

## بررسی اثر دما و سرعت جابه‌جایی هوا بر سینتیک خشک کردن و راندمان استخراج اسانس پونه

حامد کرمی<sup>۱</sup>، منصور راسخ<sup>۲\*</sup>، یوسف درویشی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک بیوسیستم، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی  
۲. دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی  
۳. دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک بیوسیستم، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: 95/10/3، تاریخ بازنگری: 95/11/6، تاریخ پذیرش: 95/11/23)

### چکیده

فرایند خشک کردن برای حفظ کمیت و کیفیت اسانس به‌دست آمده از گیاه، نقش مهمی در فراوری گیاهان دارویی دارد. مدل‌سازی از جنبه‌های مهم این فناوری با هدف انتخاب مناسب‌ترین روش خشک کردن است. بنابراین در این تحقیق، سینتیک خشک کردن لایه نازک گیاه دارویی پونه در یک خشک‌کن هیبریدی خورشیدی مدل‌سازی شد. آزمایش‌ها در چهار دمای 40، 50، 60 و 70 درجه سانتی‌گراد و سه سرعت هوای 1، 1/5 و 2 متر بر ثانیه در قالب طرح کاملاً تصادفی و به‌صورت فاکتوریل در 3 تکرار انجام شد. 8 مدل ریاضی خشک کردن بر داده‌های آزمایشگاهی برازش و بر اساس سه شاخص آماری مربع کای ( $\chi^2$ )، ریشه متوسط مربع خطای داده‌ها (RMSE) و ضریب تعیین ( $R^2$ )، با هم مقایسه شدند. هم‌چنین تاثیر سرعت جابه‌جایی هوا بر مدت زمان خشک کردن در دماهای پایین‌تر بود. با توجه به نتایج آنالیز واریانس اثر اصلی عوامل دمای هوای خشک کردن و سرعت هوای خشک کردن در سطح احتمال 1 درصد معنی‌دار شده ولی اثر متقابل دما و سرعت جابه‌جایی هوا معنی‌دار نشده است و بیش‌ترین میزان اسانس استحصالی مربوط به دمای 40 درجه سانتی‌گراد و سرعت جابه‌جایی هوا 1/5 متر بر ثانیه با مقدار تقریبی 0/54 میلی لیتر بر اساس حجمی به‌دست آمد و با افزایش دما از 40 درجه سانتی‌گراد به 70 درجه سانتی‌گراد میزان اسانس استحصالی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: اسانس، پونه، سینتیک خشک کردن، خشک‌کن هیبریدی، لایه نازک.

## 1- مقدمه

بر اساس تحقیقات آکپینار و همکاران در بررسی رفتار خشک کردن برگ‌های جعفری در خشک‌کن همرفتی در دماهای 56، 67، 75 و 93 درجه سانتی‌گراد با سرعت جابه‌جایی هوای 1 متر بر ثانیه و خشک کردن سنتی (در زیر سایه) مشاهده شد که در منحنی‌های خشک کردن دوره ای خشک کردن با سرعت ثابت وجود ندارد و فرایند خشک کردن همواره با کاهش رطوبت در واحد زمان همراه است [7].

آغباشلو و همکاران خشک کردن لایه نازک زرشک را مورد مطالعه قرار دادند. آزمایش‌ها در دماهای 50، 60 و 70 درجه سانتی‌گراد و سرعت‌های جابه‌جایی هوا 0/5، 1 و 2 متر بر ثانیه انجام گرفت. داده‌های حاصل از آزمایش با شش مدل مربوط به خشک‌کن‌های لایه نازک مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که مدل پیچ نسبت به سایر مدل‌ها با دقت بیش‌تری تغییرات رطوبت را در طی خشک کردن توده بستر نازک زرشک پیش‌بینی می‌کند [8].

پاتاک و سان و وودز پس از تحقیق بر روی خشک کردن به روش لایه نازک گندم دریافتند که دما اثر زیادی بر روی سرعت خشک کردن دارد در حالی که سرعت جابه‌جایی و رطوبت نسبی هوای خشک‌کن اثر کمی روی سرعت خشک کردن دارند [9، 10].

علاوه بر موارد فوق، یالدیز و ارتکین خشک کردن برخی از سبزیجات، پانچاریا و همکاران خشک کردن چای، کایا و آیدین خشک کردن برخی از برگ‌های گیاهان دارویی، دویماز خشک کردن برگ اسفناج، بوراج و همکاران سینتیک خشک شدن زردچوبه، دویماز خشک کردن آویشن، ارسلان و اوزکان خشک کردن برگ رزماری را مورد آزمایش قرار دادند [11-17].

