

## بررسی مدل‌های ریاضی خشک شدن انگور بی‌دانه قرمز

محمد غلامی پرشکوهی<sup>۱\*</sup>، مجید رشیدی<sup>۱</sup>، بابک بهشتی<sup>۲</sup>

### چکیده

مدل‌های ریاضی خشک کردن محصولات در طراحی و بهینه‌سازی خشک‌کن‌ها و نیز برای کنترل مراحل عملیاتی آن‌ها مؤثر است. این مدل‌ها پدیده‌های خشک‌کردن را در یک روش واحد بدون توجه به مکانیسم‌های کنترل تشریح می‌کنند. در این تحقیق، تغییرات رطوبت انگور بی‌دانه قرمز در حین فرایند خشک شدن در شرایط مختلف با مدل‌های هندرسون و پابیس، دو جمله‌ای، لوییس، پیچ، پیچ اصلاح شده و تامسون برازش داده شد. در این آزمایش، دما در چهار سطح ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد، سرعت جا به جایی هوای گرم در سه سطح ۱، ۲ و ۳ متر بر ثانیه و روش آماده‌سازی محصول در چهار سطح بدون آماده‌سازی، آماده‌سازی با آب داغ، آماده‌سازی با کربنات پتاسیم ۵٪ و ۴٪ روغن زیتون و آماده‌سازی با هیدروکسید سدیم ۵٪/۰/۵ متغیر بود. نتایج نشان می‌دهد که مدل‌های دوجمله‌ای و پیچ تغییر یافته، برازش قابل قبولی با مقدار رطوبت در حین فرایند خشک شدن دارند.

کلمه‌های کلیدی: انگور - خشک شدن - مدل ریاضی.

۱- استادیار گروه ماشین‌های کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان.

۲- استادیار گروه ماشین‌های کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.

\* (مسئول مکاتبه) (E-Mail: Gholamihassan@Yahoo.Com)

تاریخ دریافت: پاییز ۱۳۸۷ تاریخ پذیرش: زمستان ۱۳۸۷

## فصلنامه علمی پژوهشی گیاه و زیست بوم

### مقدمه

خشک کردن محصولات کشاورزی برای نگهداری مواد غذایی اهمیت زیادی دارد. خشک کردن در هوای آزاد و نور خورشید از زمان‌های بسیار قدیم برای خشک کردن دانه‌ها، سبزیجات، میوه‌ها و سایر محصولات به کار می‌رفت. این روش به دلایل زیادی از جمله عدم توانایی برای کنترل مناسب خشک کردن، طولانی بودن زمان خشک کردن، عدم اطمینان از شرایط آب و هوایی، هزینه زیاد، فضای بزرگ، هجوم حشرات، آلوده شدن با گرد و خاک و مواد خارجی و غیره برای خشک کردن بسیاری از محصولات مناسب نیست. امروزه برای خشک کردن سریع با کیفیت بهتر که عاری از مواد زائد باشد، از دستگاه‌های خشک‌کن استفاده می‌شود که از آن میان خشک‌کن‌های هدایتی اجباری<sup>۱</sup> (خشک‌کن با جریان هوای داغ) و خشک‌کن‌های خورشیدی برای این کار مورد استفاده قرار می‌گیرند. کشمش سهم مهمی را در صادرات خشکبار کشور دارا می‌باشد (بی‌نام، ۱۳۸۰). نظر به اهمیت کشمش در صادرات، تعیین بهترین روش تهیه و تولید این محصول و عوامل مؤثر در مرغوبیت و ارتقای کیفیت آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یکی از مهم‌ترین مراحل تولید کشمش، فرایند خشک کردن انگور می‌باشد. در این مرحله رطوبت اولیه محصول به ۱۵ تا ۱۷ درصد بر پایه خشک کاهش می‌یابد (Sawheny & All, 1999). دستیابی به شرایط بهینه در فرایند خشک کردن می‌تواند اثر مهمی بر زمان فرآوری و بهبود شاخص‌های کیفی این محصول داشته باشد. پارامترهای دما، سرعت جا به جایی هوای گرم و روش آماده‌سازی محصول عوامل اصلی مؤثر بر فرایند خشک شدن انگور به شمار می‌آید و نقش مهمی در کیفیت محصول نهایی ایفا می‌کنند. مدل‌های ریاضی در طراحی جدید یا بهبود سیستم‌های خشک‌کن موجود و یا برای کنترل عمل خشک کردن مؤثر است. این مدل‌ها پدیده‌های خشک کردن را در یک روش واحد بدون توجه به مکانیسم‌های کنترل تشریح می‌کنند. این معادله‌ها برای اندازه‌گیری زمان خشک کردن و تعمیم منحنی‌های خشک کردن به کار می‌روند. مدل‌های مختلفی برای خشک کردن بسیاری از محصولات ارائه شده است که از آن جمله مدل‌های پیچ<sup>۲</sup> و دو جمله‌ای<sup>۳</sup> است که توسط Yaldiz & All (۲۰۰۱) برای خشک کردن انگور رقم سلطانا<sup>۴</sup> به کمک خشک‌کن خورشیدی ارائه شده است.

1- Forced (air) Convection  
2- Page  
3- Two- term  
4- Sultana

Sawheny & All (۱۹۹۹) به بررسی روند خشک‌شدن تک لایه انگور بی‌دانه تامسون<sup>۱</sup> پرداختند. ویژگی خشک‌شدن در محدوده دمایی ۸۰ - ۵۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت ۲/۵ - ۱ متر بر ثانیه بررسی شد. بیش از سه مدل مورد بررسی قرار گرفت و مدل پیچ به عنوان بهترین مدل پیشنهاد شد.

