

# بررسی سینتیک خشک شدن پسته رقم کله قوچی در خشک کن چرخشی هوشمند جدید تحت خلاء

سجاد نادری پاریزی<sup>۱\*</sup>، بابک بهشتی<sup>۲</sup>، امیدرضا روستاپور<sup>۳</sup>

- ۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اقلید.  
 ۲- استادیار گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران.  
 ۳- استادیار موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس.  
 (تاریخ دریافت: ۹۲/۴/۴ تاریخ پذیرش: ۹۳/۲/۹)

## چکیده

پسته بعنوان یک کالای ارزشمند نقش مهمی در صادرات غیر نفتی کشور ایران را ایفا می‌کند. نحوه خشک کردن تاثیر قابل توجهی بر کیفیت نهایی محصول خشک شده دارد. روش‌های خشک کردن پسته متفاوت هستند ولی همواره نیاز به روشی سریع، بهداشتی و مطمئن احساس می‌شود. در این تحقیق اثر پارامترهای دما در سه سطح ۴۰، ۵۰ و ۶۰°C و سرعت چرخش در سه سطح ۵، ۱۰ و ۱۵ دور در دقیقه بر درصد کاهش زمان خشک شدن یک رقم پسته متداول ایرانی (کله قوچی) در خشک کن چرخشی هوشمند تحت خلاء بررسی شد. این خشک کن شامل یک استوانه دوار است که در محیط خلاء و با به کارگیری یک گرم کن دوقلوی برقی فرآیند خشک کردن پسته را انجام می‌دهد. در این راستا منحنی‌های سینتیک خشک شدن تعیین و داده‌های آزمایش با استفاده از نرم افزار SPSS 19 تجزیه و تحلیل آماری شد. بر اساس نتایج به دست آمده، دما و سرعت چرخش تاثیر معنی‌داری بر مدت زمان خشک شدن داشته است. کمترین زمان خشک شدن در دمای ۶۰°C و سرعت دورانی ۱۵rpm همزن معادل با ۱۸۵ دقیقه و بیشترین زمان در دمای ۴۰°C و سرعت دورانی ۵rpm معادل با ۳۲۵ دقیقه بوده است. افزایش دما باعث افزایش سرعت خشک شدن در سطح معنی داری ۱٪ شده است، بطوریکه افزایش دما از ۴۰ به ۵۰°C باعث کاهش ۲۵٪ و افزایش دما از ۴۰ به ۶۰°C باعث کاهش ۳۹٪ زمان خشک شدن می‌شود.

**کلید واژگان:** خشک کن، چرخشی، خلاء، سینتیک خشک شدن، درصد کاهش زمان خشک شدن

\* مسئول مکاتبات: sajjadnaderip@yahoo.com

## ۱- مقدمه

سرزمین ایران نه تنها منشا اصلی پسته به شمار می‌آید، بلکه کشت آن از دیرباز رایج بوده است بطوریکه در سال ۱۳۸۸، ایران بزرگترین تولید کننده و صادر کننده پسته در جهان بوده است [۱]. فرآیند خشک کردن تاثیر قابل توجهی بر کیفیت محصول خشک شده و قیمت آن دارد. محصولاتی که در درجه حرارت پایین تر خشک می‌شوند، خاصیت انبارماني بهتری دارند اگرچه زمان خشک کردن آنها طولانی تر است [۲]. مصرف روزافزون پسته، ارزش غذایی بالا، رشد تولید و صادرات و همچنین سهم ایران در تولید جهانی آن اهمیت این ماده غذایی را آشکار می‌کند. فرآوری مکانیزه پسته چه پیش از برداشت و چه پس از آن تاثیر بسزایی در کیفیت، ارزش غذایی، بازار رقابت و تجارت جهانی این محصول دارد [۳].

گازر و همکاران در تحقیق خود، اثرات متغیرهای دما و ضخامت لایه محصول را بر زمان خشک شدن پسته بررسی کردند و دریافتند که افزایش دما از ۶۰ به ۷۵°C باعث کاهش ۳۰ درصدی زمان خشک شدن می‌شود [۴].

توکلی پور با تحقیقی نشان داد که افزایش دما از ۴۰ به ۷۰°C سبب کاهش زمان خشک شدن پسته تا ۳۶ درصد می‌شود. همچنین وی نتیجه گیری کرد که اگر عملیات خشک کردن در خلاء انجام شود، عدد پراکسید تغییرات معنی داری نمی‌کند [۵].

کاشانی نژاد و مرتضوی با انجام آزمایشاتی اثر تغییرات دما و سرعت جریان هوا را بر زمان و شدت خشک شدن پسته رقم اوحدی در خشک کن جریان متقاطع بررسی کردند. آنها به‌وضوح نشان دادند که درجه حرارت مهمترین عامل در کنترل شدت و زمان خشک شدن پسته است. همچنین اظهار کردند که خشک شدن پسته در مرحله نرخ نزولی خشک کردن رخ می‌دهد و نفوذ رطوبت فرآیند خشک شدن را کنترل می‌کند [۶].