با توجه به اهمیت و حساسیت گیاه پونه نسبت به اعمال حرارت در فرایند خشک کردن اهداف این تحقیق عبارتند از بهینه کردن شرایط خشک کردن و انتخاب بهترین مدل توصی کننده فرایند خشک کردن پونه و بررسی اثر بهترین دما و سرعت جابه‌جایی هوا خشک کردن بر میزان اسانس به دست آمده پونه، با خشک‌کن هیبریدی می‌باشد. مدل‌های مذکور بر اساس متغیر وابسته (رطوبت توده) و سه متغیر مستقل (دمای خشک کردن و سرعت جابه‌جایی هوا) بر داده‌های آزمایشگاهی

خانواده نعناعیان (*Labiatae*) یکی از بزرگ‌ترین خانواده‌های گیاهی می‌باشند که تنوع زیستی زیادی در سراسر جهان و به ویژه مناطق مدیترانه‌ای و مرطوب دارند. گیاهان متعلق به این خانواده اهمیت بالایی در صنایع آرایشی، غذایی و دارویی دارند [1]. جنس پونه سا *Nepeta L.* یکی از جنس‌های بزرگ خانواده نعناعیان محسوب می‌شود که بالغ بر 250 گونه از این جنس در جهان گزارش شده است [2].

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 می‌دهد 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 [3].

یکی از جنبه‌های مهم فناوری خشک کردن به‌خصوص برای فرایندهای صنعتی، مدل‌سازی فرایند خشک کردن است. هدف از مدل‌سازی این است که مناسب‌ترین روش خشک کردن و بهترین شرایط عملیاتی را برای به‌دست آوردن محصول بتوان انتخاب کرد [4]. آگاهی از رفتار خشک کردن در طراحی، شبیه سازی و بهینه سازی فرایند خشک کردن مهم است. در حین فرایند خشک کردن برای جلوگیری از اتلاف حرارتی باید دما به‌صورت دقیق کنترل گردد [5].

تحقیقات متعددی درباره خشک کردن محصولات کشاورزی از جمله سبزی‌ها انجام شده است. نتایج آزمایشات دویماز و همکاران در بررسی رفتار خشک کردن لایه نازک برگ شوید و جعفری در درجه حرارت‌های مختلف 40، 50 و 60 درجه سانتی‌گراد در خشک‌کن کابینتی نشان داد که با افزایش دما تا دمای 60 درجه سانتی‌گراد به‌طور قابل توجهی باعث کاهش زمان خشک کردن برگ شوید و جعفری گردید و نتایج کیفیت رنگ نشان داد دمای 60 درجه سانتی‌گراد دمای بهینه برای خشک کردن شوید و جعفری می‌باشد، هم‌چنین مدل لگاریتمی مناسب‌ترین مدل برای آنالیز داده‌ها تشخیص داده شد [6].

ساخت کشور تایوان با دقت اندازه‌گیری  $\pm 1\%$  و حساسیت 0/1 متر بر ثانیه استفاده گردید. برای اجرای فرایند خشک کردن، میکرو کنترلر AVR مدل ATMEGA 8 ساخت کشور چین مورد استفاده قرار گرفت که توسط نرم‌افزار CODEVISION برنامه نویسی شده بود [18].

200 گرم گیاه پونه به صورت کامل همراه با ساقه و برگ بر روی سینی‌های توری خشک‌کن به صورت تک لایه قرار گرفت. در طی فرایند خشک کردن، تغییرات وزن محصول به وسیله ترازوی دیجیتال (GF-3000، AND) با دقت  $\pm 0/01$  گرم ثبت شد. سپس رطوبت نهایی نمونه‌ها با آون گذاری در دمای 70 درجه سانتی‌گراد به مدت 48 ساعت [19] و با استفاده از معادله (1) محاسبه شد [20]:

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

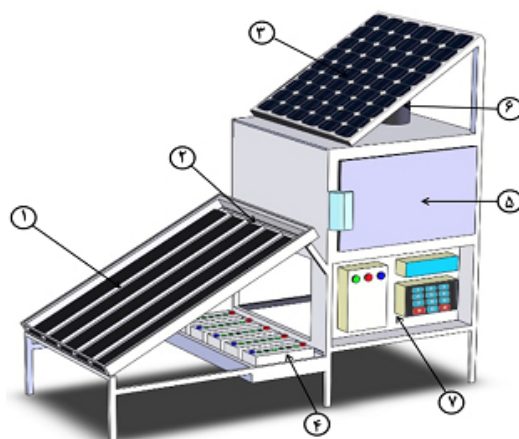
که  $M_d$  رطوبت گیاه پونه بر پایه خشک (db)،  $W_w$  وزن پونه در طی خشک شدن،  $W_d$  وزن پونه خشک می‌باشد. برای رسیدن شرایط سیستم به حالت پایدار کلیه آزمایش‌ها 25 دقیقه بعد از روشن کردن سیستم شروع شد. سپس سینی حاوی نمونه‌ها در محفظه خشک‌کن قرار داده می‌شد. نحوه خشک کردن به این صورت است که فن هوا را از 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

برازش داده شد. ضرورت انجام این تحقیق به این دلیل می‌باشد که گیاهان دارویی حساسیت زیادی در برابر عمل خشک کردن به لحاظ حفظ رنگ و ترکیبات معطر دارند، چرا که گیاهان دارویی حاوی اسانس، اگر بلافاصله خشک نشوند و یا اسانس آن‌ها استخراج نشوند، رایحه خود را از دست می‌دهند.