Pangavhane & All (۱۹۹۹) نیز مدل پیچ را مناسب‌ترین مدل برای خشک‌کردن انگور تعیین کردند. آزمایش‌ها در یک خشک‌کن با دمای هوای ۶۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت جابجایی ۰/۵ متر بر ثانیه و تیمارهای آماده‌سازی مختلف انجام شد. هدف از این تحقیق تعیین مدل‌های ریاضی و منحنی تغییرات رطوبت در حین خشک‌شدن انگور بی‌دانه قرمز در شرایط مختلف می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها بر روی انگور بی‌دانه قرمز انجام شد، انگور مورد نیاز از منطقه‌ی تاکستان قزوین تهیه شد. رطوبت اولیه انگور در حدود ۶۸-۷۲ درصد بر پایه‌ی تر و قطر دانه‌های آن در حدود ۱/۵-۱/۲ سانتی‌متر بود، درصد قند متوسط انگور نیز ۲۶/۵۲ درصد بود، انگورها در سردخانه و دمای حدود  $1 \pm 4$  درجه سانتی‌گراد در مدت آزمایش نگهداری شدند.

برای انجام عملیات خشک کردن از سه عدد خشک‌کن آزمایشگاهی ثابت (از نوع کیلن<sup>۲</sup>) استفاده شد. این خشک‌کن‌ها ساخت کشور ایران بوده و در مجتمع تحقیقاتی عصر انقلاب (سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران) قرار دارند (شکل ۱). خشک‌کن‌های مورد استفاده برای خشک کردن میوه‌ها و سبزیجات مناسب بوده و دارای یک صفحه مشبک می‌باشند که جریان هوا به صورت متقاطع و از زیر به محصول در حال خشک‌شدن برخورد می‌کند. ابعاد هر کدام از خشک‌کن‌ها عبارت است از طول و عرض ۴۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۶۵ سانتی‌متر. قسمت نمونه‌گیر دارای حدود ۱۰۰ سانتی‌متر فاصله از کف دستگاه و حدود ۶۰ سانتی‌متر فاصله تا سقف خشک‌کن بود. هر کدام از این خشک‌کن‌ها دارای دو منبع حرارتی مستقل می‌باشند که یکی به وسیله‌ی کامپیوتر و دیگری به صورت دستی کنترل می‌شود. جریان هوا توسط یک دمنده که در زیر المنت‌ها قرار دارد کنترل می‌شود. میزان هوا دهی این دمنده‌ها در محدوده‌ی ۱۸۰-۲۲۰ متر مکعب بر ساعت توسط یک دیمر قابل تنظیم می‌باشد. در فاصله‌ای حدود ۴۰ سانتی‌متر بالاتر از ظرف نمونه، دریچه‌هایی برای خروج هوای مرطوب تعبیه شده است. برای

1- Thompson Seedless  
2- Kiln Dryer

اندازه‌گیری دما دو حسگر دما در قسمت زیرین و رویی سطح حامل نمونه تعبیه شده است و دمای هوا را قبل و بعد از تماس با نمونه‌های آزمایش اندازه‌گیری می‌کند.

برای اندازه‌گیری سرعت جابجایی هوای گرم در خشک‌کن از دستگاه سرعت‌سنج هوا<sup>۱</sup> مدل AM-4201 شرکت لوترون<sup>۲</sup> استفاده شد. این دستگاه قابلیت اندازه‌گیری سرعت عبور هوا تا ۲۰ متر بر ثانیه را دارا می‌باشد. برای تنظیم سرعت هوای ورودی، ابتدا پروانه دستگاه سرعت سنج هوا در محل عبور هوا قرار داده و سرعت عبور هوا توسط دستگاه قرائت شد. پس از آن با استفاده از دایمر مربوطه به دمنده‌ی دستگاه خشک‌کن، سرعت عبور هوا به میزان دلخواه تنظیم می‌شد. با استفاده از دماسنج و رطوبت‌سنج مدل HT-3003 شرکت لوترون در طول آزمایش‌ها، تغییرات دمای آزمایشگاه و رطوبت نسبی هوای محیط اندازه‌گیری شد.

وسایل آزمایشگاهی مورد نیاز علاوه بر وسایل معمول، عبارت بودند از آون خلاء با قابلیت ایجاد فشار مطلق تا ۱۵۰ میلی‌بار، دماسنج جیوه‌ای، پتری‌دیش، ظروف پلاستیکی و هیتر برقی و مواد شیمیایی مورد استفاده، کربنات پتاسیم، هیدروکسید سدیم و روغن زیتون.

در این تحقیق، تیمارهای آزمایش شامل، آماده‌سازی در ۴ سطح، دما در ۴ سطح و سرعت هوا در ۳ سطح بود. تیمارهای آماده‌سازی به کار گرفته شده عبارتند از:

۱- تیمار شاهد (بدون آماده‌سازی) (P<sub>1</sub>).

۲- تیمار آب داغ در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد و زمان ۱۵۰ ثانیه (P<sub>2</sub>)، (رامهرمزیان، ۱۳۷۹).

۳- تیمار کربنات پتاسیم ۵٪ و ۴٪ روغن زیتون در دمای محیط و زمان ۵ دقیقه (P<sub>3</sub>) (ضرابی، ۱۳۷۷).

۴- تیمار هیدروکسید سدیم ۵٪ در دمای ۹۳ درجه سانتی‌گراد و زمان ۵ ثانیه و شستشو با آب سرد ۵ دقیقه

(P<sub>4</sub>) (Pangavhane & All, 1999).