میردامادها و راعی در تحقیقی گزارش کردند میزان افلاتوکسین پسته‌های خشک شده در روش آفتابی نسبت به روش‌های صنعتی خشک کردن بیشتر است [۷].

کاشانی نژاد و همکاران در پژوهشی با بررسی اثر متغیرهای درجه حرارت، سرعت جریان هوا و رطوبت نسبی هوا بر خصوصیات حسی، فیزیکی و میکروبی پسته رقم اوحدی، دریافتند که بهترین وضعیت ظاهری در پسته‌های خشک شده با

دمای پایین (۲۵ و ۴۰°C) و سرعت جریان هوای پایین (۰/۵ و ۱ m/s) بدست می‌آید و پذیرش کلی آزمون‌گرها در مورد پسته‌های خشک شده با دمای ۴۰°C بیشترین امتیاز را کسب کرد [۲].

بهشتی با رسم و تجزیه و تحلیل منحنی‌های سینتیک خشک شدن پسته، نرخ خشک شدن، تغییرات رطوبت نسبی، رطوبت مطلق و حرارت را در یک خشک کن ابتکاری بستر سیال مخزنی مطالعه نمود. بر اساس نتایج به‌دست آمده، راندمان خشک کردن بیش از ۶۸٪ بوده است [۸].

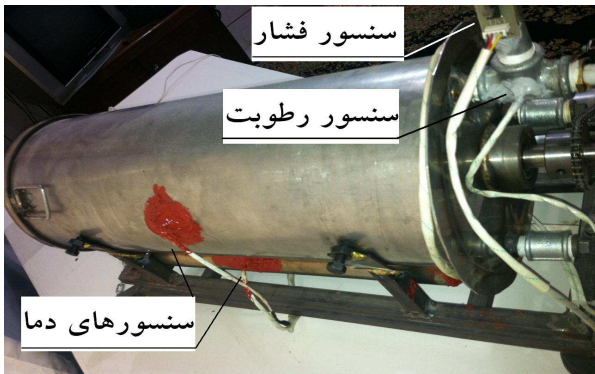
میرمحسنی در تحقیقی روی پروسه خشک شدن پسته اکبری در خشک کن واگنی در ۴ سطح دمایی ۴۰، ۵۵، ۷۰ و ۸۵°C و ۲ سطح ضخامت بستر ۵ و ۱۰ cm نشان داد که افزایش دما و کاهش ضخامت باعث تسریع عملیات خشک کردن می‌شود [۹].

کاشانی نژاد و همکاران با بررسی تاثیرات دما در چهار سطح ۳۵، ۷۰، ۹۵ و ۱۲۰°C بر فاکتورهای مختلف خشک شدن پسته، نشان دادند که دما مهمترین عامل در سرعت فرآیند خشک کردن بوده و همواره با افزایش دما، زمان خشک شدن بشدت کاهش می‌یابد [۱۰].

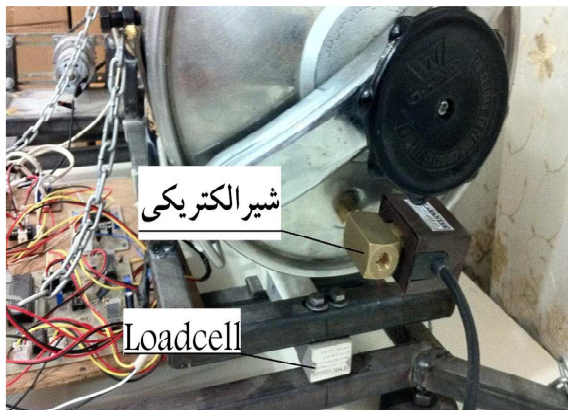
توکلی پور در تحقیق خود با بررسی اثر دما در چهار سطح ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰°C و سرعت هوا در دو سطح ۱ و ۲ m/s و ضخامت بستر در سه سطح تک لایه، ۳ و ۵ cm روی خشک شدن یک رقم پسته خوراکی در قالب ۲۴ آزمایش و با ۴ تکرار نشان داد که افزایش دما تاثیر معنی داری در کاهش زمان خشک شدن دارد بطوریکه افزایش دما از ۴۰ به ۷۰°C باعث کاهش ۵۰ درصدی زمان خشک شدن می‌شود [۱۱].

گازر و همکاران با بررسی اثر دما در سه سطح ۹۰°C و ۷۵، ۶۰، و سرعت هوا در سه سطح ۱/۵، ۲ و ۲/۵ m/s و ضخامت بستر ۵ و ۱۰ cm روی زمان و نرخ خشک شدن پسته رقم کله قوچی نشان دادند که افزایش دما تا ۹۰°C باعث کاهش زمان خشک شدن به میزان ۵۰٪ و افزایش سرعت هوا در همین دما باعث کاهش زمان خشک شدن تا ۲۵٪ می‌شود. همچنین آنها نشان دادند که این افزایش دما هیچ تاثیری روی کیفیت ظاهری پسته‌ها ندارد [۱۲].

