

تعیین شرایط بهینه خشک کردن دانه انار در خشک کن خورشیدی با استفاده از روش سطح پاسخ

اکبر جوکار*، علی زمردیان، ندا مفتون آزاد و لادن جوکار**

* نگارنده مسئول، نشانی: شیراز، زرکان، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
تلفن: ۰۹۱۷۷۰۴۳۴۴۲ پیام نگار: akbarjokar@gmail.com

** به ترتیب: عضو هیات علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس؛ دانشیار بخش ماشین آلات دانشکده کشاورزی
دانشگاه شیراز؛ استادیار پژوهشی و مربی پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس
تاریخ دریافت: ۸۹/۱۲/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۰/۹/۲۶

چکیده

هدف از اجرای این پروژه تعیین شرایط بهینه خشک کردن دانه انار با خشک کن خورشیدی است. در این تحقیق از یک خشک کن خورشیدی کابینتی به صورت فعال و مختلط استفاده شد. تیمارها با استفاده از روش سطح پاسخ در ۹ حالت مختلف در نظر گرفته شدند که تیمار مرکزی (۳ متر بر ثانیه سرعت جریان هوا و ۲ سانتی متر ضخامت) ۵ بار تکرار شد. در این تحقیق از دانه‌های انار رقم بریت استفاده شد و نمونه‌ها تا رسیدن رطوبت آنها به تقریباً ۱۰ درصد خشک شدند. مدت زمان خشک شدن، ویتامین ث، رنگ، اسیدیته، و وضعیت میکروبی نمونه‌ها بررسی شد. اثر ضخامت محصول و سرعت عبور هوا بر زمان خشک شدن، و دیگر عامل‌های کیفی ذکر شده، به جز اسیدیته و طعم، معنی‌دار بود ($p < 0.05$). افزایش سرعت عبور هوا و ضخامت محصول موجب شد که زمان خشک شدن، زردی محصول (عامل b رنگ)، و کپک و مخمر افزایش اما روشنی (عامل L رنگ)، قرمزی (عامل a رنگ)، و ویتامین ث، کاهش یابد. همچنین مشخص شد که محصول تولید شده در روش خورشیدی کیفیت بالاتری نسبت به محصول تولید شده در روش آفتابی دارد. ضخامت ۰/۶ سانتی‌متر و سرعت جریان هوای ۳ متر بر ثانیه در خشک کن خورشیدی بهترین کیفیت و کمترین زمان خشک شدن را نشان دادند. زمان خشک شدن نمونه‌ها در این شرایط نسبت به زمان خشک شدن در روش آفتابی ۸۵ درصد کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی

انار دانه، خشک کردن آفتابی، خشک کن خورشیدی، روش سطح پاسخ

مقدمه

ترکیب و آلودگی به کرم گلوگاه کاملاً محسوس است. در استان فارس خسارت حاصل از کرم گلوگاه، ترکیب و سوختگی انار را ۳۰ درصد اعلام کرده‌اند. در استان اصفهان ۶۲ درصد از کل انار تولیدی دچار خسارت و بعضی سال‌ها ۷۶ درصد از انارها دچار ترکیب می‌شوند (Anon, 1998). دانه‌های خشک شده انار، معروف به انار دانه، در نواحی شمال ایران و در خارج از کشور به عنوان چاشنی غذا، سوپ، و غیره مصرف می‌شود (Anon, 2001).

انار، میوه درخت *Punica granatum* L. از خانواده Punicacea و یکی از میوه‌های بومی ایران است که از ایران به دیگر نقاط دنیا برده شده است (Anon, 2001). مطابق گزارش سازمان جهاد کشاورزی استان فارس، ایران یکی از بزرگترین تولیدکنندگان انار در دنیا و استان فارس با حدود ۲۰۰ هزار تن تولید سالانه، بزرگترین تولیدکننده انار در کشور است (Anon, 2010). ضایعات انار به دلیل



از تابش نور کافی استفاده از خشک‌کن‌های خورشیدی توصیه می‌شود.