متغیر دمای خشک‌کن در چهار سطح ۵۰ (T<sub>1</sub>)، ۶۰ (T<sub>2</sub>)، ۷۰ (T<sub>3</sub>) و ۸۰ (T<sub>4</sub>) درجه سانتی‌گراد و متغیر سرعت هوا نیز دارای سه سطح ۱ (V<sub>1</sub>)، ۲ (V<sub>2</sub>) و ۳ (V<sub>3</sub>) متر بر ثانیه بود. پس از آماده‌سازی، انگورها به مدت ۲ ساعت در دمای محیط قرار داده شدند تا به حالت تعادل با محیط برسند سپس حدود ۱۲۵-۱۲۰ گرم از هر نمونه را بر روی سینی‌های خشک‌کن به صورت تک لایه قرار داده و سینی‌ها در داخل خشک‌کن گذاشته شدند. عملیات داده‌برداری (وزن‌کشی نمونه‌ها) در فواصل ۳۰ دقیقه توسط یک ترازوی دیجیتال با دقت  $\pm 0.01$  گرم انجام و

1- Anemometer

2- Lutron

نتایج آن از ابتدا تا انتهای فرآیند ثبت شد. این عمل تا زمانی که رطوبت محصول به حدود ۱۵ درصد برسد ادامه می‌یافت. آزمایش‌ها در سه تکرار (طرح آماری کاملاً تصادفی در قالب فاکتوریل) انجام شد و از خشک‌کن آزمایشگاهی ثابت استفاده شد.

پس از پایان آزمایش خشک‌کردن برای هر تیمار در سه تکرار اقدام به نمونه‌گیری شده و نمونه‌ها با ترازوی گفته شده وزن شدند. سپس با استفاده از آون تحت خلاء در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱۵۰ میلی‌بار به مدت ۸ ساعت قرار داده شدند (Tsami & All, 1990). پس از خشک شدن کامل، نمونه‌ها دوباره وزن شدند سپس با استفاده از رابطه ۱ رطوبت تعادلی نمونه بر مبنای خشک تعیین شد. با میانگین‌گیری از سه رطوبت به‌دست آمده، رطوبت تیمار آزمایش در پایان فرآیند آزمایش تعیین شد. پس از تعیین رطوبت تیمار در پایان آزمایش، وزن خشک تیمار از رابطه ۱ محاسبه شد و سپس با استفاده از همان رابطه با در دست داشتن وزن تیمار آزمایش در فواصل زمانی ذکر شده مقدار رطوبت در زمان‌های بالا به دست آمد.

$$M_e = \frac{M_w - M_d}{M_d} \quad (1)$$

پس از انجام مرحله خشک‌کردن برای بررسی تغییرات رطوبت در زمان خشک‌کردن از مدل‌های نیمه‌تئوری<sup>۱</sup> مطابق با جدول ۱ برای برازش داده‌های تجربی مورد استفاده قرار گرفت (Yaldiz & All, 2001).  
 $a, b, k, k_1, k_2$  و  $n$  ضرایب مدل،  $t$  زمان (دقیقه) و  $MR$  رطوبت بی بعد مطابق رابطه ۲ می‌باشد:

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

علاوه بر مدل‌های مذکور، مدلی که از تغییرات مدل پیچ به دست آمده بود نیز با آن‌ها مقایسه شد. این مدل تا کنون در مراجع استفاده نشده است و به صورت رابطه‌ی ۳ می‌باشد:

$$MR = \exp(-kt^n) - a \quad (3)$$

برای برازش داده‌ها روش رگرسیون غیر خطی به کار گرفته شد و به کمک نرم‌افزارهای آماری استاتستیکا<sup>۱</sup> و اکسل<sup>۲</sup> مدل‌های مذکور با داده‌ها برازش داده شدند. برای تعیین مناسب بودن برازش علاوه بر ضریب تعیین ( $R^2$ ) از سه شاخص دیگر، به شرح جدول ۲ استفاده شد. هر چه مقدار  $R^2$  بیش‌تر و مقادیر شاخص‌های دیگر کم‌تر باشد نشان دهنده‌ی برازش بهتر می‌باشد.

## نتایج

منحنی تغییرات رطوبت و آهنگ خشک شدن انگور در دماها و سرعت هوا و آماده‌سازی‌های مختلف تعیین شد. به عنوان نمونه تغییرات رطوبت انگور بیدانه قرمز در روش آماده‌سازی  $P_3$  و سرعت جابجایی هوای ۲ متر بر ثانیه در شکل ۲ نشان داده شده است و شکل ۳ تغییرات آهنگ خشک شدن را در همان آماده‌سازی و همان سرعت هوا نشان می‌دهد.

## بحث

نتایج به دست آمده از برازش مدل‌های مورد آزمون در تمامی تیمارهای آزمایش نشان می‌دهد که دو مدل دو جمله‌ای و پیچ تغییر یافته، برازش قابل قبولی با مقدار رطوبت در حین فرآیند خشک شدن در تیمارهای مختلف آزمایش دارند. مشابه این نتیجه توسط محققان دیگر نیز گزارش شده بود (Alverza & Leges, 1986; Pangavhane & All, 1999). پارامترهای مدل‌های ارایه شده برای تمامی تیمارها به همراه شاخص‌های تعیین شده در جدول‌های ۳ و ۴ آمده است و بر اساس نوع مدل تفکیک شده‌اند. همان‌طور که در جدول‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است ضرایب تعیین تمامی مدل‌ها، بالای ۹۹٪ و مقدار  $P$  نیز زیر ۱۰٪ می‌باشد که آن نشان دهنده‌ی برازش بسیار خوب از لحاظ آماری است. به عنوان نمونه برازش مدل پیچ تغییر یافته با داده‌های آزمایش خشک کردن در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد، روش آماده‌سازی  $P_4$  و سرعت جابجایی هوا ۲ متر بر ثانیه در شکل ۴ آمده است. همچنین برازش مدل دو جمله‌ای با داده‌های آزمایش خشک کردن در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد، روش آماده‌سازی  $P_2$  و سرعت جابجایی هوا ۲ متر بر ثانیه در شکل ۵ آمده است.

