

## بررسی اثرات دما و ضخامت محصول بر فرآیند خشک شدن پسته در خشک‌کن‌های صندوقی

حمید رضا گازر<sup>۱</sup>، سعید مینائی<sup>۲</sup> و محمد علی رستمی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج، <sup>۲</sup> دانشگاه تربیت مدرس، تهران، <sup>۳</sup> مرکز تحقیقات کشاورزی کرمان

تاریخ دریافت: ۸۲/۴/۴؛ تاریخ پذیرش: ۸۳/۵/۵

### چکیده

خشک‌کن صندوقی یکی از رایج‌ترین خشک‌کن‌های موجود در ترمینال‌های شهرستان رفسنجان برای خشک کردن پسته می‌باشد. تغییرات پارامترهای دما و ضخامت محصول در این خشک‌کن اثر قابل ملاحظه‌ای بر روی زمان فرآیند و کیفیت پسته فرآوری شده خواهد داشت. در این تحقیق با استفاده از طرح بلوک‌های کامل تصادفی، اثرات متغیرهای دما در دو سطح (۶۰ و ۷۵ درجه سانتی‌گراد) و ضخامت محصول در دو سطح (۱۰ و ۲۰ سانتی‌متر) بر زمان خشک شدن دو رقم از پسته‌های ایران به نام‌های کله قوچی و فندق‌بررسی شد. سپس از طریق نظر سنجی، تغییرات وضعیت ظاهری و رنگ پسته‌های خشک شده ارزیابی گردید و محبوبیت طعم ایجاد پسته‌های خشک شده نیز با استفاده از آزمون تی در این نوع خشک‌کن مورد آزمون قرار گرفت. علاوه بر آن با استفاده از طرح بلوک‌های کامل تصادفی، مقدار رطوبت لایه‌های مختلف (هر ۵ سانتی‌متر) در زمان خشک شدن پائین‌ترین لایه در ضخامت ۲۰ سانتی‌متر و در هر دما نیز بررسی و آزمون گردید. نتایج به دست آمده حاکی از آن بود که از نظر زمان خشک شدن و مقدار رطوبت در هر لایه، بین تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود دارد. از نظر ظاهری (رنگ و شکل) بین پسته‌های خشک شده یک رقم در دماهای مختلف اختلافی مشاهده نشد. از نظر علاقه‌مندی به طعم ایجاد شده بین پسته‌های خشک شده یک گونه در دماهای مختلف اختلاف معنی‌دار بود. نتیجه به دست آمده از بررسی منحنی تغییرات رطوبت در لایه‌های مختلف، نشانگر عدم یکنواختی در خشک شدن لایه‌های مختلف محصول در ضخامت‌های بالا می‌باشد. همچنین با در نظر گرفتن مقدار رطوبت مجاز پسته برای انبار مانی و نیز حفظ کیفیت محصول، مدت زمان بهینه مورد نیاز برای خشک کردن پسته به وسیله دستگاه خشک‌کن صندوقی در دو ضخامت و دمای ذکر شده تعیین گردید.

واژه‌های کلیدی: پسته، خشک کردن، خشک‌کن پسته

### مقدمه

خشک کردن پسته یکی از مهمترین مراحل عملیات فرآوری آن می‌باشد و بایستی طی این عملیات رطوبت موجود در دانه به حدود ۶-۴ درصد بر پایه خشک برسد تا محصول قابلیت انبارمانی مناسب را پیدا کرده و دچار فساد و کپک زدگی نشود (مؤسسه استاندارد و تحقیقات

صنعتی ایران، ۱۳۷۶). خشک کردن پسته در استان کرمان در مراکز فرآوری پسته توسط آفتاب، خشک‌کن‌های پسته و یا ترکیبی از آن دو انجام می‌گردد. برای خشک کردن آفتابی، پسته‌ها بر روی محوطه‌هایی که اصطلاحاً به آنها میدان گفته می‌شود بصورت تک لایه پهن شده و طی مدت ۳ روز خشک می‌گردد. البته مدت زمان خشک



خشک‌کن‌ها، کمترین مصرف سوخت مربوط به حالتی است که پسته با رطوبت ۱۲-۱۰ درصد از خشک‌کن نوع صندوقی متناوب خارج شود (رستمی، ۱۳۸۲). زمان خشک کردن رقم‌های پسته کله قوچی و فندق، در محدوده دمایی ۶۰ تا ۹۰ درجه سانتی‌گراد تحت شرایط مشابه آزمایشگاهی دارای تفاوت معنی‌داری با یکدیگر می‌باشند. نتایج نشان داد به‌علت رطوبت اولیه کمتر و خصوصیات دانه، پسته فندق در مدت زمان کوتاه‌تری نسبت به پسته کله قوچی خشک می‌شود (گازر و همکاران، ۱۳۸۲). نتایج تحقیق توکلی پور نشان داد که تغییرات دما بین ۴۰ تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد و ضخامت محصول از تک لایه تا ۵ سانتی‌متر اثرات معنی‌داری بر مدت زمان و سرعت خشک شدن و نیز میزان عدد پراکسید پسته رقم عباسعلی در دماهای ۴۰ تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد دارد. افزایش دما در خشک کردن پسته سبب کاهش زمان خشک شدن و افزایش عدد پراکسید می‌شود. همچنین این تغییرات دما تأثیری بر روی مقادیر پروتئین و چربی نخواهد داشت همچنین در این تحقیق نتیجه‌گیری شد که اگر عملیات خشک کردن در خلأ انجام شود، عدد پراکسید تغییرات معنی‌داری نمی‌کند (توکلی پور، ۱۳۷۹). با خشک کردن پسته به وسیله مایکرو ویو انتقال حرارت از سطح خشک به مرکز مرطوب حذف شده و محصول بصورت یکنواخت و با کیفیت مناسبی خشک شده و رطوبت آن از ۳۰ به ۷ درصد بر پایه‌تر کاهش می‌یابد (صدرنیا و رجبی پور، ۱۳۸۲). نتایج دو تحقیق جداگانه نشان داد که در محدوده دمایی مختلف، کاهش میزان رطوبت رقم‌های مختلف پسته سبب کاهش ضریب هدایت و گرمای ویژه توده پسته خواهد شد (کوچک‌زاده قمی، ۱۳۷۹؛ هسو و همکاران، ۱۹۹۱).