کوچک زاده و شفیعی با مدل‌سازی یک نوع خشک کن ماکروویو پسته منحنی‌های خشک شدن و سرعت خشک شدن را برای دو رقم پسته ایرانی (خانی و عباسعلی) ترسیم کرده و بوضوح نشان دادند که منحنی خشک شدن پسته همواره



شکل ۱ شماتیک دستگاه و محل قرارگیری سنسورهای دما، فشار و رطوبت



شکل ۲ درب ایزوله، شیرالکتریکی و سنسور وزن دستگاه

محدوده فشار مجاز برای آزمایش‌ها ۱۸-۲۲KPa در نظر گرفته شد. پمپ خلاء بصورت مداوم فشار داخل محفظه را تا رسیدن به به حداقل مقدار ۱۸Pa کاهش می‌دهد. در این شرایط میکروکنترلر به شیر الکتریکی تعبیه شده بر روی درب خشک‌کن فرمان باز شدن را می‌دهد و حجم هوای تازه وارد سیستم می‌شود و از ایجاد خلاء بیش از حد جلوگیری می‌نماید. ورود این هوا و متعاقباً خروج آن از سمت دیگر دستگاه باعث خروج رطوبت محصول از محیط خشک‌کن خواهد شد.

برای تهیه نمونه‌های آزمایشی، پسته‌ها بصورت دستی پوست گیری و برای انجام آزمایش در بسته‌های ۳/۵Kg در دمای ۵°C یخچال نگهداری شدند. از هر بسته مقدار ۳Kg برای استفاده در خشک‌کن و مابقی برای تعیین رطوبت اولیه مورد استفاده قرار گرفت. آزمون تعیین رطوبت اولیه باستند استاندارد شماره ۶۷۲ (روش اندازه‌گیری رطوبت خشکبار) اداره استاندارد ایران انجام گرفت. نمونه‌ها پس از توزین اولیه به مدت ۲۴ ساعت در آون تحت دمای ۱۰۵°C نگهداری شدند تا کاملاً خشک شوند. دستگاه آون مورد استفاده در این تحقیق

بصورت کاملاً غیر خطی است و منحنی سرعت خشک شدن بصورت دو نرخی می‌باشد. آنها به ضریب همبستگی  $R^2 = 0.99$  برای رقم خانی و  $R^2 = 0.96$  برای رقم عباسعلی دست یافتند [۱۳].

با توجه به مطالعات اولیه در رابطه با فرآیند خشک کردن پسته در خشک‌کن‌های مختلف و بررسی یک نوع خشک‌کن چرخشی تحت خلاء ابداعی، در این تحقیق تاثیر سه سطح دمای ۴۰، ۵۰ و ۶۰°C و سه سطح سرعت چرخش ۵، ۱۰ و ۱۵rpm بر روی زمان خشک شدن و درصد کاهش زمان یک رقم پسته (ایرانی) کله قوچی در یک طرح کاملاً تصادفی در قالب آزمایش فاکتوریل با سه تکرار بررسی شد.

## ۲- مواد و روش‌ها

برای انجام تحقیق از یک خشک‌کن چرخشی هوشمند جدید پسته تحت خلاء استفاده گردید. این خشک‌کن دارای یک مخزن استوانه‌ای از استیل ضد زنگ ۳۰۴ به ضخامت ۲mm ساخته شده است. این استوانه دارای قطر ۲۰cm و طول ۵۶cm می‌باشد که داخل آن یک توری استوانه‌ای قرار گرفته است. حرارت لازم برای عملیات خشک کردن توسط ۲ عدد المنت حرارتی میله‌ای با توان ۵۰۰W در قسمت پایین استوانه تامین می‌شود. خشک‌کن مجهز به تجهیزات توزین، اندازه‌گیری دما، رطوبت و فشار است که توسط یک میکروکنترلر از نوع ATMEGA16 کنترل می‌شوند. دما در دو ناحیه از خشک‌کن مطابق شکل-۱ توسط حسگرهای دما از نوع LM35 اندازه‌گیری می‌شود که قابلیت اندازه‌گیری دما در محدوده ۵۵- تا ۱۵۵°C با دقت ۱ درجه را دارد. حسگرهای وزن از نوع Loadcell L6DCK-50 با دامنه اندازه‌گیری صفر تا ۵۰Kg کیلوگرم با دقت ۱۰gr است که وزن محصول را در دو ناحیه اندازه‌گیری می‌کند (شکل-۲). برای تعیین فشار هوای داخل محفظه خشک‌کن از یک حسگر نوع MPXM2102 با قابلیت اندازه‌گیری در محدوده صفر تا ۱۰۰kPa با دقت  $\pm 1$  بهره‌گیری شد. خلاء مورد نیاز توسط یک پمپ خلاء بیستونی مدل VE135 با توان ۱/۳hp و قابلیت تولید حداقل فشار ۵Pa تامین شد.

### ۳- نتایج و بحث

شرایط اولیه محیط و وسایل آزمون شامل درجه حرارت محیط، رطوبت نسبی، فشار هوا، وزن دستگاه و... مطابق آنچه در جدول ۱- آمده است ثبت شد. سپس مطابق آنچه گفته شد، آزمایشات یکی پس از دیگری انجام و داده های بدست آمده جهت انجام تجزیه و تحلیل و محاسبات بعدی ثبت گردید.