1- Statistica  
2- Excel

در پایان می‌توان گفت در این تحقیق مدل‌های مختلف تغییرات رطوبت در حین خشک کردن انگور بی‌دانه قرمز در شرایط مختلف مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته و از بین مدل‌های تحت بررسی دو مدل پیچ تغییر یافته و دوجمله‌ای بهترین برازش را نشان دادند.

#### نمادها

$M_d$  = وزن نمونه خشک (kg)

$M$  = مقدار رطوبت (d.b)

$M_o$  = رطوبت اولیه (d.b)

$M_e$  = رطوبت تعادلی (d.b)

$MR$  = رطوبت بی بعد

$M_w$  = وزن نمونه تر (kg)

$T$  = دما ( $^{\circ}K$ )

جدول ۱- مدل های مورد استفاده در تحقیق برای خشک کردن داده ها

مرجع	معادله	نام مدل
Henderson and Pabis, 1961 (Vazquez & All, 2000)	$MR = a \exp(-kt)$	هندرسون و پابیس (Henderson and Pabis)
Henderson, 1974 (Vazquez & All, 2000)	$MR = a \exp(-k_1t) + b \exp(-k_2t)$	مدل دوجمله ای (The two-term)
Bruce, 1985 (Vazquez & All, 2000)	$MR = \exp(-kt)$	لویس (Lewis)
Page, 1949 (Vazquez & All, 2000) Cited in Bruce 1985	$MR = \exp(-kt^n)$	پیج (Page)
Overhults & All, 1973 (Vazquez & All, 2000)	$MR = \exp(-kt)^n$	پیج اصلاح شده (Modified Page)
Thompson et al, 1978 (Vazquez et al., 2000)	$t = a \ln MR + b(\ln MR)^2$	تامسون (Thompson)

جدول ۲- شاخص های ارزیابی مدل های به کار برده شده در تحقیق

مرجع	رابطه	نام شاخص
San Martin & All, 2001	$P = \frac{100}{N} \sum \left  \frac{X_p - X_o}{X_o} \right $	مقدار P (P value)
San Martin & All, 2001	$\chi^2 = \frac{1}{N-n} \sum (X_e - X_o)^2$	مربع کای (Chi square)
San Martin & All, 2001	$R_{MSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (X_e - X_o)^2}$	ریشه میانگین مربعات خطا (Root mean square error)

جدول ۳- برازش داده های حاصل از تیمارهای آزمایش انگور بی دانه قرمز با مدل پیج تغییر یافته

مدل $MR = \exp(-kt^n) - a$							تیمار
$R_{MSE} \times 10^3$	$X^2 \times 10^6$	P(%)	R <sup>2</sup>	a	n	k	
۱۰/۹۲	۱۲۸/۷	۸/۷۹	۰/۹۹۸۰	۰/۰۱۸	۰/۸۳۱	۰/۰۰۴	T <sub>1</sub> V <sub>2</sub> P <sub>2</sub>
۱۵/۱۲	۲۴۶/۴	۸/۶۱	۰/۹۹۸۰	۰/۰۱۰	۰/۸۳۲	۰/۰۰۴	T <sub>1</sub> V <sub>1</sub> P <sub>2</sub>
۱۰/۲۱	۱۰۳	۸/۷۶	۰/۹۹۸۵	۰/۰۱۵	۱/۰۴۶	۰/۰۰۱	T <sub>1</sub> V <sub>2</sub> P <sub>3</sub>
۱۱/۳۹	۱۲۵/۴	۸/۶۶	۰/۹۹۸۲	۰/۰۱۵	۱/۰۰۷	۰/۰۰۱	T <sub>1</sub> V <sub>1</sub> P <sub>3</sub>
۳/۹۶	۱۸/۳۳	۲/۵۸	۰/۹۹۹۸	-۰/۰۰۹	۰/۹۲۶	۰/۰۰۵	T <sub>1</sub> V <sub>3</sub> P <sub>4</sub>
۸/۵۵	۸۲/۶۱	۵/۸۷	۰/۹۹۸۹	-۰/۰۲۸	۰/۹۴۹	۰/۰۰۴	T <sub>1</sub> V <sub>1</sub> P <sub>4</sub>
۱۷/۸۰	۳۳۸/۶	۹/۹۱	۰/۹۹۶۱	۰/۰۲۰	۰/۱۴۱	۰/۰۰۱	T <sub>2</sub> V <sub>3</sub> P <sub>1</sub>