کاشانی‌نژاد و همکاران در تحقیق خود اثر انواع روش‌های خشک کردن با آفتاب و دستگاه‌های مختلف خشک‌کن را بر روی کیفیت دانه‌های پسته مورد بررسی قرار دادند. نتیجه به‌دست آمده حاکی از آن بود که روش‌های خشک کردن با آفتاب و دستگاه خشک‌کن

کردن بستگی به شدت آفتاب و دمای محیط دارد. در طی مدت خشک شدن هر چند وقت یکبار بایستی پسته‌ها را زیر و رو کرد تا همه محصول بطور یکنواخت خشک شود (مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۷۰). قادر و همکاران در تحقیق خود دریافتند که پسته کرمان دارای چربی کمتری نسبت به رقم‌های موجود در کالیفرنیا می‌باشد ولی میزان پروتئین‌ها در رقم‌های آزمون شده مشابه بوده و اختلاف معنی‌داری بین آنها مشاهده نشد. همچنین برای ماندگاری در انبار و نگهداری تا حدود یکسال بهترین میزان رطوبت در پسته‌های خشک شده ۴ الی ۶ درصد می‌باشد (قادر و همکاران، ۱۹۸۲). طی تحقیقی اعلام شد که با توجه به میزان رطوبت اولیه پسته و کارآیی سیستم تا دمای ۹۳ درجه سانتی‌گراد نیز می‌توان پسته را خشک نمود، در این دما زمان خشک شدن تا ۵۰ درصد کاهش می‌یابد. همچنین اگر در دمای بین ۷۱ تا ۹۳ سانتی‌گراد اقدام به خشک کردن محصول شود، ترک خوردگی در مغز پسته‌ها به میزان ۲ تا ۶ درصد افزایش می‌یابد (قادر، ۱۹۸۲). غضنفری و همکاران طی تحقیقی پسته را به صورت لایه نازک و به وسیله خشک‌کن خورشیدی، خشک کردند. نتایج نشان داد که پس از گذشت یک روز رطوبت پسته به میزان ۲۱ درصد نسبت به پایه‌تر کاهش می‌یابد. پسته‌ها در مدت ۳۶ ساعت خشک گردید و نتیجه‌گیری شد که کیفیت پسته‌های خشک شده از جمله طعم، در پسته‌های خشک شده با خشک‌کن خورشیدی بهتر از پسته‌های خشک شده با دستگاه‌های مرسوم خشک‌کن می‌باشد (غضنفری و همکاران، ۲۰۰۳).

در تحقیقی بر روی خشک‌کن‌های رایج در استان کرمان نتیجه‌گیری شد که خشک‌کن‌های متداوم دو جداره باعث کاهش عدد خندانی به میزان ۱/۰۷ میلی‌متر در پسته‌های رقم فندق گردید. بهترین یکنواختی خشک شدن مربوط به خشک کردن پسته در آفتاب بوده و کمترین یکنواختی خشک شدن مربوط به خشک‌کنهای استوانه‌ای عمودی بود. همچنین نتیجه‌گیری شد که در بین



بررسی گردید. علاوه بر آن تأثیر افزایش دما بر زمان و عدم یکنواختی خشک شدن لایه‌ها نیز بررسی شد.

### مواد و روش‌ها

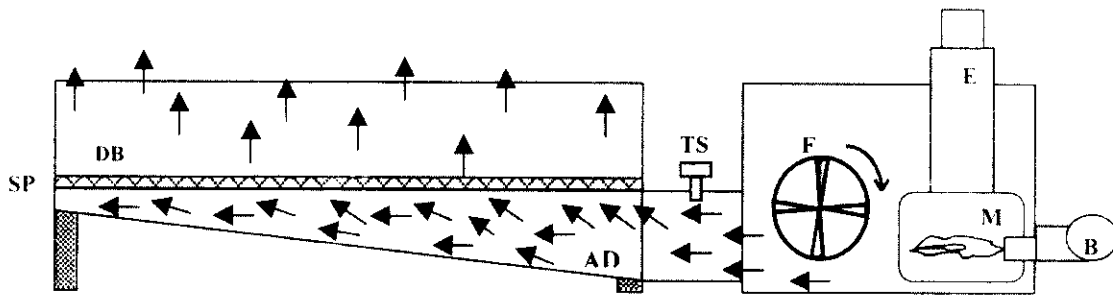
برای بررسی فرآیند خشک شدن پسته، از دو رقم مهم پسته منطقه رفسنجان به نام‌های کله قوچی و فندق (اوحدی) استفاده شد. خشک‌کن صنعتی مورد استفاده از نوع صندوقی رایج در منطقه بود (شکل ۱). برای اندازه‌گیری روند تغییرات رطوبت در خشک‌کن استوانه‌های نمونه‌گیری بکار برده شد و برای اندازه‌گیری تغییرات وزن نمونه‌ها در طول آزمایش از یک ترازوی دیجیتال با دقت  $\pm 0.1$  گرم استفاده گردید. همچنین برای تعیین رطوبت نهایی در نمونه‌های آزمایش از آون اتمسفر یک استفاده شد. در این تحقیق تأثیر دمای هوای گرم در دو سطح ۶۰ و ۷۵ درجه سانتی‌گراد و ضخامت لایه محصول خشک شونده در دو سطح ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متر بر زمان خشک شدن دو رقم از ارقام مهم پسته منطقه رفسنجان به نام‌های کله قوچی و فندق (اوحدی) در سه تکرار بررسی گردید. به دلیل صنعتی بودن دستگاه خشک‌کن، سه قسمت ابتدا، وسط و انتهای خشک‌کن به عنوان بلوک‌های مجزا در نظر گرفته شده و آزمایشات بصورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی انجام شد و نتایج با استفاده از نرم افزار MSTATC مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (بصیری، ۱۳۷۳). قبل از انجام فرآیند خشک کردن پسته در خشک‌کن، جهت خارج کردن رطوبت ناشی از شستشوی پسته‌ها از یک خشک‌کن جریان پیوسته افقی که در منطقه به نام نم‌گیر<sup>۲</sup> مشهور می‌باشد، استفاده شد. رطوبت در پسته‌های خارج شده از نم‌گیر برای رقم کله قوچی  $50.5 \pm 3$  درصد و برای رقم فندق  $46.3 \pm 3$  درصد بر پایه خشک به دست آمد. برای به دست آوردن رطوبت پسته‌ها از روش وزنی استفاده گردید. (پیرسون و همکاران، ۱۹۹۴). در طول مدت زمان آزمایشات دمای محیط در محدوده ۲۰-۳۸ درجه