کینگسلی و سینگ (Kingsly & Singh, 2007) دانه‌های انار را با یک خشک‌کن کابینتی به صورت لایه نازک در دماهای ۵۰، ۵۵، و ۶۰ درجه سلسیوس خشک و اعلام کردند که ۹، ۱۱، و ۶ ساعت طول کشیده است تا رطوبت محصول از ۷۳ درصد به ۸ درصد (بر مبنای وزن مرطوب) کاهش یابد. زمان خشک کردن دانه انار در این روش در مقایسه با روش آفتابی کوتاه‌تر است و مدل صفحه‌ای^۱ بهترین مدل پیشنهادی گزارش شده است. بچیر و همکاران (Bchir *et al.*, 2010) خشک کردن دانه انار در دماهای ۴۰، ۵۰، و ۶۰ درجه سلسیوس را در یک خشک‌کن کابینتی بررسی و اعلام کردند که خشک کردن دانه‌های انار در دمای ۶۰ درجه سلسیوس در مقایسه با دو دمای دیگر موجب کاهش قابل توجه آنتوسیانین‌ها، مواد فنلی، و آنتی‌اکسیدان‌ها خواهد شد. جوکار و همکاران (Jokar *et al.*, 2011) خشک کردن دانه انار در خشک‌کن تونلی و روش آفتابی را بررسی کردند و نشان دادند که رنگ، طعم، و کیفیت بهداشتی دانه‌های انار خشک شده در خشک‌کن کابینتی به مراتب بهتر از روش آفتابی است. دمای ۷۰ درجه سلسیوس، نسبت به دماهای ۴۰ و ۵۵ درجه سلسیوس رنگ محصول را تیره‌تر می‌کند.

فرنز و همکاران (Franz *et al.*, 2009) نشان دادند که جمع‌کننده‌های خورشیدی می‌توانند تا حدود ۱۹/۶ درصد از انرژی مورد نیاز برای خشک کردن محصول لانگان^۲ در تایلند را تأمین کنند. مطالعات جانجای و همکاران (Janjai *et al.*, 2009) در مورد خشک کردن موز و محصول لانگان نشان می‌دهد که خشک کردن لانگان بدون پوست و موز در خشک‌کن خورشیدی به ترتیب ۳ و ۴ روز طول می‌کشد. در حالی که در شرایط خشک کردن آفتابی به ۶-۵ روز زمان نیاز است. در روش خشک کردن

افزون بر انارهای ضایعاتی، انارهای درجه ۲ و ۳ نیز به انار دانه تبدیل می‌شوند. اکنون ۲۰ درصد از انار تولیدی استان فارس با روش سنتی و در شرایط نامطلوبی به انار دانه تبدیل می‌شود. ارائه روشی مناسب و تعیین شرایط بهینه خشک کردن نه تنها مشکلات روش سنتی را رفع می‌کند، بلکه با افزایش کیفیت محصول، موجب گسترش صادرات، تولید بیشتر این محصول و کاهش ضایعات انار خواهد شد. خشک کردن همیشه اهمیت زیادی در محافظت و افزایش عمر ماندگاری محصولات کشاورزی داشته است. در این میان استفاده از انرژی خورشید در خشک کردن محصولات کشاورزی به عنوان جایگزین مناسب سوخت‌های فسیلی (به ویژه در نقاطی که تابش خوبی از این منبع انرژی در فصل برداشت وجود دارد) به اثبات رسیده است (Mani, 1980). خشک کردن محصولات کشاورزی با خشک‌کن‌های خورشیدی نه تنها معایب خشک کردن آفتابی را ندارد بلکه به دلیل کاهش چشمگیر زمان خشک شدن، بهره‌وری انرژی و کیفیت محصول افزایش می‌یابد. به کار گرفتن خشک‌کن‌های خورشیدی افزایش کیفیت و عمر ماندگاری، حفظ قوه نامیه و قابل استفاده بودن دانه‌ها و محصولات کشاورزی را به دنبال دارد. بسیاری از مواد غذایی برای خشک شدن نیاز به دمای کمتر از ۸۰ درجه سلسیوس دارند، بنابراین خشک‌کن‌های خورشیدی برای خشک کردن آنها مناسب هستند. ساخت خشک‌کن‌های خورشیدی، ساده و راحت است. این خشک‌کن‌ها در شرایط روستایی، محیط‌های خارج از شهر، و مقیاس‌های کوچک فرآوری مواد غذایی مناسب هستند، کم هزینه‌اند و نیاز چندانی به تعمیر و نگهداری ندارند. می‌توان آنها را به راحتی در اندازه‌های مختلف (بسته به نیاز کشاورزان) ساخت و به کار گرفت (Anon, 1993; Akwasi, 1997). به دلیل واقع شدن ایران در منطقه نیمه گرمسیری و خشک و برخوردار بودن