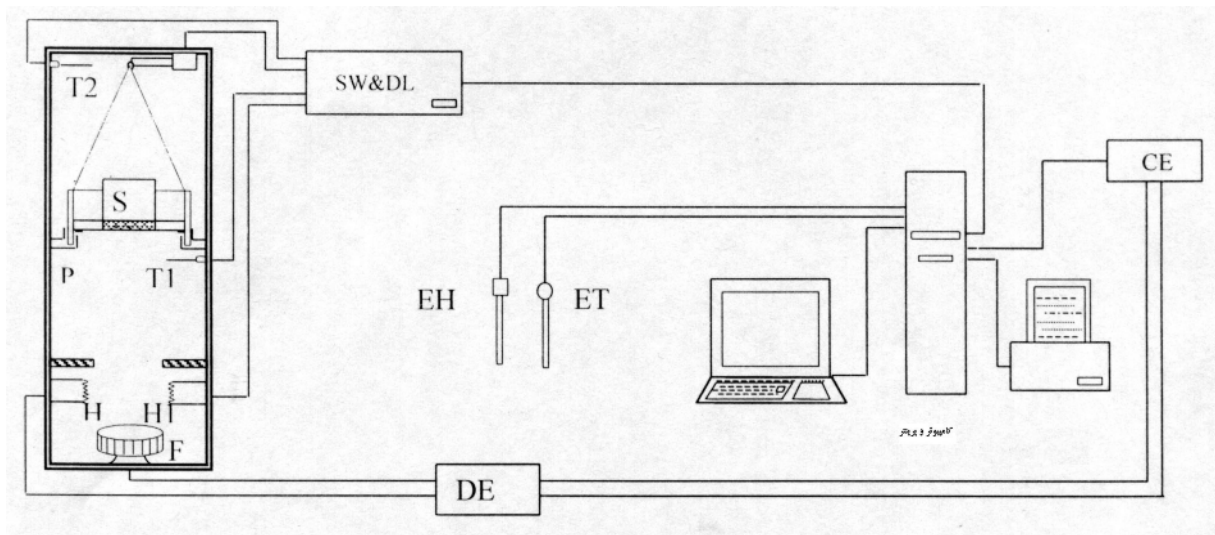


ادامه جدول ۳

۲۵/۳۵	۶۸۴/۸	۱۲/۵۷	۰/۹۹۱۹	۰/۰۳۸	۱/۱۵	۰/۰۰۱	T <sub>2</sub> V <sub>2</sub> P <sub>1</sub>
۲۳/۱	۵۶۶/۷	۱۰/۴۹	۰/۹۹۲۶	۰/۰۳۹	۱/۰۹۲	۰/۰۰۱	T <sub>2</sub> V <sub>1</sub> P <sub>1</sub>
۱۲/۹۵	۱۸۵/۷	۴/۸۸	۰/۹۹۷۵	۰/۰۴۲	۰/۹۱۸	۰/۰۰۵	T <sub>2</sub> V <sub>3</sub> P <sub>2</sub>
۵/۱۳	۲۹	۲/۴۹	۰/۹۹۹۶	۰/۰۲۲	۰/۹۴۴	۰/۰۰۴	T <sub>2</sub> V <sub>1</sub> P <sub>2</sub>
۱۰/۲۱	۱۰۶/۳۱	۸/۱۳	۰/۹۹۸۹	۰/۰۲۳	۰/۲۶۷	۰/۰۰۱	T <sub>2</sub> V <sub>3</sub> P <sub>3</sub>
۱۲/۹۴	۱۹۱	۹/۹۶	۰/۹۹۸۲	۰/۰۲۸	۱/۲۳۹	۰/۰۰۱	T <sub>2</sub> V <sub>2</sub> P <sub>3</sub>
۱۲/۱۷	۱۶۸/۲	۷/۷۱	۰/۹۹۸۳	۱/۰۳۳	۱/۲۳۱	۰/۰۰۱	T <sub>2</sub> V <sub>1</sub> P <sub>3</sub>
۵/۲۱	۳۱/۶۶	۳/۳۸	۰/۹۹۹۶	۰/۰۱۵	۰/۹۱۵	۰/۰۰۸	T <sub>2</sub> V <sub>3</sub> P <sub>4</sub>
۳/۴۸	۱۴	۲/۳۱	۰/۹۹۹۸	۰/۰۰۳	۰/۹۳۴	۰/۰۰۸	T <sub>2</sub> V <sub>2</sub> P <sub>4</sub>
۹/۳۲	۱۰۰	۷/۱۵	۰/۹۹۹۰	۰/۰۲۱	۱/۲۱۵	۰/۰۰۱	T <sub>3</sub> V <sub>3</sub> P <sub>1</sub>
۷/۳	۶۰/۹۵	۲/۹۰	۰/۹۹۹۴	۰/۰۲۴	۰/۲۶۷	۰/۰۰۱	T <sub>3</sub> V <sub>2</sub> P <sub>1</sub>
۱۲/۱۶	۱۶۸/۲	۸/۴۴	۰/۹۹۸۲	۰/۰۳۵	۱/۱۷۴	۰/۰۰۱	T <sub>3</sub> V <sub>1</sub> P <sub>1</sub>
۵/۴۸	۳۶	۳/۷۴	۰/۹۹۹۶	-۰/۰۰۳	۱/۰۶۸	۰/۰۰۴	T <sub>3</sub> V <sub>3</sub> P <sub>2</sub>
۴/۸۳	۲۸	۳/۲۸	۰/۹۹۹۷	-۰/۰۰۲	۱/۰۲۰	۰/۰۰۵	T <sub>3</sub> V <sub>2</sub> P <sub>2</sub>
۴/۴۱	۲۳/۱	۳/۶۵	۰/۹۹۹۸	-۰/۰۰۲	۱/۰۲۹	۰/۰۰۵	T <sub>3</sub> V <sub>1</sub> P <sub>2</sub>
۷/۲۴	۴۶/۶۱	۴/۶۱	۰/۹۹۹۴	-۰/۰۰۳	۱/۲۳۱	۰/۰۰۲	T <sub>3</sub> V <sub>3</sub> P <sub>3</sub>
۸/۴	۸۵/۷۱	۶/۲۶	۰/۹۹۹۲	-۰/۰۱۰	۱/۲۵۸	۰/۰۰۲	T <sub>3</sub> V <sub>2</sub> P <sub>3</sub>
۹/۱۳	۱۰۰	۷/۸۵	۰/۹۹۹۱	-۰/۰۱۰	۱/۲۲۳	۰/۰۰۲	T <sub>3</sub> V <sub>1</sub> P <sub>3</sub>
۴/۴۷	۲۵/۴۵	۳/۶۶	۰/۹۹۹۸	۰/۰۰۱	۱/۰۹۴	۰/۰۰۵	T <sub>3</sub> V <sub>3</sub> P <sub>4</sub>
۳/۹۵	۱۹/۲۳	۳/۱۶	۰/۹۹۹۸	-۰/۰۰۶	۱/۰۷۵	۰/۰۰۵	T <sub>3</sub> V <sub>2</sub> P <sub>4</sub>
۴/۲۳	۲۱/۷۱	۴/۱۵	۰/۹۹۹۸	-۰/۰۰۵	۱/۰۸۴	۰/۰۰۵	T <sub>3</sub> V <sub>1</sub> P <sub>4</sub>
۷/۴۲	۷۳/۳	۳/۱۲	۰/۹۹۹۴	۰/۰۱۲	۱/۲۱۳	۰/۰۰۳	T <sub>4</sub> V <sub>3</sub> P <sub>1</sub>
۶/۱۸	۵۱	۳/۲۵	۰/۹۹۹۶	۰/۰۰۶	۱/۲۷۴	۰/۰۰۲	T <sub>4</sub> V <sub>2</sub> P <sub>1</sub>
۳/۲۵	۱۳/۷	۲/۰۳	۰/۹۹۹۹	-۰/۰۰۲	۱/۲۲۲	۰/۰۰۳	T <sub>4</sub> V <sub>1</sub> P <sub>1</sub>
۴	۲۲/۸۶	۲/۱	۰/۹۹۹۸	۰/۰۰۴	۱/۱۲۱	۰/۰۰۶	T <sub>4</sub> V <sub>3</sub> P <sub>2</sub>
۶/۹۴	۶۶/۲۵	۴/۶۸	۰/۹۹۹۵	۰/۰۰۵	۱/۰۴۳	۰/۰۰۸	T <sub>4</sub> V <sub>2</sub> P <sub>2</sub>
۴/۵۷	۲۷/۸۹	۲/۶۸	۰/۹۹۹۸	۰/۰۰۹	۱/۱۲۴	۰/۰۰۴	T <sub>4</sub> V <sub>1</sub> P <sub>2</sub>
۷/۲۱	۷۴/۲۸	۴/۱۶	۰/۹۹۹۵	۰/۰۱۰	۱/۲۱۳	۰/۰۰۳	T <sub>4</sub> V <sub>3</sub> P <sub>3</sub>
۷/۸۱	۸۷/۱۴	۵/۴۳	۰/۹۹۹۴	۰/۰۰۱	۱/۲۸۲	۰/۰۰۳	T <sub>4</sub> V <sub>2</sub> P <sub>3</sub>
۶/۲۵	۵۳/۷۵	۰/۰۴۱	۰/۹۹۹۶	۰/۰۰۴	۱/۱۷۹	۰/۰۰۴	T <sub>4</sub> V <sub>1</sub> P <sub>3</sub>
۴/۵۳	۳۰/۸۳	۳/۰۷	۰/۹۹۹۸	-۰/۰۰۷	۱/۱۲	۰/۰۰۷	T <sub>4</sub> V <sub>3</sub> P <sub>4</sub>
۵/۱۰	۵۹/۶۷	۳/۳	۰/۹۹۹۶	-۰/۰۱۰	۱/۱۳۳	۰/۰۰۷	T <sub>4</sub> V <sub>2</sub> P <sub>4</sub>
۵/۱۶	۳۸	۳/۴۴	۰/۹۹۹۷	<۰/۰۰۱	۱/۱۲۰	۰/۰۰۶	T <sub>4</sub> V <sub>1</sub> P <sub>4</sub>