## 2- مواد و روش‌ها

### 1-1- انجام آزمایش‌ها

برای انجام این تحقیق برگ و سرشاخه‌های گیاه پونه معطر *Mentha pulegium L.* از فاصله 4 تا 5 سانتی‌متری از سطح زمین و از مزرعه آزمایشی گیاهان دارویی دانشکده علوم پزشکی کرمانشاه برداشت شد. آزمایش‌ها در چهار دمای 40، 50، 60 و 70 درجه سانتی‌گراد و سه سطح سرعت جابه‌جایی هوای ورودی 1، 1/5 و 2 متر بر ثانیه با سه تکرار انجام شد. ساختمان خشک‌کن مورد استفاده در این تحقیق شامل یک جمع‌کننده خورشیدی به همراه یک المنت برقی 1000 وات برای گرم کردن هوای ورودی به محفظه خشک‌کن، 5 حسگر دمای (LM75) با دامنه اندازه‌گیری دما از 55- تا 125 درجه سانتی‌گراد و دقت اندازه‌گیری  $\pm 2$  درجه سانتی‌گراد هم‌چنین از 2 حسگر رطوبت (HS1101) با دقت اندازه‌گیری  $\pm 2\%$  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



شکل (1) طرحواره خشک‌کن مورد استفاده 1- جمع‌کننده خورشیدی 2- المنت برقی 3- سلول خورشیدی 4- باتری‌ها 5- محفظه‌ی خشک‌کن 6- دمپر 7- جعبه کنترلر [21]

تعادلی ( $M_0$  kg water/kg dry mater) و  $M_0$  رطوبت اولیه توده محصول ( $M_0$  kg water/kg dry mater) است. براساس تحقیقات انجام شده، در محصولاتی که دارای رطوبت زیاد هستند معادله نسبت رطوبت در طی خشک شدن معادله (2) به صورت معادله (3) ساده می‌گردد [20]:

$$MR = \frac{M_d}{M_0} \quad (3)$$

نسبت رطوبت به دست آمده در طی آزمایش با 5 مدل از مدل‌های استاندارد خشک کردن لایه نازک محصولات کشاورزی مقایسه گردید که در جدول (1) آمده است. مدل‌های رگرسیونی تغییرات نسبت رطوبت در طی خشک کردن براساس متغیر مستقل زمان با استفاده از نرم‌افزار SPSS - 17 استخراج گردید. برای تعیین بهترین مدل از سه معیار ضریب تعیین ( $R^2$ )، مربع کای ( $\chi^2$ ) و ریشه متوسط خطای داده‌ها (RMSE) استفاده شد. در مقایسه بین دو مدل، مدل با  $R^2$  بیش‌تر و مقدار  $\chi^2$  و RMSE کم‌تر، بهتر می‌تواند تغییرات نسبت رطوبت را در طی خشک کردن پیش‌بینی کند [8]. داده‌های حاصل از آزمایش تاثیر دما و سرعت جریان هوا در فرایند خشک کردن بر مقدار اسانس استحصال، در قالب طرح کاملاً تصادفی و به صورت فاکتوریل با دو متغیر دمای فرایند خشک کردن 40، 50، 60 و 70 درجه سانتی‌گراد و 3 سرعت جریان جابه‌جایی هوای 1، 1/5 و 2 متر بر ثانیه در سه تکرار تجزیه و تحلیل شد.

می‌شود. بدین ترتیب افزایش دما باعث تسریع در خروج آب از بافت نمونه و در نتیجه خشک کردن محصول می‌گردد.

## 2-2- استخراج اسانس به روش تقطیر با آب

برای اسانس‌گیری از دستگاه کلونجر و با روش تقطیر با آب استفاده شد. مقدار پونه خشک شده مورد استفاده برای این تحقیق 30 گرم بود. مقدار آب مورد استفاده در هر آزمایش 500 میلی‌لیتر بود. مدت زمان اسانس‌گیری برای هر تیمار پس از به جوش آمدن 2 ساعت بود و میزان اسانس به دست آمده از هر تیمار به صورت حجم اسانس بر حسب میلی لیتر (% V/W) محاسبه گردید. در لوله مندرج امکان اندازه‌گیری اسانس به روش حجمی وجود دارد [21].

## 2-3- مدل‌سازی ریاضی خشک کردن

برای مدل‌سازی ریاضی سینتیک خشک کردن بستر نازک پونه 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 طی خشک کردن به وسیله معادله (2) محاسبه شد [22]

$$MR = \frac{M_d - M_e}{M_0 - M_e} \quad (2)$$

که در آن  $M_R$  نسبت رطوبت،  $M_d$  رطوبت توده در زمان مورد نظر بر پایه خشک ( $M_e$  kg water/kg dry mater) رطوبت

جدول (1) مدل‌های رگرسیونی خشک‌شدن توده بستر نازک مورد استفاده در مدل‌سازی

ردیف	نام مدل	مدل	مرجع
1	آغباشلو و همکاران	$MR = \exp\left(\frac{k_1 t}{1 + k_2 t}\right)$	[23]
2	میدیلی و همکاران	$MR = a \exp(-kt) + bt$	[24]
3	نیوتن	$MR = \exp(-kt)$	[25]
4	ورما و همکاران	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$	[26]
5	ونگ و سینگ	$MR = 1 + at + bt^2$	[27]
6	دوجمله ای	$MR = a \exp(-k_0 t) + b \exp(-k_1 t)$	[28]
7	لگاریتمی	$MR = a \exp(-kt) + c$	[29]
8	پیچ	$MR = \exp(-kt^n)$	[30]

$M_R$  نسبت رطوبت،  $t$  زمان (min) و  $k$ ،  $a$ ،  $b$ ،  $g$ ،  $k_0$  و  $n$  ثابت‌های مدل است

## 3- نتایج و بحث

## 3-1- مدل سازی سینتیک خشک کردن

برازش کرد. نتایج برازش مدل ها بر اساس متوسط شاخص های آماری برای سرعت های 1، 1/5 و 2 متر بر ثانیه در جدول (2) آورده شده است. مقادیر ضرایب این مدل برای سرعت های مختلف در جدول (3) آورده شده است.