کوتاه‌ترین زمان خشک کردن، در دبی ۰/۰۸۵ متر مکعب بر ثانیه (کمترین دبی مورد آزمایش) و در حالت مختلط به دست آمد.

در این تحقیق شرایط بهینه تولید انار دانه با خشک‌کن خورشیدی تعیین و کیفیت آن با روش آفتابی مقایسه شده است.

مواد و روش‌ها

مواد

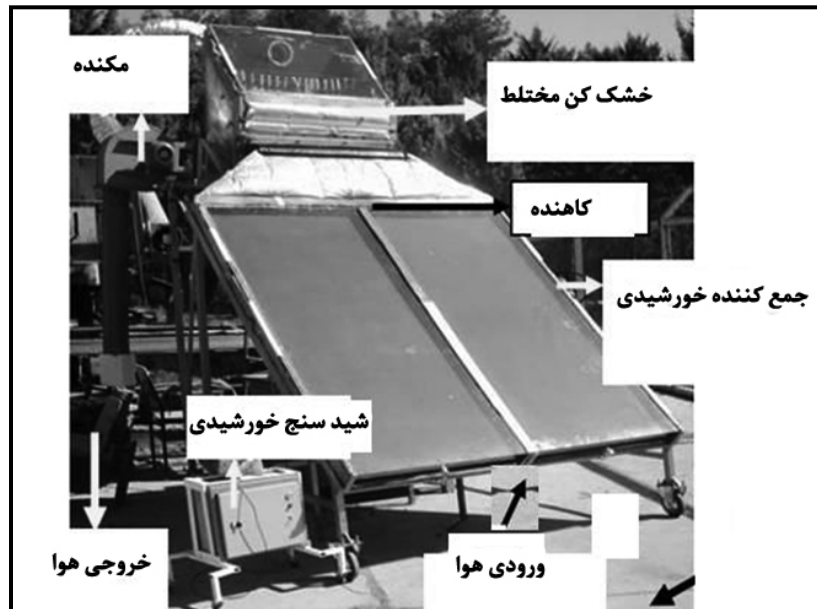
برای هر ۲ روش خشک کردن، دانه‌های انار رقم بریت آزمایش شد که یکی از انارهای زودرس و نامرغوب استان است و دچار ترکیب‌گی زیاد می‌شود. برای اینکه شرایط رطوبتی و ویژگی‌های کیفی محصول در طول آزمایش‌ها ثابت نگه داشته شوند، ۳۰۰ کیلوگرم انار از باغداری در منطقه کهمره سرخی استان فارس خریداری و در سردخانه نگهداری شد. انار (به مقدار مورد نیاز) به صورت دستی دانه شد و مورد آزمایش قرار گرفت. مواد شیمیایی مورد استفاده در اندازه‌گیری اسیدیت، ویتامین ث، و آزمون‌های میکروبی در هر ۲ روش از شرکت مرک^۲ خریداری شد.

