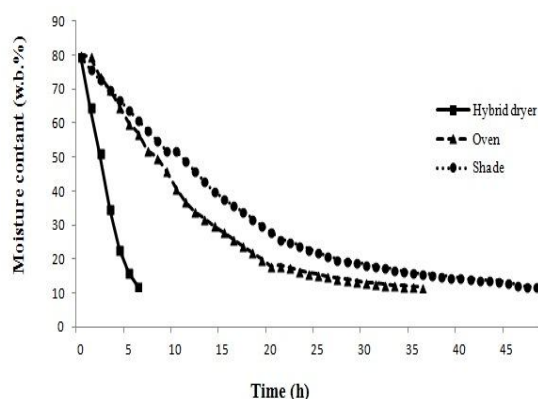


Fig 2 Moisture content curve vs. drying time for Thyme

باتوجه به شکل ۲ با کاهش میزان رطوبت از سرعت خشک شدن کاسته می شود. 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 می شود 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.

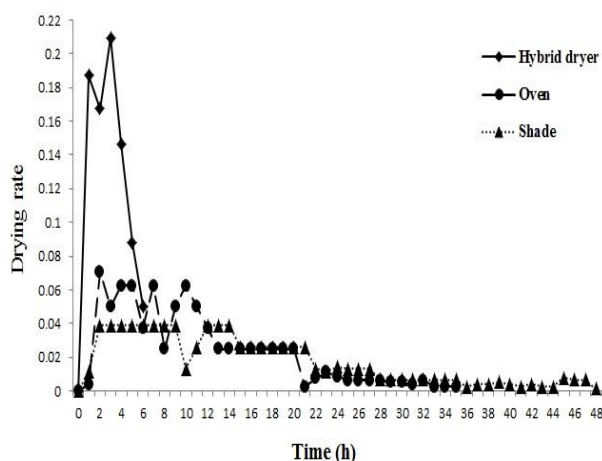


Fig 3 Drying rate vs. drying time for Thyme

همانطور که ملاحظه می شود در زمان های 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 نمونه ها 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 میلی متر 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 میلی مترو ضخامت لایه ۰/۲۵ میکرومتر از نوع HP-5 بود. تشخیص دهنده یا حسگر مورد استفاده MSD بود [۱۹، ۶].

داده های حاصل از آزمایش تأثیر نوع خشک کن 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 روش های مختلف خشک کردن در شکل (۲) نشان داده شده است. محتوای رطوبت اولیه آویشن بر پایه تر ۷۹/۴۳٪ بود. محتویات رطوبت نهایی نمونه ها برای ۳ آزمایش مختلف به صورت زیر خلاصه می شود: در روش سنتی نمونه ها 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 می کشد تا به رطوبت ۱۲ درصد برسند، و در روش خشک کردن با خشک کن هیبریدی در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد ۷ ساعت طول کشید تا به رطوبت ۱۲ درصد برسند. به دلیل دمای پایین تر، زمان لازم برای نمونه هایی که در روش سنتی خشک شدند طولانی تر بود. دما اثر قابل ملاحظه ای بر سینتیک خشک کردن دارد که با افزایش دما، زمان خشک شدن کاهش می یابد. با توجه به شکل، می توان دریافت که میانگین مقدار خشک شدن در خشک کن هیبریدی حدود ۶ برابر سریعتر از روش آون و ۸ برابر سریع تر از روش سنتی است، که علت این امر افزایش گرادیان حرارتی در داخل جسم و در نتیجه افزایش سرعت تبخیر رطوبت محصول می باشد.

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

افزایش تبخیر از سطح محصول می گردد. نتایج این تحقیق با نتایج سایر محققین در مورد برگ های گشنیز و آویشن [۲۲، ۲۱] و برگ های نعناع [۲۳] مطابقت دارد. آزمایش های خشک کردن آویشن در سه روش مختلف خشک کردن با سه تکرار انجام شد. با توجه به مقادیر R^2 ، χ^2 و RMSE مدل های رگرسیونی مختلف ارزیابی شد و معیار مدل بهتر، مقدار بیش تر 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 مدل ها بر اساس متوسط شاخص های 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