میرزایی قلعه مدل رگرسیونی آغباشلو و همکاران را به عنوان بهترین مدل برای پیش بینی نسبت رطوبت میوه زردآلو پیشنهاد داد [31]. منحنی خشک شدن براساس داده های آزمایشگاهی و داده های حاصل از بهترین مدل، برای سرعت 1 m/s در شکل (3) آورده شده است. با توجه به شکل مشخص است که هرچه

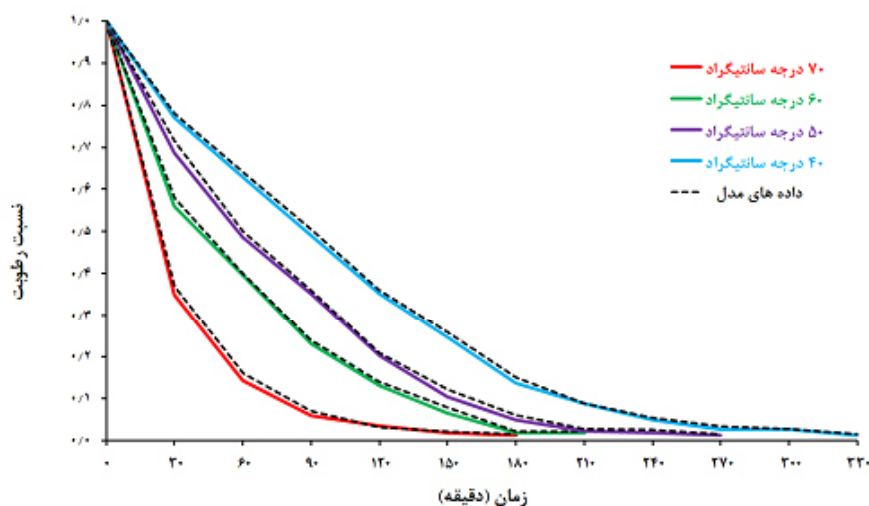
آزمایش های خشک کردن پونه در چهار سطح دمایی 40، 50، 60 و 70 درجه سانتی گراد با سه تکرار و سه سرعت جابه جایی هوای ورودی 1، 1/5 و 2 متر بر ثانیه با سه تکرار انجام شد. با توجه به مقادیر  $R^2$ ،  $\chi^2$  و RMSE مدل های رگرسیونی مختلف ارزیابی شد و معیار مدل بهتر، مقدار بیش تر  $R^2$  و مقدار کم تر  $\chi^2$  و RMSE بود. بر اساس نتایج مدل رگرسیونی آغباشلو و همکاران تغییرات رطوبت در طی خشک کردن پونه را بهتر

جدول (2) مقایسه دقت برازش مدل ها براساس متوسط شاخص های آماری در دماهای مختلف

سرعت	مدل	$R^2$	$\chi^2$	RMSE
1 m/s	آغباشلو و همکاران	0/999	0/0000001407	0/014384486
	میدیلی و همکاران	0/998	0/000000408	0/018537528
	نیوتن	0/992	0/000003944	0/0309342
	ونگ و سینگ	0/976	0/000221969	0/3058943
	ورما و همکاران	0/995	0/001326755	0/12481069
	دوجمله ای	0/995	0/000226834	0/01841682
	لگاریتمی	0/996	0/000709241	0/02184277
	پیچ	0/998	0/000130224	0/10816334
	آغباشلو و همکاران	0/998	0/000000389	0/019866803
1/5 m/s	میدیلی و همکاران	0/998	0/00000991	0/042379601
	نیوتن	0/991	0/0000021385	0/033911073
	ونگ و سینگ	0/984	0/072032341	0/228337985
	ورما و همکاران	0/994	0/00022381982	0/095071183
	دوجمله ای	0/994	0/0001863834	0/095485732
	لگاریتمی	0/993	0/0000583241	0/088845694
	پیچ	0/995	0/0000313794	0/155168928
	آغباشلو و همکاران	0/998	0/000212327	0/01987137
	میدیلی و همکاران	0/999	0/002877441	0/03918768
2 m/s	نیوتن	0/989	0/000580342	0/0347217
	ونگ و سینگ	0/963	0/099541358	0/35152412
	ورما و همکاران	0/988	0/002203672	0/09010728
	دوجمله ای	0/989	0/001863212	0/09637239
	لگاریتمی	0/991	0/002189288	0/08177823
	پیچ	0/992	0/006319191	0/25161183