مخزنی دارای تأثیر بیشتری بر روی خندان شدن پسته‌ها در مقایسه با روش‌های دیگر بودند. همچنین روش‌های مورد استفاده در خشک کردن پسته تأثیر معنی‌داری بر روی برخی فاکتورهای کیفی اسیدهای چرب آزاد و عدد پراکسید نداشت. وضعیت ظاهری پسته‌های خشک شده با روش‌های مختلف با یکدیگر تفاوت معنی‌داری داشت و در مجموع پسته‌های خشک شده با خشک‌کن مخزنی دارای بهترین کیفیت بود (کاشانی‌نژاد و همکاران، ۲۰۰۳). امروزه عملیات خشک کردن پسته کالیفرنیا در دو مرحله انجام می‌شود. ابتدا پسته به مدت ۳ ساعت در دمای ۸۲ درجه سانتی‌گراد قرار می‌گیرد تا رطوبت آن به حدود ۱۲ الی ۱۳ درصد برسد. پس از آن با استفاده از هوا با دمای ۴۹ درجه سانتی‌گراد و کمتر در مدت ۲۴ الی ۴۸ ساعت پسته را تا مرز ۴ الی ۶ درصد خشک می‌کنند. در کارگاه‌های کوچک، پسته را فقط در یک مرحله به مدت ۸ ساعت در دمای ۶۰ تا ۶۶ درجه سانتی‌گراد خشک کرده و رطوبت آن را به حدود ۵ درصد می‌رسانند (درویشیان، ۱۳۷۸). به دلیل کند بودن فرآیند خشک شدن طبیعی پسته و امکان آلودگی آن در مراحل اولیه، بایستی پس از برداشت سریعاً پوست سبز آن گرفته شده و عملیات خشک کردن به وسیله دستگاه خشک‌کن انجام شود (سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ۱۳۷۹ و نیر، ۱۹۷۷). خشک‌کنهای پسته از نوع عمودی یا افقی می‌باشند و یکی از انواع رایج آنها در استان کرمان خشک‌کنهای صندوقی<sup>۱</sup> می‌باشد که با توجه به ظرفیت و دمای مورد استفاده، پسته را طی ۱۴-۱۰ ساعت خشک می‌کند. با توجه به بررسی‌های انجام شده، محدوده دمایی مورد استفاده در خشک‌کنهای این استان بین ۸۰-۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. با توجه به اهمیت کاهش زمان در عملیات خشک کردن پسته و حفظ کیفیت محصول خشک شده، در این پژوهش تأثیر تغییرات دما و ضخامت لایه محصول در خشک‌کن نوع صندوقی، بر روی زمان خشک شدن و تغییرات طعم ایجاد شده در دو رقم پسته



سانتی متر در آن پسته ریخته می‌شود. دمای خشک‌کن در محدوده ۱۰۰-۳۰ درجه سانتی‌گراد توسط یک ترموستات جداری با دقت  $\pm 1$  درجه سانتی‌گراد قابل کنترل بود. برای اطمینان از یکنواختی دما در سر تا سر خشک‌کن با استفاده از یک دماسنج دیجیتال (Lutron, Tm-902) دارای دقت  $\pm 1$  درجه سانتی‌گراد، در پنج نقطه از قسمت‌های ابتدا، وسط و انتهای خشک‌کن، دما اندازه‌گیری شد. حداکثر اختلاف دمای مشاهده شده در قسمت‌های مختلف خشک‌کن در حدود  $\pm 5$  درجه سانتی‌گراد بود.

سانتی‌گراد و رطوبت نسبی هوا بین ۳۴-۱۸ درصد قرار داشت. در این خشک‌کن گرما که به وسیله یک منبع حرارتی با سوخت گازوئیل تأمین می‌شود، به صورت غیرمستقیم توسط جریان هوای ایجاد شده توسط یک دمنده با هوادهی ۱۵-۱۰ متر مکعب در دقیقه، از قسمت زیر به توده پسته داخل محفظه خشک‌کن برخورد می‌کند. محفظه خشک‌کن دارای ۱۰ متر طول، ۱ متر عرض و ارتفاع ۰/۳ متر (۳۰ سانتی‌متر) بود که معمولاً جهت حفظ کیفیت و رنگ و نیز جلوگیری از بسته شدن دهان پسته در اثر فشار لایه‌های محصول بر روی یکدیگر، برای خشک کردن تا ارتفاع ۱۵-۱۰ سانتی‌متر و حداکثر تا ۲۰



شکل ۱- طرح شماتیک خشک‌کن مورد استفاده در تحقیق

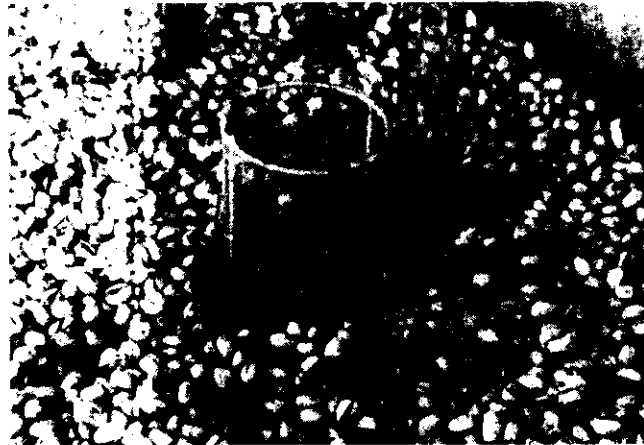
در شکل بالا:

B = مشعل    AD = مجرای عبور هوای گرم    DB = محفظه خشک‌کن    E = محل خروج دود    F = فن (دمنده توربینی)    M =  
 کوره (مبدل حرارتی)    SP = صفحه مشبک (توری)    TS = ترموستات

هوا به هنگام ورود به مخزن پسته در حدود ۱/۵ متر بر ثانیه اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری تغییرات رطوبت پسته در خشک‌کن، از استوانه‌های توری دار با ابعاد قطر داخلی ۱۰ سانتی‌متر، ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر و منافذ دارای قطر ۲ میلی‌متر استفاده گردید. در هنگام هر آزمایش این استوانه‌ها در سه قسمت ابتدا، وسط و انتهای خشک‌کن (شکل ۲) قرار گرفتند.