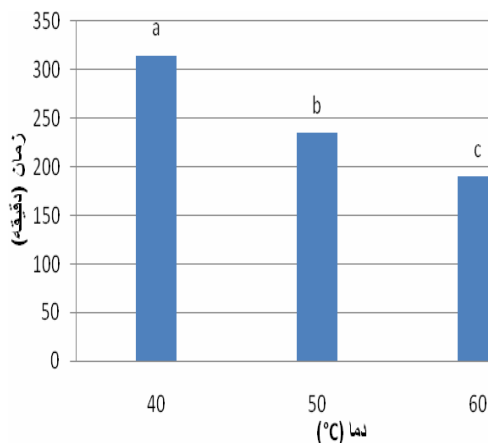
جدول ۱: شرایط اولیه محیط انجام آزمون

| پارامتر مورد بررسی   | مقدار |
|----------------------|-------|
| دمای اتاق (°C)       | ۲۵/۹  |
| فشار هوا (kPa)       | ۷۹    |
| رطوبت نسبی هوا (%)   | ۱۲    |
| وزن دستگاه خالی (gr) | ۲۶۰۵۰ |
| وزن دستگاه پر (gr)   | ۲۹۰۵۰ |
| وزن خالص محصول (gr)  | ۳۰۰۰  |

پس از تجزیه و تحلیل داده ها، نتایج آزمایش های این تحقیق بصورت زیر مشاهده گردید:

#### ۱- زمان خشک شدن

اثر دما در همه تیمارها در سطح ۱٪ معنی دار شد، بطوریکه همواره با افزایش دما زمان خشک شدن کاهش یافت. همچنین افزایش سرعت چرخش بدلیل افزایش یکنواختی پخش رطوبت در دانه ها باعث کاهش زمان خشک شدن شد. شکل های ۳ و ۴ نتایج حاصل از مقایسه میانگین تاثیر دما و سرعت چرخش در زمان خشک شدن را نشان می دهند.



شکل ۳ تاثیر دما بر زمان خشک شدن

از نوع Memmert مدل UFB500 ساخت کشور آلمان بود که قادر به تامین گستره دمایی ۳۰ تا ۲۲۰°C با دقت  $\pm 0.5^\circ\text{C}$  و مجهز به تایمر بود. توان مصرفی آن حین عملیات، حداکثر ۲۰۰۰ W بوده و آزمایشات در آزمایشگاه کشاورزی دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان انجام گرفت. رطوبت اولیه بکمک فرمول [۱] در آزمایشگاه تعیین شد:

$$M.C. = \frac{W_i - W_f}{W_f} \times 100$$

[۱]

که در آن:

$M.C.$ : درصد رطوبت بر پایه خشک (d.b.)<sup>۱</sup>

$W_i$ : وزن اولیه نمونه (وزن تر) برحسب gr.

$W_f$ : وزن نهایی نمونه (وزن خشک) برحسب gr.

مطابق فرمول [۲]، با داشتن مقدار رطوبت اولیه و نهایی، به ترتیب برابر با ۵۶ و ۵ درصد بر پایه خشک، وزن نهایی بطور دقیق محاسبه شد. پس از طی زمان لازم و رسیدن به وزن مورد نظر دستگاه خاموش و نمونه ها خارج شدند. مقداری از نمونه ها برای آزمایش تعیین میزان رطوبت در آون قرار گرفت و رطوبت نهایی آن تعیین شد. مطابق با نتایج حاصل از اندازه گیری، رطوبت نهایی بدست آمده با مقدار محاسبه شده از رابطه (۲) با تقریب قابل قبولی (حدود  $\pm 0.71$  درصد) برابر بود.

$$W'_f = \frac{W'_i}{1.4857}$$

که در آن:

$W'_i$ : وزن اولیه (وزن خوراک ورودی) برحسب gr.

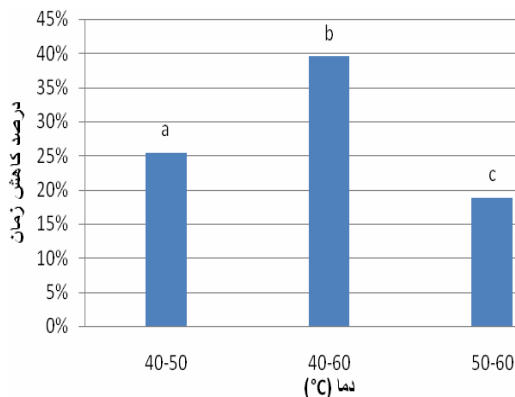
$W'_f$ : وزن نهایی (وزن محصول خروجی) برحسب gr.

پس از تجزیه و تحلیل داده ها بکمک نرم افزار SPSS<sup>3</sup> 19 و ترسیم نمودارهای رطوبت-زمان و سرعت-رطوبت در نرم افزار Excel، تاثیر ۳ سطح دمای ۴۰، ۵۰ و ۶۰°C و ۳ سطح سرعت چرخش ۵، ۱۰ و ۱۵rpm بر روی زمان و درصد کاهش زمان محصول پسته دریک طرح کاملاً تصادفی در قالب آزمایش فاکتوریل با سه تکرار مشخص، و منحنی های خشک شدن و نرخ خشک شدن ترسیم شدند.