جدول (3) مقادیر ثابت و ضرایب مدل رگرسیونی آغباشلو و همکاران به تفکیک دمای خشک‌کن

دما				ضرایب	سرعت
70	60	50	40		
0/003	-0/002	-0/001	-0/002	$K_2$	1 m/s
0/029	0/011	0/009	0/006	$K_1$	
0/999	0/999	0/999	0/998	$R_2$	
0/005	-0/002	-0/002	-0/002	$K_2$	1/5 m/s
0/035	0/012	0/010	0/007	$K_1$	
0/998	0/999	0/998	0/998	$R_2$	
0/007	0/000	-0/002	0/007	$K_2$	2 m/s
0/043	0/018	0/011	0/043	$K_1$	
0/997	0/998	0/998	0/999	$R_2$	

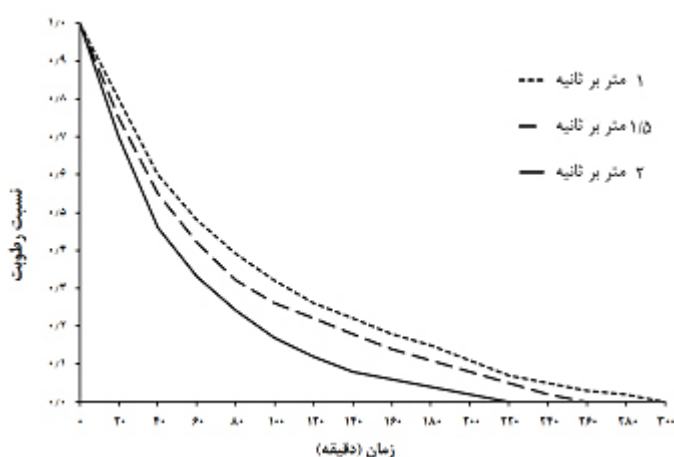


شکل (2) تغییر رطوبت در طی خشک شدن با دماهای مختلف حاصل از داده‌های آزمایشگاهی و داده‌های مدل آغباشلو و همکاران (سرعت 1 m/s)

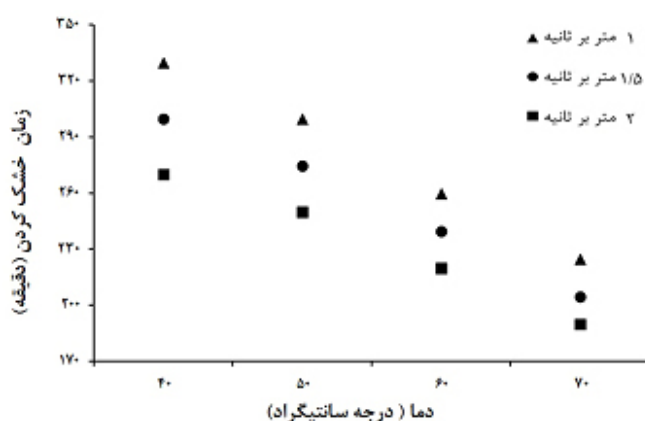
### 3-2- مقایسه اثر سرعت جابه‌جایی هوا بر روی مدت زمان خشک‌شدن در دماهای مختلف

به منظور بررسی اثر سرعت جابه‌جایی هوا بر زمان خشک کردن، منحنی تغییرات نسبت رطوبت در برابر مدت زمان خشک کردن در دمای هوای ثابت 60 درجه سانتی‌گراد و در سرعت‌های مختلف جابه‌جایی هوا در شکل (3) نشان داده شده است. هم‌چنین منحنی دمای خشک کردن در برابر مدت زمان خشک کردن در سرعت‌های ثابت جابه‌جایی هوا در شکل (4) آورده شده است. بررسی این نمودارها نشان می‌دهد که

دمای هوای عبوری بیش‌تر باشد عمل خشک کردن سریع‌تر انجام می‌گیرد. که این نتیجه با نتایج سایر محققین مطابق است [8, 28 و 29]. مطابق شکل (2) داده‌های آزمایشگاهی و داده‌های حاصل از مدل بسیار به هم نزدیک بوده به طوری که منحنی حاصل از داده‌های آزمایشگاهی و منحنی حاصل از داده‌های مدل روی یکدیگر منطبق شده‌اند. با توجه به بررسی شاخص‌های ارزیابی مدل‌های رگرسیونی برتر کاملاً مشخص می‌گردد که این مدل می‌تواند داده‌های آزمایشگاهی را به خوبی پیش‌بینی کند.



شکل (3) تغییر رطوبت در طی خشک شدن با سرعت‌های مختلف جابه‌جایی هوا



شکل (4) منحنی دمای خشک کردن در برابر مدت زمان خشک کردن در سرعت‌های ثابت جابه‌جایی هوا

میزان اسانس استحصالی از نمونه‌ها در جدول شماره (4) نشان داده شده است. با مشاهده جدول آنالیز واریانس معلوم می‌شود که اثر اصلی دما و سرعت جابه‌جایی هوا در سطح احتمال 1 درصد معنی‌دار شده ولی اثر متقابل دو جانبه دما و سرعت جابه‌جایی هوا معنی‌دار نشده است.