جدول ۴- برازش داده‌های حاصل از تیمارهای آزمایش انگور بی‌دانه قرمز با مدل دو جمله‌ای

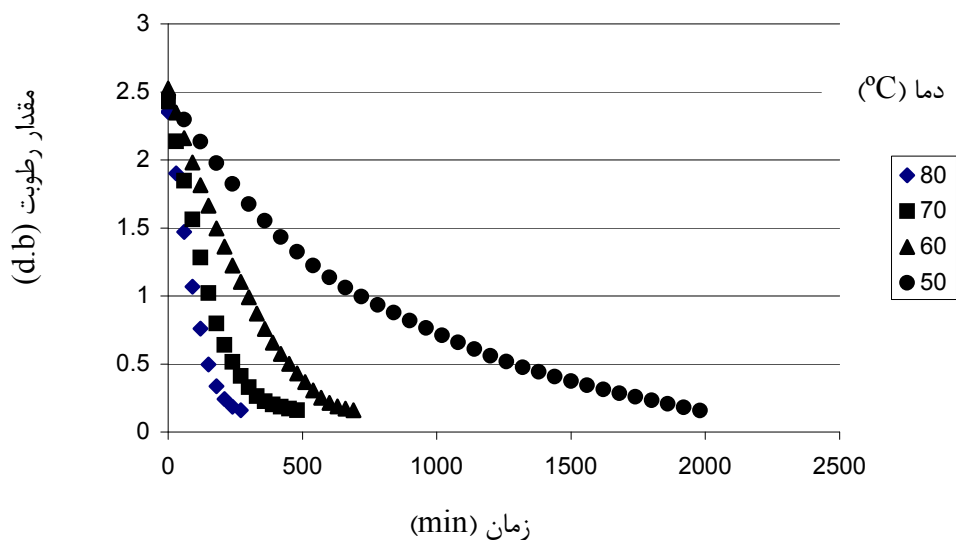
مدل $MR = a \exp(-k_1 t) + b \exp(-k_2 t)$								تیمار
$R_{MSE} \times 10^3$	$X^2 \times 10^6$	$P(\%)$	$R^2$	$k_2$	$b$	$k_1$	$a$	
۱۰/۳۵	۱۱۳/۴	۱/۶۳	۰/۹۹۹۶	۰/۰۰۲	۱/۱۶	۰/۰۰۱	۱/۲۱	$T_1 V_3 P_1$
۶/۲۵	۴۱/۳	۳/۲۴	۰/۹۹۹۳	۰/۰۰۱	۰/۷۷۷	۰/۰۰۳	۰/۲۲۸	$T_1 V_2 P_1$
۸/۶۴	۷۸/۸۳	۳/۷۴	۰/۹۹۸۸	۰/۰۰۱	۰/۷۹۸	۰/۰۰۳	۰/۲۱۳	$T_1 V_1 P_1$
۱۲	۱۶۰/۳	۹/۲۷	۰/۹۹۷۶	۰/۰۰۱	۰/۷۸۶	۰/۰۰۷	۰/۲۲۱	$T_1 V_3 P_2$
۱۴/۸۳	۲۵۳/۸	۱۰/۸۸	۰/۹۹۷۶	۰/۰۰۳	-۱۰/۳۲	۰/۰۰۳	۱۱/۲۹	$T_1 V_3 P_3$
۳/۶۹	۱۶/۳	۲/۸۶	۰/۹۹۹۸	۰/۰۰۴	۰/۷۵۷	۰/۰۰۱	۰/۲۴۵	$T_1 V_2 P_4$
۱/۹۴	۴/۲۹	۱/۰۳	۰/۹۹۹۹	۰/۰۱۶	۰/۱۷۲	۰/۰۰۳	۰/۸۲۸	$T_2 V_2 P_2$
۲/۰۸	۵/۲۶	۱/۳۶	۰/۹۹۹۹	۰/۰۱۵	۰/۰۸	۰/۰۰۵	۰/۹۲۳	$T_2 V_1 P_4$