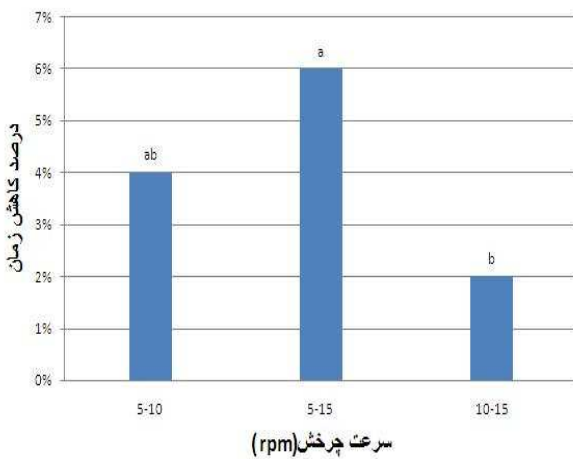
1. Moisture Content  
2. Dry Basis  
3. Statistical Package for Social Science

دار سرعت خشک شدن می‌شود؛ بطوریکه افزایش دما از ۴۰ به ۵۰°C باعث کاهش ۲۵٪ و افزایش دما از ۴۰ به ۶۰°C باعث کاهش ۳۹٪ زمان خشک شدن می‌شود.

در تحقیقات انجام شده توسط Tavakolipour (2011) و Gazor et al. (2003) مشابه این تغییرات گزارش شده است. در مورد سطوح مختلف سرعت چرخش، همانطور که از شکل ۶ مشخص است، سرعت چرخش ۵rpm با سرعت ۱۰rpm و سرعت ۱۵rpm بطور جداگانه هم گروه بوده ولی سرعت‌های ۱۰ و ۱۵rpm باهم هم گروه نبوده و اثر یکی بر دیگری معنی دار نیست.



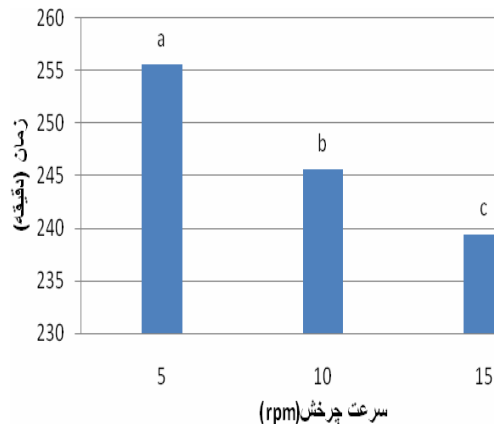
شکل ۵ تاثیر افزایش دما بر درصد کاهش زمان خشک شدن



شکل ۶ تاثیر افزایش سرعت چرخش بر درصد کاهش زمان خشک شدن

### ۳- منحنی‌های خشک شدن و نرخ خشک شدن

معادله رگرسیون خطی رطوبت بر حسب زمان و ضریب تعیین آن برای آزمایشات مختلف در سطوح متفاوت دمایی و سرعت چرخش در روابط [۳] تا [۱۱] آمده است. همانگونه که مشاهده می‌شود، برخلاف منحنی‌های خشک شدن معمول که بصورت تابعی نمایی می‌باشند [۱۳]، روابط خشک شدن در این خشک

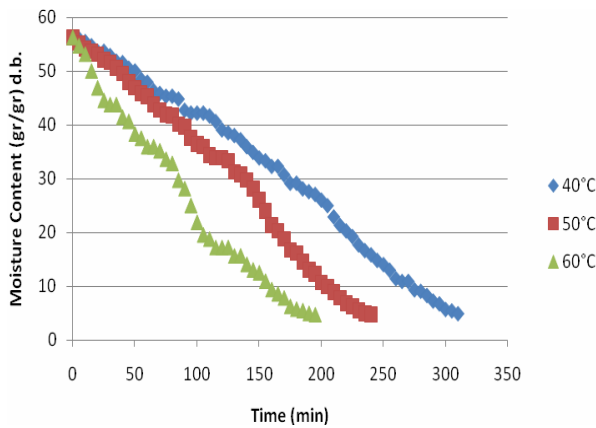


شکل ۴ تاثیر سرعت چرخش مخزن خشک‌کن بر زمان خشک شدن با توجه به مقایسه میانگین‌های انجام شده در شکل‌های ۳ و ۴، افزایش دما در هر سه سرعت چرخش موجب تسریع زمان خشک شدن پسته شده است. علاوه بر آن افزایش سرعت چرخش در دماهای مختلف باعث کاهش زمان خشک شدن پسته شده است. نتایج نشان می‌دهد که افزایش دمای خشک‌کن در مقایسه با افزایش سرعت چرخش تاثیر بیشتری بر کاهش زمان خشک شدن پسته دارد. با افزایش سرعت چرخش بعلاوه پخش یکنواخت حرارت در توده محصول، محافظه و کلیه اجزاء گردنده و ثابت داخلی دستگاه، زمان عملیات خشک کردن به میزان اندک کاهش یافته است. نظیر نتیجه مذکور در تحقیق حاضر در دماهای ۴۰ تا ۸۵ درجه سلسیوس برای خشک کردن پسته رقم اکبری [۹] و دماهای ۴۵ تا ۷۰ درجه سلسیوس برای خشک کردن پسته رقم عباسعلی [۵] نیز گزارش شده است. تحقیقات انجام شده توسط گازر و همکاران (۱۳۸۳)، Kashaninejad et al. (2003) و کاشانی نژاد و همکاران (۱۳۸۴)، اشاره بر کاهش زمان خشک شدن با افزایش دما دارد.