جدول (4) نتایج تجزیه واریانس اسانس استحصالی پونه

منابع تغییر	درجات آزادی	میانگین مربعات
دما	3	$6 \times 10^{-2}^{**}$
سرعت	2	$1/03 \times 10^{-1}^{**}$
دما × سرعت	6	$1/105 \times 10^{-3} \text{ n.s.}$
خطای آزمایش	24	$2 \times 10^{-4}$
کل	35	

\*\* معنی‌دار در سطح 1 درصد

$$Cv = \% 3/27$$

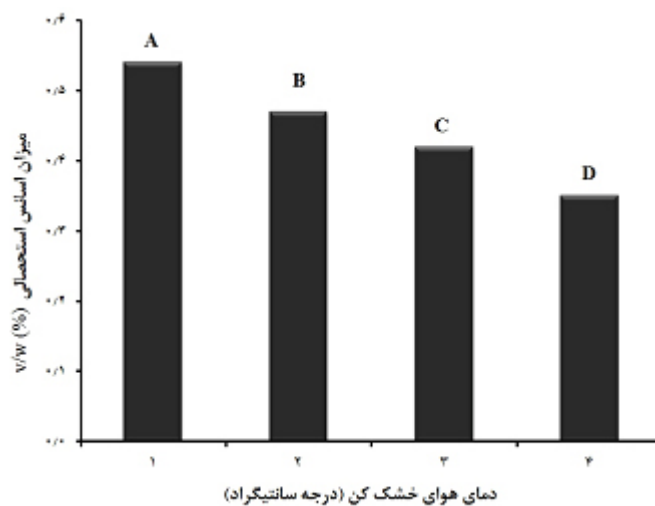
افزایش سرعت جابه‌جایی هوا ورودی از 1 تا 2 متر بر ثانیه سبب کاهش مدت زمان خشک کردن گیاه پونه شد. این نتیجه با نتایج به‌دست آمده بر روی زرشک، آویشن و نعناع و همچنین در مورد خشک کردن لایه نازک گیاهان دارویی مطابقت دارد [33-35]. هم‌چنین با بررسی نمودارها مشخص می‌شود که در دماهای بالا تفاوت بین مدت زمان خشک کردن در سرعت‌های متفاوت قابل صرف نظر کردن است در حالی که این تفاوت در دماهای پایین بیش‌تر است. به عبارت دیگر تاثیر سرعت جابه‌جایی هوا بر مدت زمان خشک کردن در دماهای پایین بیش‌تر است. که این نتیجه با نتایج سایر محققین مطابق است [8, 31].

### 3-3- تاثیر دما و سرعت جابه‌جایی هوا خشک کردن بر میزان اسانس استخراج شده

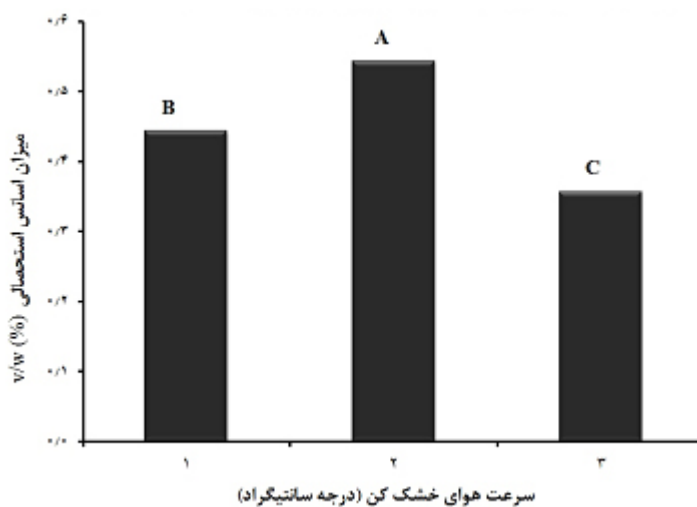
نتایج تجزیه واریانس تاثیر دمای و سرعت جابه‌جایی هوا بر

میانگین اسانس استخراج شده از پونه بر اساس دو عامل دما و سرعت جابه‌جایی هوا خشک‌کن توسط آزمون مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن در سطح 1 درصد مقایسه شد و نتایج در شکل‌های 5 و 6 آورده شده است. از این شکل‌ها معلوم می‌شود که بیش‌ترین میزان اسانس استخراج شده مربوط به دمای 40 درجه سانتی‌گراد با میزان اسانس میلی لیتر 0/54 بود. همچنین با افزایش دما از 40 به 70 درجه سانتی‌گراد میزان اسانس استحصالی کاهش یافت و کم‌ترین مقدار آن برابر میلی لیتر 0/35 در درجه حرارت 70 درجه سانتی‌گراد است. 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 به‌وسیله انتشار از سطح برگ‌ها خارج می‌شود و از آن‌جایی 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 [34]. نتایج مشابهی توسط کرمی و همکاران در خشک کردن نعناع آبی، رهلوف و همکاران و بلانکو و همکاران در خشک کردن نعناع، پیگا و همکاران در خشک کردن آویشن و اکلیل کوهی، عزیزی و همکاران در خشک کردن بابونه و همچنین موسویان و بصیری در خشک کردن گونه‌ای از آویشن محلی ارائه شده است [21، 35-39].