۳-۲- مقایسه اثر روش های مختلف خشک

کردن بر مقدار اسانس

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

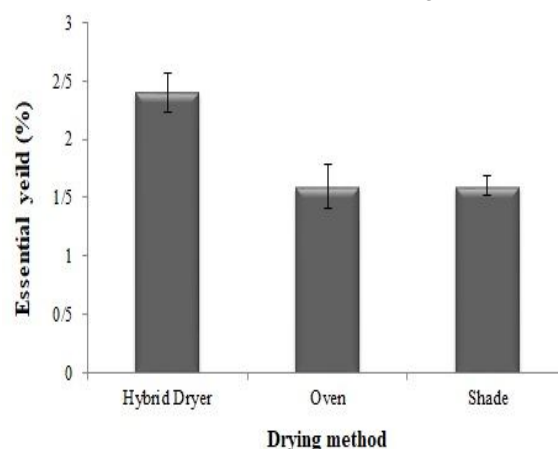


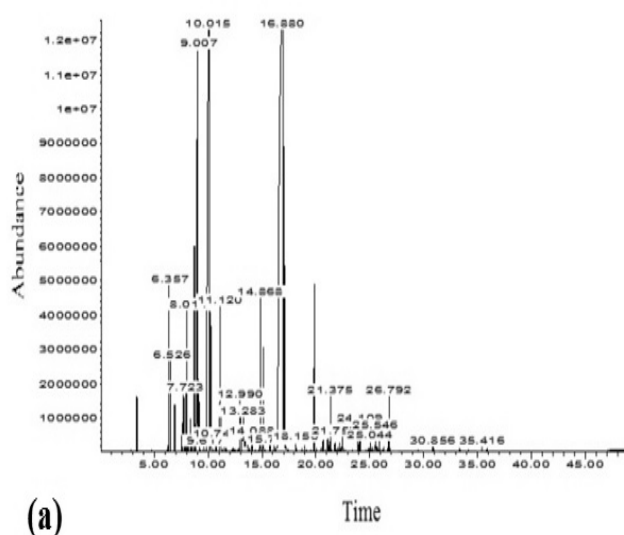
Fig 4 The essential oil content of Thyme in different drying methods

مقایسه میانگین های مربوط به تاثیر روش های مختلف خشک کردن بر درصد اسانس (شکل ۴) نشان می دهد که بیشترین عملکرد اسانس بر پایه وزن خشک (۲/۴ v/w) 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 (۱/۶ v/w) به دست آمد.

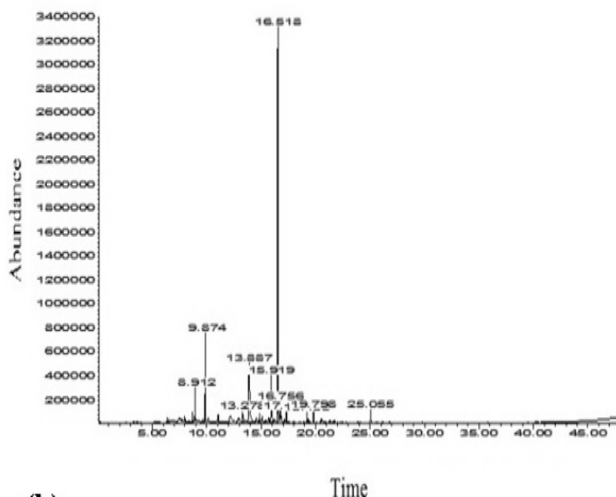
این عملکرد اسانس استحصال آویشن در خشک کن هیبریدی در مقایسه با میانگین اسانس استحصال از گونه های آویشن ایرانی که برابر ۱/۸٪، اسپانیایی ۰/۷۳٪، مراکشی ۰/۸۵٪ و عربستانی ۱/۲۷٪ گزارش شده است، نسبتاً بالاتر بود [۲۴]. این نتایج با تحقیقات انجام شده بر روی برخی از گیاهان دارویی مانند آویشن و رزماری [۲۵]، رزماری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

۳-۳- اثر روش های خشک کردن بر ترکیبات

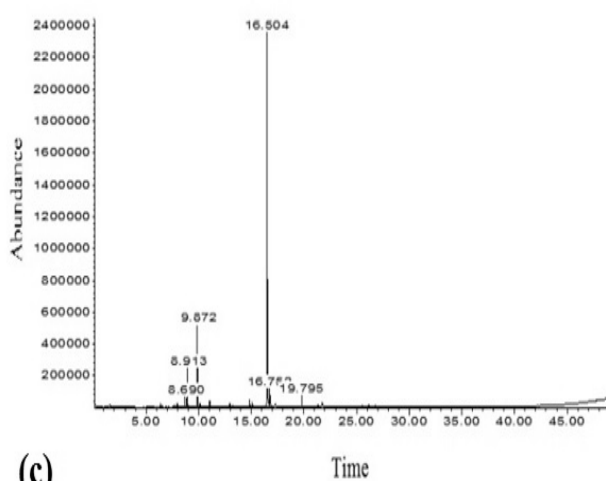
اسانس



(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 اسانس به دست آمده با روش های مختلف خشک کردن 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، کاروفیلن، اکسید کاروفیلن، کاروتول، تیمول، متیل اتر تیمول، ترپینن-۴-آل، گاما-ترپینن، پ-سیمن بود. نتایج این مطالعه نشان داد که محتوای تیمول، گاما ترپینن، کارواکول 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	<i>R.I</i>	<i>Hybrid dryer</i>		<i>oven</i>		<i>shade</i>	
		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 سانتی گراد 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- نتیجه گیری

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 سریع تر از روش سنتی و آون بود. نتایج مدلسازی ریاضی منحنی های خشک کردن نشان داد که مدل میدیلی و همکاران توانستند منحنی خشک کردن را با بالاترین ضریب و کمترین خطا پیش بینی 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 می شود. بر اساس نتایج GC خشک کن هیبریدی ۲۴ نوع ترکیبات فرار از

نتایج نشان داد که روش های مختلف خشک کردن تاثیر معنی داری 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 پدیده های اکسیداسیون به طور چشمگیری رخ می دهد. این امر ناشی از فرار برخی از مواد موثره گیاه در طول خشک کردن با دمای بالا می باشد. همچنین در طول فرایند خشک کردن رطوبت به وسیله انتشار از سطح برگ ها خارج می شود و از آن جایی که غده های حاوی اسانس در سطح برگ ها یا نزدیکی آن قرار دارند، در فرایند خشک کردن مقداری از اسانس گیاه از دست می رود، این مکانیزم می تواند 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 dracunculus* 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) Influnce 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

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

ABSTRACT

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.