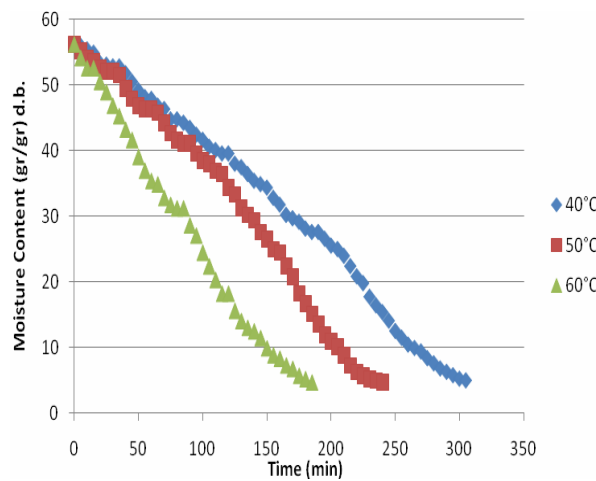
### ۲- درصد کاهش زمان

تاثیر متغیر دما و سرعت چرخش بر درصد کاهش زمان خشک شدن در سطح ۱٪ معنی دار بود ولی در مورد اثر متقابل این دو فاکتور روی درصد کاهش زمان اختلاف معنی داری مشاهده نشد. این بدان معناست که این دو فاکتور (زمان و سرعت چرخش) کاملاً مستقل از یکدیگر بر متغیر مورد آزمون (درصد کاهش زمان) تاثیر می‌گذارند.

درصد کاهش متوسط زمان خشک شدن در دماها و سرعت‌های مختلف چرخش در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود، افزایش دما باعث افزایش معنی



شکل ۸ منحنی رطوبت-زمان در دماهای متفاوت، سرعت چرخش ۱۰ rpm



شکل ۹ منحنی رطوبت-زمان در دماهای متفاوت، سرعت چرخش ۱۵ rpm

شکل ۱۰ نشان دهنده تغییرات سرعت خشک شدن بر حسب مقدار رطوبت باقیمانده در محصول در سرعت چرخش ۵ rpm است. این منحنی بیانگر سیر نزولی سرعت خشک شدن است. سرعت خروج رطوبت از محصول تر در ابتدا بیشتر و با گذشت زمان این سرعت کم می‌شود زیرا همواره با کاهش رطوبت محصول، مقاومت محصول در برابر خروج رطوبت بیشتر شده و در نتیجه سرعت خروج رطوبت کاهش پیدا کرده است. شکل‌های ۱۱ و ۱۲ این تغییرات را به ترتیب در سرعت‌های چرخش ۱۰ و ۱۵ rpm نشان می‌دهد.

کن بصورت خطی استخراج شده‌اند که دلیل این امر را می‌توان شرایط متفاوت خشک شدن در این خشک کن را دانست. چرا که در اغلب خشک کن ها فشار خشک شدن، فشار هوای محیط (۱ atm) می‌باشد اما در اینجا از فشار خلاء استفاده شده است.

$$y = -0.175x + 59.5 \quad R^2 = 0.992 \quad [۳]$$

۴۰°C, ۵rpm

$$y = -0.174x + 58.86 \quad R^2 = 0.993 \quad [۴]$$

۴۰°C, ۱۰rpm

$$y = -0.177x + 58.95 \quad R^2 = 0.992 \quad [۵]$$

۴۰°C, ۱۵rpm

$$y = -0.223x + 58.42 \quad R^2 = 0.994 \quad [۶]$$

۵۰°C, ۵rpm

$$y = -0.229x + 58.75 \quad R^2 = 0.99 \quad [۷]$$

۵۰°C, ۱۰rpm

$$y = -0.231x + 59.51 \quad R^2 = 0.986 \quad [۸]$$

۵۰°C, ۱۵rpm

$$y = -0.285x + 55.07 \quad R^2 = 0.993 \quad [۹]$$

۶۰°C, ۵rpm

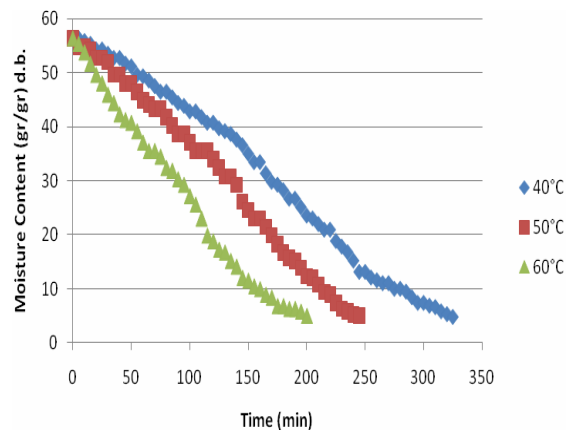
$$y = -0.27x + 52.7 \quad R^2 = 0.98 \quad [۱۰]$$