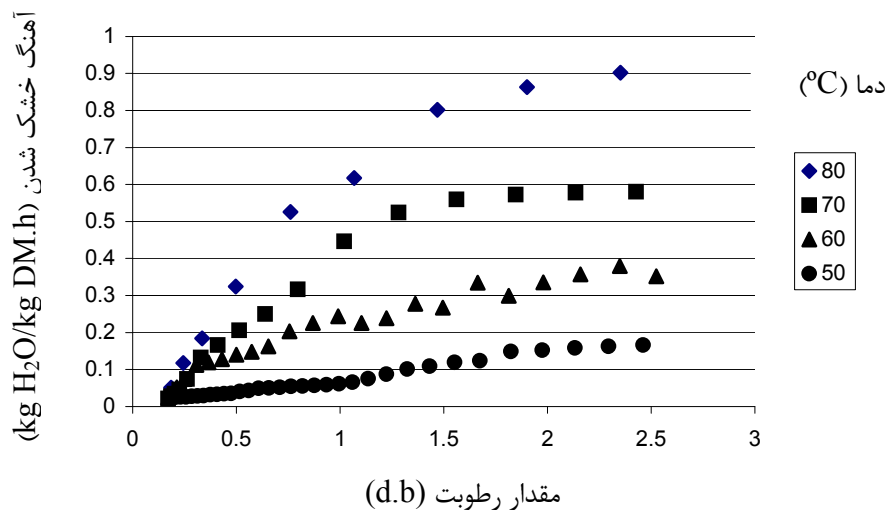
شکل ۱- طرح خشک کن آزمایشگاهی (ضرابی، ۱۳۷۷)

در این شکل:

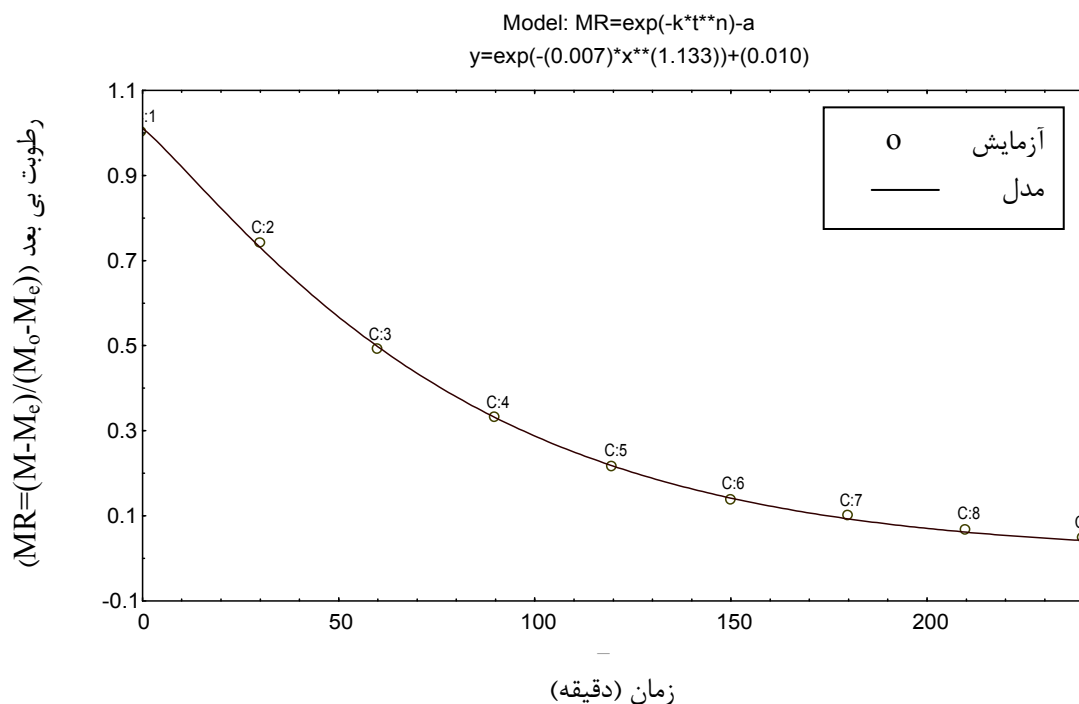
(F) فن. (H) مولد گرما. (S) صفحه مشبک حامل نمونه. ( $T_1$ ) دماسنج قبل از صفحه مشبک حامل نمونه. ( $T_2$ ) دماسنج بعد از صفحه مشبک حامل نمونه. (SW) کلیدهای فرمان. (DL) ثبت داده‌ها (دیتالاگر). (CE) سیستم کنترل الکترونیکی. (DE) سیستم راه‌انداز الکترونیکی. (EH) حسگر اندازه‌گیری رطوبت محیط. (ET) حسگر اندازه‌گیری دمای محیط.