شکل (5) نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی دمای هوا بر میزان اسانس استحصالی (LSD=0/01376)



شکل (6) نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی سرعت جابه‌جایی هوا بر میزان اسانس استحصالی (LSD=0/01192)



## 4- نتیجه گیری

اثر دمای هوای خشک کردن و سرعت جابه‌جایی هوا خشک کردن بر مقدار اسانس استحصالی در سطح احتمال 1 درصد معنی‌دار شد ولی اثر متقابل دما و سرعت جابه‌جایی هوا معنی‌دار نشده است. کم‌ترین میزان اسانس استحصالی مربوط به دمای 70 درجه سانتی‌گراد و سرعت جابه‌جایی هوا 2 متر بر ثانیه و بیش‌ترین میزان اسانس استحصالی مربوط به دمای 40 درجه سانتی‌گراد و سرعت جابه‌جایی هوا 1/5 متر بر ثانیه با مقدار تقریبی 0/54 میلی لیتر به‌دست آمد. با استفاده از نتایج به‌دست آمده پیشنهاد می‌گردد جهت کاهش مصرف انرژی و حفظ بیش‌ترین مقدار اسانس استحصالی عمل خشک کردن گیاه پونه در دمای 40 درجه سانتی‌گراد و سرعت جابه‌جایی هوا 1/5 متر بر ثانیه انجام شود.

مدل آغباشلو و همکاران منحنی خشک شدن گیاه پونه را بر اساس شاخص‌های آماری  $R^2$ ،  $\chi^2$  و RMSE در سرعت جابه‌جایی هوا 1 متر بر ثانیه به‌ترتیب برابر با 0/999، 0/0000001407 و 0/014384486. در سرعت جابه‌جایی هوا 1/5 متر بر ثانیه به‌ترتیب برابر با 0/998، 0/000000389 و 0/019866803 و در سرعت جابه‌جایی هوا 2 متر بر ثانیه به‌ترتیب برابر با 0/998، 0/000212327 و 0/01987137 نسبت به مدل‌های دیگر بهتر برآورد کرد. افزایش دما و سرعت جابه‌جایی هوا باعث افزایش سرعت خشک کردن می‌شود. هم‌چنین تاثیر افزایش سرعت جابه‌جایی هوا بر مدت زمان خشک کردن در دماهای پایین نسبت به دماهای بالاتر بیش‌تر بود.

## منابع

- characteristics of dill and parsley leaves. *J. Food Eng.*, 3, 559-565.
- [7] Akpinar, K., Bicer, Y., Cetinkay, F. (2006). Modeling of thin layer drying of parsley leaves in a convective dryer and under open sun. *J. Food Eng.*, 3, 308-315.
- [8] Aghbashlo, M., Kianmehr, M., Samimi-Akhijahani, H. (2009). Evaluation of thin-layer drying models for describing drying kinetick of barberries (barberries vulgaris). *J. Food Pro. Eng.*, 32(2), 278-293.
- [9] Patak, P.T. (1991). Thin layer drying model for rape-seed. *Transactions of The ASABE.*, 134 (6), 2505-2508.
- [10] Sun, D.W., and Woods, J.L. (1994). Low temperature moisture transfer characteristics of wheat in thin layers. *Transactions of the ASABE.*, 137 (6), 1919-1928.
- [11] Yaldiz, O., Ertekin, C. (2001). Thin layer solar drying of some different vegetables. *Drying Tech.*, 19, 1369-1378.
- [1] زرگری، ع. (1369) گیاهان دارویی. جلد چهارم، انتشارات دانشگاه تهران، ص 1-969.
- [2] Rechnering, K.H., (1982). *Nepeta (Labiatae) in Rechnering Flora Iranica*. Akademische Druck-U, Verlag-sanstalt, Graz-Austria., 150, 108-216.
- [3] امیدبیگی، ر. (1390) تولید و فراوری گیاهان دارویی. جلد سوم. انتشارات آستان قدس رضوی، ص 1-400.
- [4] متولی، ا.؛ مینایی، س.؛ خوش تقاضا، م.ح.؛ کاظمی، م.؛ نیکبخت، ا.م. (1389) مقایسه مدل‌های ریاضی و شبکه‌های عصبی برای پیش بینی خشک کردن دانه انار. ششمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- [5] گرجین، ش.؛ توکلی هشتجین، ت.؛ خوش تقاضا، م.ح. (1389) مدل سازی سینتیک خشک کردن لایه نازک زرشک با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی. ششمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- [6] Doymaz, I., Tugrul, N., Pala, M. (2006). Drying