۶۰°C, ۱۰rpm

$$y = -0.294x + 54.82 \quad R^2 = 0.989 \quad [۱۱]$$

۶۰°C, ۱۵rpm

شکل‌های ۷ تا ۹ نشان دهنده خشک شدن در سرعت‌های مختلف چرخش هستند. مبرهن است که تاثیر افزایش دما در سرعت خشک شدن، به مراتب بیشتر از تاثیر سرعت چرخش است. چراکه افزایش دما سبب افزایش سرعت خروج رطوبت از جسم شده و کاهش زمان را در پی خواهد داشت.

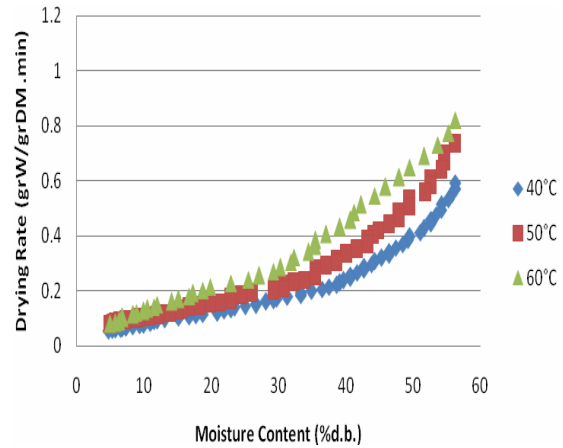


شکل ۷ منحنی رطوبت-زمان در دماهای متفاوت، سرعت چرخش ۵ rpm

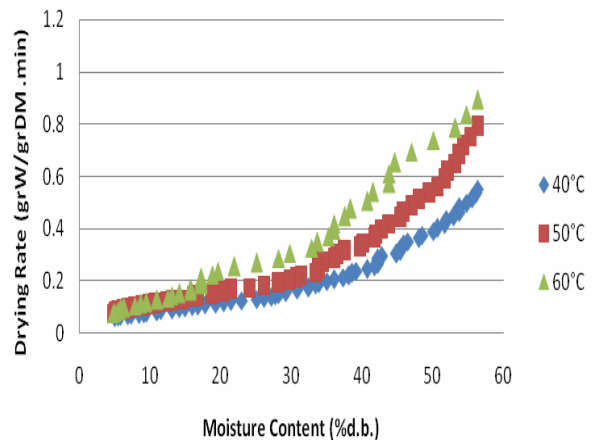
شدن دارد. کمترین زمان خشک شدن در دمای ۶۰ درجه سلسیوس و سرعت چرخش همزن ۱۵ دور در دقیقه مشاهده شد، که این آزمایش با زمان ۱۸۵ دقیقه سریع ترین فرایند خشک شدن بود. بیشترین زمان خشک شدن نیز مربوط به دمای ۴۰ درجه سلسیوس و سرعت چرخش ۵ دور در دقیقه (۳۲۵ دقیقه) بوده است. دما و سرعت چرخش تاثیر معنی داری بر کاهش زمان خشک شدن در سطح ۱٪ داشتند، اما تاثیر عامل دما بیش از سرعت چرخش بوده است. بعلاوه نتایج تحقیق فوق نشان می دهد استفاده از خشک کن خلاء مورد آزمایش جهت عملیات خشک کردن منطقی است. چراکه کاهش در زمان خشک کردن را در پی خواهد داشت.