به منظور پایش سرعت هوای گرم در قسمت‌های مختلف خشک‌کن در هنگام برخورد به پسته‌ها از یک دستگاه سرعت سنج هوا ساخت شرکت لوترون (Lutron, AM-4201) استفاده شد. سرعت هوای ورودی به محفظه خشک‌کن در پنج قسمت از سطح صفحه مشبک اندازه‌گیری شد. بدلیل وجود شیب مناسب در محل عبور جریان هوا در زیر خشک‌کن مقدار سرعت





شکل ۲- وضعیت قرار گیری استوانه‌های آزمایش در خشک کن

میلی متر استفاده گردید. این استوانه‌ها از نظر نصب بر روی یکدیگر در هنگام داده برداری دارای استحکام مناسبی می‌باشند. استوانه‌های مورد استفاده در تحقیق دارای مقطعی به قطر ۸ سانتی متر در پائین و قطر ۱۰ سانتی متر در بالا و ارتفاع ۷ سانتی متر بودند. ابتدا دیواره خارجی مخروط در ارتفاع ۵ سانتی متر علامت گذاری شد. پس از آن با توجه به ارتفاع قرارگیری پسته در خشک کن، تعداد مخروطها محاسبه گردید. هر کدام از مخروطها، کدگذاری شده و تا ارتفاع ۵ سانتی متر از پسته پر و به وسیله یک ترازو با دقت حداقل  $\pm 0.1$  گرم توزین گردید. پس از آن هر کدام از گروه مخروطها در سه قسمت ابتدا، وسط و انتهای خشک کن قرار گرفته و اطراف آن با پسته‌های داخل دستگاه پر شد. عملیات توزین نمونه‌ها به صورت جداگانه و در فواصل زمانی یک ساعت انجام می‌گرفت. این عملیات تا زمانی که اختلاف دو توزین متوالی در پائین‌ترین سید به کمتر از ۱ گرم برسد، ادامه پیدا کرده و پس از آن توسط آون اتمسفریک و روش وزنی رطوبت هر نمونه در انتهای فرآیند خشک شدن تعیین شد.

با استفاده از طرح آماری بلوک کامل تصادفی، رطوبت‌های هر لایه در زمان رسیدن رطوبت لایه اول (۵-۰ سانتی متر) به مقدار مجاز ۶-۴ درصد بر پایه خشک،

باید توجه داشت که ارتفاع قرارگیری پسته در استوانه‌ها تابعی از وضعیت استقرار پسته در دستگاه می‌باشد و با شروع آزمایش جدید ارتفاع پسته‌های داخل استوانه‌ها نیز متناظر با ارتفاع پسته‌های داخل دستگاه تغییر می‌کرد. در هر آزمایش ابتدا استوانه‌های دارای پسته به وسیله یک ترازوی دیجیتال دارای دقت  $\pm 0.1$  گرم توزین و وزن آن یادداشت شد. پس از آن در فواصل ۱ ساعته اقدام به توزین نمونه‌ها گردید و تا زمانی که اختلاف دو توزین متوالی کمتر از ۱ گرم بود این عمل ادامه داشت. پس از به تعادل رسیدن رطوبت نمونه‌ها با هوای ورودی عملیات خشک کردن خاتمه و استوانه‌ها از دستگاه خارج شدند. نمونه‌های خارج شده از خشک کن پس از خنک شدن با هوای محیط در داخل یک کیسه پلاستیکی ضخیم از جنس پلی اتیلن ریخته شده و برای جلوگیری از تبادل رطوبتی با محیط اطراف درب آن با دستگاه دوخت پلاستیک کاملاً مسدود گردید. سپس با استفاده از روش وزنی و آون اتمسفریک در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد برای مدت ۱۰ تا ۱۲ ساعت، درصد رطوبت هر نمونه بر پایه خشک تعیین گردید (پیرسون و همکاران، ۱۹۹۴).

برای اندازه‌گیری عدم یکنواختی در خشک شدن لایه‌های ۵ سانتی متری پسته در خشک کن صندوقی، از استوانه‌های مخروط ناقص دارای توری با قطر منافذ ۲

آزمون کنندگان استفاده و با درصدگیری از آراء داده شده در باره بروز طعم برشتگی ناشی از دو دما اطلاعات لازم به دست آمد.

### نتایج

تجزیه و تحلیل داده‌های به دست آمده نشان می‌دهد که در هر دو رقم پسته کله قوچی و فندق، تغییرات پارامترهای دما و ضخامت محصول اثر بسیار معنی‌داری (در سطح احتمال ۱ درصد) بر روی زمان خشک شدن دارد (جدول ۱). همانگونه که در شکل‌های ۳ و ۴ مشاهده می‌شود با افزایش دما، زمان خشک شدن برای هر دو رقم پسته بطور معنی‌داری کاهش می‌یابد. این تأثیر در هر دو رقم پسته در ضخامت ۱۰ سانتی‌متر، بیشتر از ضخامت ۲۰ سانتی‌متر می‌باشد (شکل ۵).

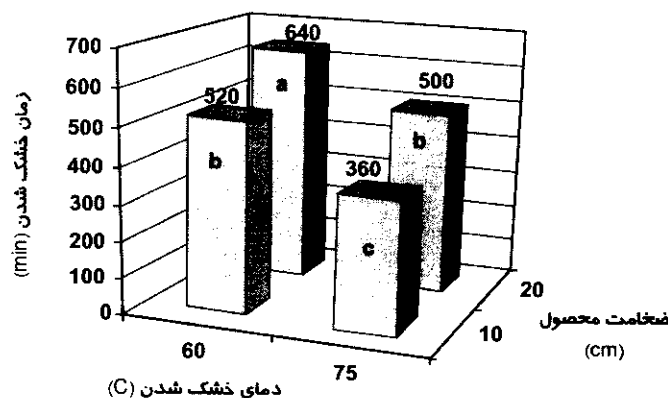
مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و توسط آزمون دانکن میانگین‌ها با یکدیگر مقایسه گردید (مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۷۶؛ بصیری، ۱۳۷۳). برای تعیین میزان علاقه‌مندی مصرف کنندگان پسته به مطلوبیت طعم ایجاد شده ناشی از تغییرات دما در فرآیند خشک کردن پسته، از آزمون چشایی استفاده شد. برای این کار ابتدا با استفاده از یک آون اتمسفر یک پسته‌های هر رقم بصورت تک لایه در دماهای ۷۵ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک شده و مطابق با دستورالعمل آزمون مصرف‌کننده‌گرا با مقیاس ۵ درجه‌ای، نمونه‌های آزمایشی بین ۲۵ نفر مصرف‌کننده پسته توزیع گردید و داده‌های به دست آمده با استفاده از آزمون تی تجزیه و تحلیل شد (قاضی‌زاده و رازقی، ۱۳۷۷؛ زالی و جعفری شبستری، ۱۳۷۹). برای سنجش تغییرات رنگ پوست سخت و وضعیت ظاهری نمونه‌های خشک شده، از مشاهدات

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس زمان خشک شدن پسته‌های کله قوچی و فندق.