- آزمایشی نیمه مداوم برای میوه‌های کوچک و سبزیجات بر اساس سینتیک خشک کردن به صورت لایه نازک. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی. دانشگاه تهران.
- [23] Aghbashlo, M., Kianmehr, M.H., Khani, S., Ghasemi, M. (2009). Mathematical modelling of thin-layer drying of carrot. *Internat Agro.*, 23 (4), 313-317.
- [24] Midilli, A., Kucuk, H., Yapar, Z. (2002). A new model for single layer drying. *Drying Tech.*, 20(7), 1503-1513.
- [25] Henderson, S.M. (1974). Progress in developing the thin layer drying equation. *Transactions of the ASABE.*, 17, 1167-1172.
- [26] Verma, L. R., Bucklin, R. A., Endan, J. B., Wraten, F. T. (1985). Effects of drying air parameters on rice drying models. *Transactions of ASAE.*, 28: 296-301.
- [27] Wang, C.Y., Singh, R.P. (1978). A single layer drying equation for rough rice. ASAE Paper No: 78-3001, ASAE, St. Joseph, MI
- [28] Yaldiz, O., Ertekin, C., Uzun, H. I. (2001). Mathematical modeling of thin layer solar drying of Sultana grapes. *Energy.*, 26(5), 457- 464.
- [29] Karathanos, V.T. (1999). Determination of water content of dried fruits by drying kinetics. *J. Food Eng.*, 39, 337-344.
- [30] Guarte, R.C. (1996). Modelling the drying behaviour of copra and development of a natural convection dryer for production of high quality copra in the Philippines. Ph.D. dissertation, 287. Hohenheim University, Stuttgart, Germany.
- [31] میرزایی قلعه، ا. (1388) مدلسازی سینتیک خشک کردن لایه نازک سه رقم زردآلو. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران.
- [32] گرجیان، ش.؛ توکلی هشتجین، ت.؛ خوش تقاضا، م.ه. (1389) مدلسازی سینتیک خشک کردن لایه نازک میوه زرشک به کمک شبکه عصبی مصنوعی. فصلنامه علوم و صنایع 586-596.
- [12] Panchariya, P.C., Popovic, D., Sharma, A.L. (2002). Thin-layer modeling of black tea drying process. *J. Food Eng.*, 52, 349-357.
- [13] Kaya, A., Aydin, O. (2009). An experimental study on drying kinetics of some herbal leaves. *Energ. Convers. Manage.*, 50, 118-124.
- [14] Doymaz, I. (2009). Thin-layer drying of spinach leaves in a convective dryer. *J. Food Process. Eng.*, 32, 112-125.
- [15] Borah, A., Hazarika, K., Khayer, S.M. (2015). Drying kinetics of whole and sliced turmeric rhizomes (*Curcuma longa L.*) in a solar conduction dryer. *Information Pro In Agri.* 2, 85-92.
- [16] Doymaz, I. (2011). Drying Of Thyme (*Thymus Vulgaris L.*) And Selection Of A Suitable Thin-Layer Drying Model. *J. Food Proce Preserv.*, 35, 458-465.
- [17] Arslan, D., Ozcan, M.M. (2008). Evaluation of drying methods with respect to drying kinetics, mineral content and colour characteristics of rosemary leaves. *Energ. Convers. Manage.*, 49, 1258-1264.
- [18] کرمی، ح. (1393). طراحی، ساخت و ارزیابی خشک‌کن هیبریدی برای گیاهان دارویی. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک بیوسیستم. دانشگاه رازی کرمانشاه.
- [19] Aoac. (1984). Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists Press. Washington, DC.
- [20] Mirzaee, E., Rafiee, S., Keyhani A. (2010). Evaluation and selection of thin-layer models for drying kinetics of apricot (cv. NASIRY). *CIGR Journal.*, 12(2), 111-116.
- [21] 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.* *J. Essen Oil Bear Plant.*, 20(4), 1131-1136.
- [22] آغباشلو، م. (1387) ساخت و ارزیابی خشک کن

غذایی. شماره 45، دوره 11، ص 1-12.

[33] Kaya, A., Aydın, O. (2009). An experimental study on drying kinetics of some herbal leaves. *Energ. Convers. Manage.*, 50, 118–124.

[34] Cremasco, M.A. (2003). Influence of fixed-bed drying on the saftrole content in essential oil from long pepper (*Piper hispidinervium* C. DC). Final report. Fapespe project. No. 00/12422-7.

[35] Rohloff, J., Dragland, S., Mordal, R., Iversev, T.H. (2005). Effect of Harvest Time and Drying Method on Biomass Production, Essential Oil Yield, and Quality of Peppermint (*Mentha piperita* L.). *Agri. Food Chem J.*, 53, 4143-4148.

[36] Blanco, M.C.S.G., Ming, L.C., Marques, M.O.M., Bovi, O.A. (2002). Drying Temperature Effects in Peppermint Essential Oil Content and Composition. *Acta Hort.* (ISHS), 56, 95-98. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.569.15>

[37] Piga, A., Usai, A., Marchetti, M., Foddai, M., Del Caro, A., Meier, H.P., Onorati, V., Vinci, F. (2007). Influence Of Different Drying Parameters On The Composition Of Volatile Compounds Of Thyme and Rosemary Cultivated In Sardinia. Proceedings of the 3<sup>rd</sup> CIGR Section VI. Int. Symposium on food. agri pro. (pp. 1-13), Napoli, Italia..

[38] عزیزی، م.؛ رحمتی، م.؛ عبادی، ت.؛ حسن زاده خیاط، م. (1388) بررسی تاثیر روش‌های مختلف خشک کردن بر سرعت کاهش وزن، میزان اسانس و درصد کامازولن گیاه دارویی بابونه. فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی معطر ایران، جلد 25، شماره 2، ص 182-192.

[39] موسویان، م.ت.ح.؛ بصیری، ش. (1387) 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.