## ۵- منابع

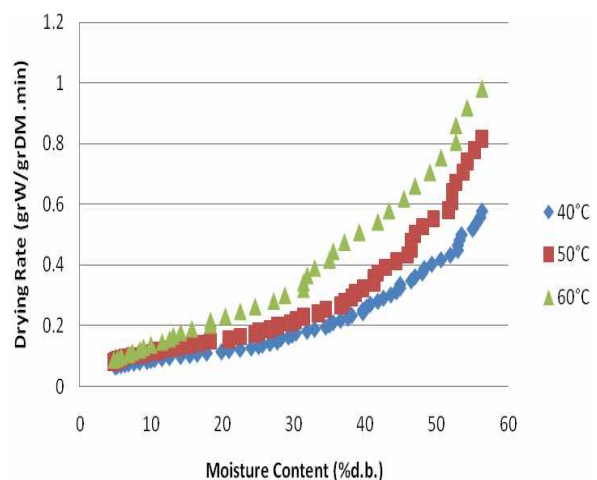
- [1] Tavakolipour, H., Kalbasi Ashtari, A. 2010. Determination of critical moisture content for optimum storage of pistachio (*Pistacia Vera L.*) Powder as Based on Isotherm Curves and Isosteric Heat of Sorption. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*. 41(2):169-174.
- [2] Kashani Nejad, M., Mortazavi, S.A., Seyf Kordi, A.A., Maghsoudlou, Y. 2005. Study of drying variable effects on pistachio (Ohadi variety) quality characteristics. *Iranian Journal of agriculture science*. 36(5): 1075-1085.
- [3] Shamsa, A. 2010. Manufacture and Evaluation of Infra Red Dryer. Department of agricultural machinery M.Sc. Thesis. Pardis e Abureyhan, Tehran University. Tehran. Iran.
- [4] Gazor, H.R., Minaei, S., Rostami, M.A. 2005. Influence of temperature and thickness on pistachio drying in batch dryers. *Journal of agriculture science*. 11(4): 81-93.
- [5] Tavakolipour, H. 2000. Effective Factors in Dehydration Process and Storage Conditions of Pistachio Nuts (*Pistacia vera L.*). Ph.D. Thesis, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran.
- [6] Kashani Nejad, M., Martazavi, A. 2007. Design and fabrication of a cross flow dryer and study of pistachio drying behavior in it. 16<sup>th</sup> National Congress of Iran Food Industry. Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resource.
- [7] Mirdamadiha, F., Raei, M. 1999. Comparison of pistachio drying methods. Set of conducted studios designs. Department of



شکل ۱۰ نرخ خشک شدن در سرعت چرخش ۱۰ rpm



شکل ۱۱ نرخ خشک شدن در سرعت چرخش ۱۰ rpm



شکل ۱۲ نرخ خشک شدن در سرعت چرخش ۱۰ rpm

## ۴- نتیجه گیری

با افزایش دما، زمان خشک شدن کاهش پیدا می کند، اما افزایش میزان سرعت چرخش، تاثیر کوچکی در کاهش زمان خشک

- Agricultural and Biological Engineers. Paper number 036068, ASAE Annual meeting.
- [11] Tavakolipour, H. 2011. Drying kinetics of pistachio nuts (*Pistacia vera* L.). *World applied science journal*; 12 (9): 1639-1646.
- [12] Gazor, H.R., Minaei, S., Basiri, A.R. 2003. Influence of changes temperature, air velocity and layer thickness on drying of Kalehghouchi pistachio. *Journal of agricultural science*; 9 (1): 89-104.
- [13] Kouchakzadeh, A., Shafeei, S. 2010. Modeling of microwave-convective drying of pistachio, *Energy conversion and management journal*; 51:2012-2015.
- Food Engineering. Iran Pistachio Research Institute.
- [8] Beheshti, B. 2001. Design, Manufacture and Evaluation of pistachio dryer Employing Compressed Mass Method. Department of agricultural machinery M.Sc. Thesis. Shiraz University. Shiraz. Iran.
- [9] MirMohseni, S.R. 2011. Evaluation of Pistachio(Akbari Variety) Drying in Batch Dryer. Department of agricultural machinery M.Sc. Thesis. Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran.
- [10] Kashani Nejad, M., Tabil, L.G., Crerar, B. 2003. Drying Characteristics of Purslane (*Portulaca oleraceae* L.). *American Society of*



## Investigation of pistachio (Kalleh Ghoochi v.) drying kinetics in a new intelligent rotary dryer under vacuum

Naderi Parizi, S. <sup>1\*</sup>, Beheshti, B. <sup>2</sup>, Roustapour, O. R. <sup>3</sup>

1- College of Agriculture, Islamic Azad University of Eghlid, Eghlid, Iran.

2- Department of Agricultural Machinery, Science & Research Branch, Islamic Azad University. Tehran, Iran.

3- Agricultural Engineering Research Institute, Research Center of Agriculture and Natural Resources of Fars Province, Shiraz, Iran, Iran.

(Received: 92/4/4 Accepted: 93/2/9)

Pistachio plays an important role as exportation of Iran. The method of drying process has a remarkable influence on the quality of dried products. There are various methods for drying pistachio; however, choosing a suitable method of drying depends on reliability, healthiness and rapids. In current research, the effect of temperature in three levels of 40, 50 and 60°C and rotational speed of the dryer agitator in three levels of 5, 10 and 15rpm on reduction rate of drying period and drying kinetics of a common Iranian pistachio (Kalleh Ghoochi v.), in a new intelligent- vacuum rotary dryer, was investigated. This dryer was consisted of a cylindrical chamber and a twin electrical heater which dried products in a vacuum medium. The experimental data was analyzed in a statistical software "SPSS 10 ". In accordance with the results, temperature and rotational speed of the agitator had a significant effect on drying period. When temperature and speed were 60°C and 15rpm respectively, drying period was short and equaled 185 min, but in temperature of 40°C and speed of 5rpm, drying period was long and equaled 325 min. Increasing the temperature also increased the rate of drying significantly. Results indicated that increasing temperature from 40°C to 50°C caused 25% decrease in the drying period and increasing temperature from 40°C to 60°C caused 39% decrease in drying period.

**Key words:** Dryer, Rotary, Vacuum, Drying kinetics, Time reduction percentage.

---

\* Corresponding Author E-Mail Address: sajjadnaderip@yahoo.com