منابع تغییر	درجه آزادی	MS پسته کله قوچی	MS پسته فندق
تکرار	۲	۳۰۰/۰۰۰ n.s.	۹۰۰/۰۰۰ n.s.
دما	۱	۶۷۵۰۰/۰۰۰ **	۷۸۰۰۰/۰۰۰ **
ضخامت محصول	۱	۵۰۷۰۰/۰۰۰ **	۴۳۲۰۰/۰۰۰ **
دما x ضخامت محصول	۱	۳۰۰/۰۰۰ n.s.	۱۲۰۰/۰۰۰ n.s.
خطا	۶	۱۱۰۰/۰۰۰	۵۰۰/۰۰۰
کل	۱۱		

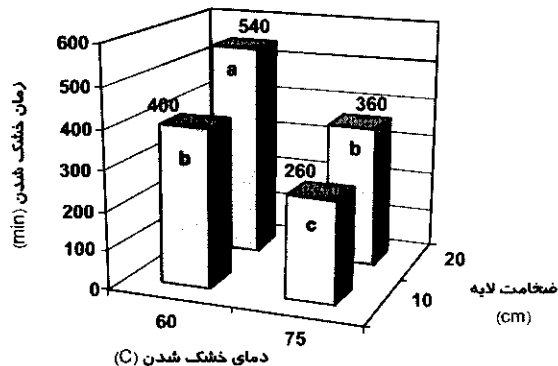
\*\* = وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

n.s. = عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد.

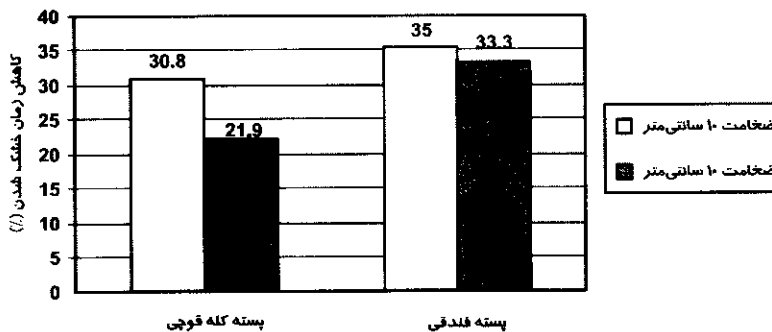


شکل ۳- مقایسه میانگین‌های زمان خشک شدن پسته کله قوچی (دانکن ۱ درصد).

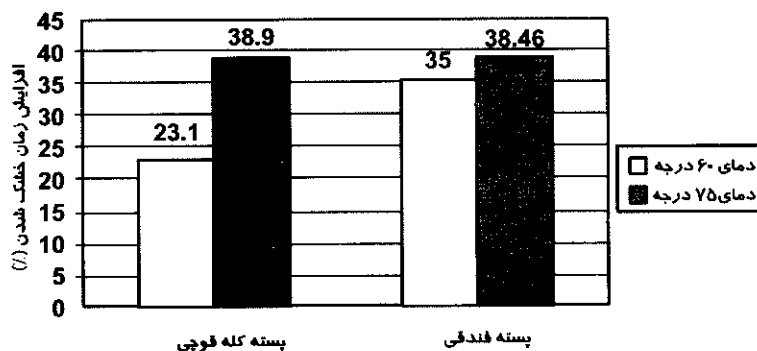




شکل ۴- مقایسه میانگین‌های زمان خشک شدن پسته فندق (دانکن ۱ درصد).



شکل ۵- درصد کاهش زمان خشک شدن ناشی از افزایش دما از ۶۰ به ۷۵ درجه سانتی‌گراد.



شکل ۶- درصد افزایش زمان خشک شدن در اثر افزایش ضخامت لایه از ۱۰ به ۲۰ سانتی‌متر.

مقایسه میانگین مقدار رطوبت لایه‌های ۵ سانتی‌متری هر دو رقم پسته در خشک‌کن نشان داد که روند تغییرات رطوبت در لایه‌های محصول با یکدیگر متفاوت است، بطوریکه در هنگام رسیدن رطوبت پایین‌ترین لایه به حدود ۴ درصد مقدار رطوبت در لایه‌های ۲۰-۱۵ سانتی‌متر در حدود ۱۲ تا ۱۵ درصد می‌باشد (شکل‌های ۷ و ۸).

در رابطه با تأثیر افزایش ضخامت لایه محصول بر بالارفتن زمان خشک شدن پسته، بیشترین تأثیر برای هر دو رقم به میزان حدود ۳۸ درصد در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد مشاهده می‌شود (شکل ۶).

نتایج آنالیز رطوبت لایه‌ها در دماهای آزمایش نشان داد که در هر دو رقم، مقدار رطوبت لایه‌ها در زمان خشک شدن لایه اول محصول دارای تفاوت بسیار معنی‌داری (در سطح ۱ درصد) با یکدیگر می‌باشند (جدول ۲).

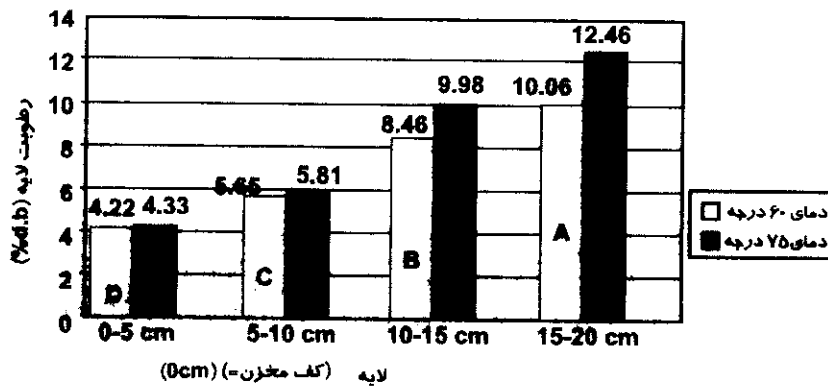


جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس رطوبت لایه‌های محصول در زمان خشک شدن لایه اول بسته‌ها در دماهای ۶۰ و ۷۵ درجه سانتی‌گراد.