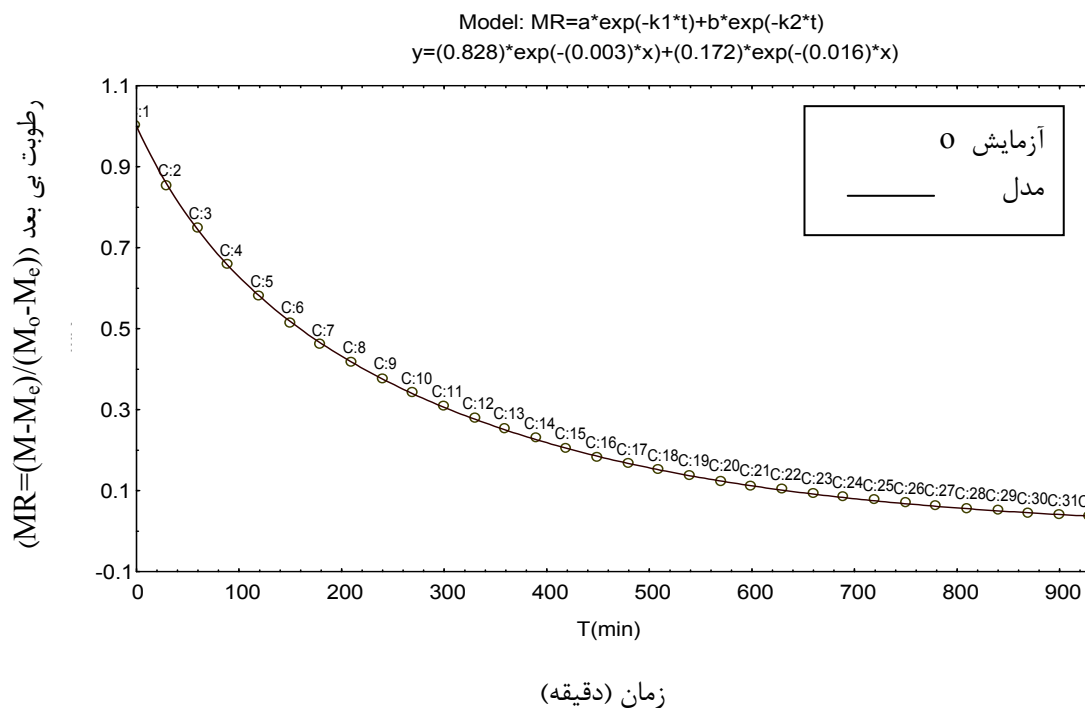
شکل ۲- روند تغییرات رطوبت انگور بی دانه قرمز ناشی از تغییرات دما در روش آماده سازی  $P_3$  و سرعت جابجایی هوای ۲ متر بر ثانیه



شکل ۳- روند تغییرات آهنگ خشک شدن انگور بی دانه قرمز ناشی از تغییرات دما در روش آماده سازی  $P_3$  و سرعت جابجایی هوای ۲ متر بر ثانیه



شکل ۴- برازش مدل پیچ تغییر یافته با داده‌های آزمایش خشک کردن انگور بی دانه قرمز در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد، روش آماده سازی  $P_4$  و سرعت جابجایی هوا ۲ متر بر ثانیه



شکل ۵- برازش مدل دو جمله‌ای با داده‌های آزمایش خشک کردن انگور بی دانه قرمز در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد، روش آماده سازی  $P_2$  و سرعت جابجایی هوا ۲ متر بر ثانیه

- بی‌نام، ۱۳۸۰، آمارنامه کشاورزی سال زراعی ۱۳۸۱-۱۳۸۲، وزارت جهاد کشاورزی، تهران.
- رامهرمزیان، ش.، ۱۳۷۹، تعیین اثرات تیمارهای آماده‌سازی و پارامترهای فرآیند خشک کردن بر روی برخی شاخص‌های کیفی کشمش، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.
- ضرابی، م.، ۱۳۷۷، تعیین پارامترهای طراحی در خشک‌کردن انگور، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده مهندسی شیمی، صفحه ۱۰-۱۴۵.
- Alverza, P.L. and Leges, p.** 1986. A semi-theoretical model for the drying of Thompson seedless grape. *Drying Technology*, 4 (1): 1-17.
- Pangavhane, D.R., Sawheny, R.L. and Saravardia, P.N.** 1999. Effect of various dipping pretreatments on drying kinetics of Thompson seedless grapes. *Journal of Food Engineering*, 39(2): 211-216.
- San Martin, M. B., Mate, J. I, Fernandez, T. and Virseda, P.** 2001. Modeling adsorption equilibrium moisture characteristics of rough rice. *Drying Technology*, 19 (3&4): 681-690.
- Sawheny, R.L., Pangavhane, D.R. and Saravardia, P.N.** 1999. Drying kinetics of single layer Thompson seedless grape under heated ambient air conditions. *Drying Technology*, 17(1/2): 215-236.
- Tsami, E., Marinos-Kouris, D. and Maroulis, Z.B.** 1990. Water sorption isotherms of Raisins, Currants, Figs, Prunes and Apricots. *Journal of Food Science*, 55(6): 1594-1597.
- Vazquez, G. Chenlo, R. and Costoyas, A.** 2000. Effect of various treatments on the drying kinetics of Muscatel grape. *Drying Technology*, 18(9): 2131-2144.
- Yaldiz, O., Ertikin, C. and Uzun, H.I.** 2001. Mathematical modeling of thin layer solar drying of Sultana grape. *Energy*, 26: 457-465.