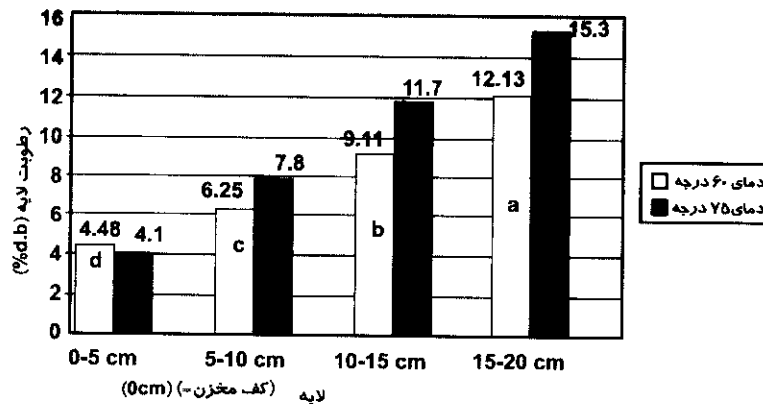
MS	MS	MS	MS	درجه آزادی	منابع تغییر
بسته فندقی	بسته کله قوچی	بسته فندقی	بسته کله قوچی		
در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد	در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد	در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد	در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد		
۰/۲۲۷ <sup>n.s.</sup>	۰/۳۷۵ <sup>n.s.</sup>	۰/۲۲۹ <sup>n.s.</sup>	۰/۴۳۹ <sup>n.s.</sup>	۲	تکرار
۷۰/۳۰۶ <sup>**</sup>	۴۲/۰۴۶ <sup>**</sup>	۳۳/۷۵۸ <sup>**</sup>	۲۱/۰۸۶ <sup>**</sup>	۳	لایه بسته
۰/۰۸۷	۰/۱۲۴	۰/۲۳۰	۰/۱۱۸	۶	خطا
				۱۱	کل

n.s. = عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد.

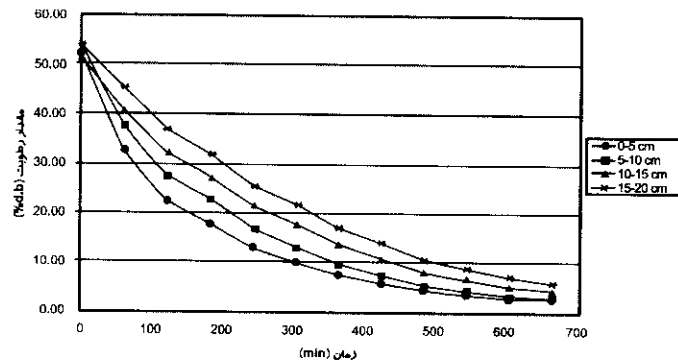
\*\* = وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.



شکل ۷- مقایسه میانگین‌های رطوبت لایه‌های بسته کله قوچی در زمان خشک شدن لایه اول (دانکن ۱ درصد).



شکل ۸- مقایسه میانگین‌های رطوبت لایه‌های بسته فندقی در زمان خشک شدن لایه اول (دانکن ۱ درصد).



شکل ۹- روند تغییرات رطوبت در لایه‌های مختلف بسته کله قوچی در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد.





مصرف کنندگان محبوبیت بیشتری دارند (شکل ۱۰). با توجه به پرسش‌های مندرج در پرسشنامه آزمون، نتایج اعلام نظر در رابطه با برشته‌گی طعم ایجاد شده در پسته‌های خشک شده به وسیله دماهای آزمایش به شرح جدول ۴ اعلام گردید.

نتایج آزمون تی انجام شده برای مقایسه طعم پسته‌های خشک شده در دماهای ۷۵ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد نشان داد که در هر دو رقم بین علاقه‌مندی مصرف کنندگان پسته به طعم‌های ایجاد شده، در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۳).

از مقایسه میانگین نمرات داده شده نتیجه‌گیری شد که پسته‌های خشک شده در دما ۷۵ درجه سانتی‌گراد نزد

جدول ۳- نتایج آزمون تی برای مقایسه علاقه‌مندی به طعم پسته خشک شده در دماهای ۶۰ و ۷۵ درجه سانتی‌گراد.

نوع پسته	فرض صفر	درجه آزادی	t محاسبه شده	نتیجه گیری
کله قوچی	$m_{k1} = m_{k2}$	۴۸	$۲/۴۳^*$	فرض صفر در سطح ۵ درصد رد می‌شود.
فندق	$m_{f1} = m_{f2}$	۴۸	$۲/۲۰^*$	فرض صفر در سطح ۵ درصد رد می‌شود.

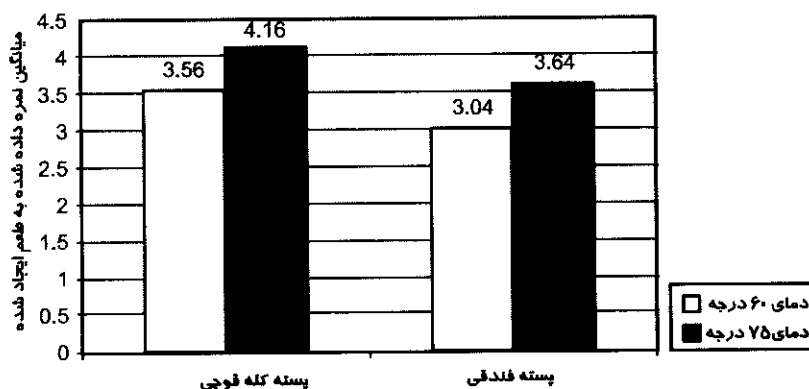
\* اختلاف معنی‌دار میانگین نمرات دو نمونه در سطح ۵ درصد.

$m_{k1}$  = میانگین امتیاز طعم پسته کله قوچی خشک شده در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد

$m_{k2}$  = میانگین امتیاز طعم پسته کله قوچی خشک شده در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد

$m_{f1}$  = میانگین امتیاز طعم پسته فندق خشک شده در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد

$m_{f2}$  = میانگین امتیاز طعم پسته فندق خشک شده در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد



شکل ۱۰- مقایسه میانگین نمرات داده شده به محبوبیت طعم پسته‌های خشک شده در دماهای ۶۰ و ۷۵ درجه سانتی‌گراد.

جدول ۴- اعلام نظر در رابطه با برشته‌گی طعم پسته‌های خشک شده در دماهای آزمایش.

٪۱۲	موافقین با برشته‌گی طعم پسته‌های کله قوچی خشک شده در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد
٪۶۴	موافقین با برشته‌گی طعم پسته‌های کله قوچی خشک شده در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد
٪۲۴	موافقین با عدم برشته‌گی طعم پسته‌های کله قوچی خشک شده در دماهای ۶۰ و ۷۵ درجه سانتی‌گراد
٪۸	موافقین با برشته‌گی طعم پسته‌های فندق خشک شده در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد
٪۳۶	موافقین با برشته‌گی طعم پسته‌های فندق خشک شده در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد
٪۵۶	موافقین با عدم برشته‌گی طعم پسته‌های فندق خشک شده در دماهای ۶۰ و ۷۵ درجه سانتی‌گراد

## بحث

نتایج به دست آمده از اشکال ۳ و ۴ نشان می‌دهد که برای خشک کردن مناسب پسته در هر دو دمای آزمایش در ضخامت ۱۰ سانتی‌متر به زمانی بین ۲۶۰ تا ۵۲۰ دقیقه وقت نیاز می‌باشد که با افزایش ضخامت به ۲۰ سانتی‌متر مدت زمان مورد نیاز برای خشک کردن پسته بر حسب نوع رقم به ۳۶۰ تا ۶۴۰ دقیقه تغییر می‌کند. مشابه با نتایج سایر محققین، در این تحقیق مشخص شد که اولاً افزایش دما از ۶۰ به ۷۵ درجه سانتی‌گراد می‌تواند زمان خشک شدن را به طور متوسط، حدود ۳۰ درصد کاهش دهد (توکلی پور، ۱۳۷۹؛ گازر و همکاران، ۱۳۸۲). ثانیاً با افزایش ضخامت محصول از ۱۰ به ۲۰ سانتی‌متر، به طور متوسط حدود ۳۴ درصد به زمان خشک شدن محصول افزوده می‌شود که در مقایسه با افزایش صد درصد مقدار محصول خشک شده، افزایش ضخامت لایه تا ۲۰ سانتی‌متر کاملاً توجیه‌پذیر می‌باشد. تنها مشکل ایجاد شده در ضخامت مذکور عدم یکنواختی خشک شدن لایه‌های مختلف محصول است که کاربرد یک همزن می‌تواند این مشکل را حل نماید.

نتایج به دست آمده در رابطه با مقایسه میانگین مقدار رطوبت لایه‌ها برای هر دو رقم پسته در خشک‌کن نشان داد که روند تغییرات رطوبت در لایه‌های مختلف محصول با یکدیگر متفاوت می‌باشد. نتیجه به دست آمده مؤید نتایج حاصل شده از تحقیقات گذشته نیز می‌باشد (رستمی، ۱۳۸۲). مسئله فوق به این دلیل است که در هنگام شروع فرآیند خشک شدن، رطوبت لایه‌های پسته نزدیک به یکدیگر می‌باشند. با گذشت زمان لایه‌های پائین‌تر، بدلیل قرارگیری در معرض هوای گرم زودتر از لایه‌های بالاتر خشک می‌گردند. در واقع هرچه به لایه‌های سطحی نزدیک می‌شویم از دمای هوا کاسته و به رطوبت آن اضافه می‌شود. در نتیجه، روند تغییرات رطوبت در لایه‌های بالاتر کندتر و دارای شیب کمتری می‌باشد. این روند در اواسط فرآیند به اوج خود می‌رسد. با گذشت زمان و خشک شدن لایه‌های زیرین بتدریج

۹۰



اختلاف میان روند تغییرات رطوبت در لایه‌ها کم می‌شود زیرا در مراحل آخر فرآیند، لایه‌های پائین دارای حداقل رطوبت بوده و با جذب مقداری از گرما، آن را از خود عبور داده و به لایه‌های بالاتر می‌رسانند. به همین دلیل ملاحظه می‌گردد که با گذشت زمان، مجدداً اختلاف میان رطوبت لایه‌ها در اواخر فرآیند به حداقل مقدار خود می‌رسد.

علاوه بر آن در اشکال ۷ و ۸ ملاحظه می‌شود که با افزایش دما در هر دو رقم تغییرات رطوبت در لایه‌های مختلف و بخصوص لایه ۲۰-۱۵ سانتی‌متر دارای روندی افزایشی می‌باشد که می‌توان علت بروز این پدیده را مطابق تحقیق هسو و کوچکزاده پائین بودن قابلیت هدایت حرارتی پسته و عدم انتقال مناسب گرما در هنگام خشک شدن لایه اول دانست (کوچکزاده قمی، ۱۳۷۹؛ هسو و همکاران، ۱۹۹۱). از اطلاعات به دست آمده می‌توان نتیجه‌گیری کرد که برای خشک کردن پسته به وسیله خشک‌کن‌های مخزنی در لایه‌های بیشتر از ۱۰ سانتی‌متر باید از همزن استفاده نمود. در غیر این صورت محصول به طور ناهماهنگ خشک خواهد شد و با گذشت زمان در لایه‌های زیرین پدیده بیش خشکیدگی اتفاق می‌افتد و این در حالی است که لایه‌های بالاتر هنوز به طور کامل خشک نشده‌اند. این مسئله علاوه بر غیر یکنواختی در خشک شدن محصول، موجب اتلاف انرژی نیز می‌گردد. به عنوان نمونه، مقایسه روند خشک شدن لایه‌های محصول برای پسته کله قوچی در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد در شکل ۹ نشان داده شده است.

با توجه به نظر سنجی انجام شده به نظر می‌رسد دمای ۷۵ سانتی‌گراد باعث بروز برشته‌گی طعم در پسته‌های خشک شده می‌گردد که این تأثیر بر روی پسته کله قوچی از پسته فندقی بیشتر است. همچنین مشاهده می‌گردد تأثیر دمای مذکور بر روی برشته‌گی طعم در پسته کله قوچی به مراتب بیشتر از پسته فندقی می‌باشد. پس از خشک کردن پسته‌های کله قوچی و فندقی در دماهای ۶۰ و ۷۵ سانتی‌گراد، پسته‌های خشک شده هر رقم بصورت

در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد پیشنهاد می‌شود که در صورت خشک کردن تک مرحله‌ای، پسته با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد و ضخامت ۲۰ سانتی‌متر خشک شود. با توجه نوع رقم پسته، مدت زمان لازم برای خشک کردن در این ضخامت بین ۵۴۰ تا ۶۴۰ دقیقه به دست آمد که صرف زمان بیشتر از آن موجب اتلاف وقت و انرژی خواهد شد. البته توجه به این نکته ضروریست که استفاده از همزن در محفظه خشک‌کن موجب جلوگیری از عدم یکنواختی و کاهش زمان در خشک کردن پسته شده و کاربرد آن در ضخامت مذکور قابل توصیه می‌باشد.

جداگانه در معرض دید ارزیابها قرار گرفتند. از مجموع ۲۵ نفر ارزیاب تنها ۳ نفر موفق به تفکیک پسته‌های خشک شده در دماهای آزمایش شدند و ۲۲ نفر دیگر تفاوتی را در وضعیت ظاهری و رنگ پسته‌های خشک شده هر رقم اعلام نکردند. از این نظر سنجی به نظر می‌رسد که برای یک رقم پسته خشک شده در دو دمای آزمایش، اختلافی در رنگ و وضعیت ظاهری وجود ندارد.

### پیشنهادات

با توجه به محدودیت زمان فرآوری پسته و علاقه‌مندی مصرف‌کنندگان به طعم پسته‌های خشک شده

### منابع

۱. بصیری، ع. ۱۳۷۳. طرح‌های آماری در علوم کشاورزی. انتشارات دانشگاه شیراز، ۵۹۵ صفحه.
۲. توکلی‌پور، ح. ۱۳۷۹. بهینه‌سازی روش‌های خشک کردن و انبارداری پسته. پایان‌نامه دکتری. واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، ۳۸۳ صفحه.
۳. رستمی، م. ع. ۱۳۸۲. ارزیابی و مقایسه خشک‌کن‌های رایج پسته در استان کرمان. گزارش پژوهش. نشریه شماره ۲۲۸. مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، ۳۷ صفحه.
۴. زالی، ع. و ج. جعفری شبستری. ۱۳۶۹. مقدمه‌ای بر احتمالات و آمار (ترجمه). انتشارات دانشگاه تهران، ۴۷۴ صفحه.
۵. درویشیان، م. ۱۳۷۸. کشت و تولید پسته (ترجمه). نشر فرهنگ آیندگان، ۲۷۲ صفحه.
۶. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. ۱۳۷۹. آفات‌توکسین پسته (روش‌های پیشگیری و کنترل آن). نشریه ترویجی. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. وزارت جهاد کشاورزی، ۳۱ صفحه.
۷. صدرنیا، ح. و ع. رجبی‌پور. ۱۳۸۲. طراحی خشک‌کن مایکرو ویو پیوسته برای محصول پسته. خلاصه مقالات اولین همایش ملی خشکبار کشور: ۲۴.
۸. قاضی‌زاده، م. و س. ع. رازقی. ۱۳۷۷. روش‌های ارزیابی حسی مواد غذایی. انتشارات انستیتو تحقیقات تغذیه ای و صنایع غذایی کشور، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی شهید بهشتی، ۱۷۱ صفحه.
۹. کوچک‌زاده قمی، ا. ۱۳۷۹. اثر انتقال حرارت و رطوبت در فرآیند خشک کردن پسته. رساله دکتری. دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۵۰ صفحه.
۱۰. گازر، ح. ر. س. مینایی و ع. ر. بصیری. ۱۳۸۲. مقایسه روند خشک شدن در دو رقم پسته ایرانی. مجموعه مقالات اولین کنگره دانشجویی مهندسی ماشینهای کشاورزی: ۸۳-۹۲.
۱۱. مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. ۱۳۷۰. آئین کار تهیه پسته از مرحله برداشت محصول تا بسته‌بندی استاندارد شماره ۲۳۸۰، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۶ صفحه.
۱۲. مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. ۱۳۷۶. پسته- ویژگی‌ها، استاندارد شماره ۱۵، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۲۱ صفحه.
13. Denizel, T. 1977. Suggestion on prevention of Aflatoxin formation in pistachio nuts. Archives de L. Institute pastures de Tunis. 54(3/4): 433-440.



14. Ghazanfari, A., L.G. Tabil, and S. Sokhansanj. 2003. Evaluating a solar dryer for in-shell drying of split pistachio nuts. *Drying Technology* 21(7): 1357-1368.
15. Hsu, M., J. D. Mannapperuma, and R. P. Singh. 1991. Physical and thermal properties of pistachios. *J. agric. Engng. Res.* 49: 311-321.
16. Kader, A. A., C. M. Heintz, J. M. Labavitch, and H. L. Rae 1982. Studies related to the description and evaluation of pistachio nut quality. *Journal of the American Society for Horticultural Science.* 107(5): 812-816.
17. Kader, A. A. 1985. *Postharvest Technology of Crops.* Pistachio commission publisher California: 170-174.
18. Kashani Nejad, M., L.G. Tabil, A. Mortazavi, and A. Safe Kordi. 2003. Effect of drying methods on quality of pistachio nuts. *Drying Technology* 21(5): 821-838.
19. Pearson, T.C., D.C. Slaughter, and H. E. Studer 1994. Physical Properties of pistachio Nuts. *Transactions of the ASAE.* 37(3): 913-918



---

---

## Influence of temperature and thickness on pistachio drying in batch dryers

H.R. Gazor<sup>1</sup>, S. Minaee<sup>2</sup> and M.A. Rostammi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Agricultural Engineering Research Institute, Karaj, <sup>2</sup>Tarbiat Modarres University, Tehran,  
<sup>3</sup>Kerman Agricultural Research center, Iran.

---

---

### Abstract

Batch dryer is one of the most common dryers in Rafsanjan. The temperature and thickness changes have great effects on drying time and pistachio quality. In this study using the randomized complete block design, influence of temperature in two levels (60 and 75°C) and thickness of product layer in two levels (10 and 20cm) on drying time were studied for two varieties of Iranian pistachios as Kaleghouchi and Fandoghi. Using consumer votes, appearance and color changes were studied for two varieties. Also using t-test, changes in flavor of two varieties were evaluated. In addition, drying process was studied for different product layers (each 5cm) in 20cm thickness and results evaluated by using of randomized complete block design. Experiments and statistical analysis showed that the temperature and product thickness have significant effects on drying time in two varieties. Pistachio appearance (color and shape) has no change in the experiments. Different temperatures have significant effects on dried pistachio flavor. The results indicated that at two temperature levels, pattern of moisture content variation in layers was significantly different. Hence use of agitators in dryers with pistachio thickness above 10 cm is advisable. With the consideration of suitable moisture for storage and pistachio quality, enough time recommended to dry each variety.

**Keywords:** Pistachio; Drying; Pistachio dryer