دستگاه خشک‌کن خورشیدی

شکل ۱، قسمت‌های مختلف دستگاه مورد استفاده را نشان می‌دهد که در بخش مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز ساخته شده است. ابعاد مخزن، و صفحات جمع‌کننده^۳ خشک‌کن به ترتیب ۱۰۰×۵۰×۸۰ سانتی‌متر مکعب و ۱۰۰×۱۰۰×۲۰ سانتی‌متر مربع و دامنه تابش نور خورشید در شیراز ۱۰۵۰-۴۰۰ وات بر متر مربع است. خشک‌کن خورشیدی مورد استفاده در اینجا می‌تواند دمای محیط را تا ۳۰ درجه سلسیوس افزایش دهد. محفظه خشک‌کن از چوب ساخته شده و با پشم شیشه (به ضخامت ۵

خورشیدی، طعم و رنگ مطلوب‌تر است. ستهی و سدهنا (Sethi & Sadhna, 2009) ویژگی‌های یک نوع خشک‌کن گلخانه‌ای را بررسی و اعلام کردند که با تغییر جهت این خشک‌کن به سمت شمال دمای کدوی تلخ^۱ و هوای خشک‌کن افزایش و زمان خشک شدن ۱۳/۱۳ درصد کاهش می‌یابد. اگر در این سیستم از گردش هوای اجباری استفاده شود زمان خشک شدن ۱۶/۶۷ درصد کاهش خواهد یافت. مصباحی و همکاران (Mesbahi *et al.*, 2006) به بررسی مقایسه‌ای تولید کشمش با خشک‌کن خورشیدی و سایر روش‌ها پرداختند. نتایج تحقیقات آنها نشان می‌دهد که خشک‌کن‌های خورشیدی نه تنها می‌توانند کشمش‌هایی مشابه سایر روش‌ها تولید کنند بلکه در برخی عامل‌های کیفی کشمش‌های تولیدی با این خشک‌کن‌ها نسبت به سایر روش‌ها از نظر رنگ، و ظاهر برتری دارند. زارع و همکاران (Zare *et al.*, 2005) به بررسی تأثیر دبی جرمی هوای ورودی و زمان تخلیه محصول بر روند کاهش رطوبت شلتوک در یک خشک‌کن نیمه پیوسته خورشیدی پرداختند. نتایج بررسی‌های این محققان نشان می‌دهد که دبی جرمی هوای خشک‌کننده و فاصله زمانی تخلیه محصول اثر معنی‌داری بر کاهش رطوبت شلتوک خروجی دارند. زمردیان و علامه (Zomorodian & Alame, 2002) به بررسی خشک شدن برنج به صورت لایه نازک در یک خشک‌کن خورشیدی از نوع غیر فعال مختلط پرداختند. نتایج بررسی آنها نشان می‌دهد که بستر با ضخامت ۲ سانتی‌متر، شرایط بستر لایه نازک در خشک کردن به شیوه خورشیدی، با استفاده از جریان آزاد را داراست. داداش‌زاده، زمردیان و همکاران (Dadashzade *et al.*, 2008) خشک کردن انگور در خشک‌کن خورشیدی کابینتی را به دو صورت مختلط-فعال و غیر مستقیم-فعال آزمایش کردند. نتایج تحقیقات آنها نشان می‌دهد که دبی هوا و روش خشک کردن تأثیر معنی‌داری بر کاهش رطوبت محصول دارد.

سانتی‌متر) عایق شده است. صفحات جمع‌کننده آلومینیمی و سطح آن با رنگ سیاه پوشانده شده است. جمع‌کننده‌ها به عمق ۵ سانتی‌متر برای خشک کردن میوه‌های دانه‌ای مانند انگور طراحی شده‌اند.



شکل ۱- قسمت‌های مختلف دستگاه خشک‌کن خورشیدی.

روش انجام آزمایش

زمان آزمایش از اول مهر تا اواسط آبان ۱۳۸۷ در نظر گرفته شد.

خشک کردن دانه‌های انار به صورت مختلط (همراه با تابش نور خورشید در محفظه خشک‌کن) و فعال (همراه با کار کردن فن) خشک شدند. دمنده دستگاه از ساعت ۱۱ تا ۱۴ روشن می‌شد. با توجه به ورود هوای سرد از بیرون به داخل دستگاه، روشن کردن فن در ساعات دیگر موجب کاهش دمای محفظه خشک‌کن می‌شد. نمونه برداری برای اندازه‌گیری رطوبت در ساعات ۹، ۱۱، و ۱۴ برنامه ریزی شد.

اندازه‌گیری‌های دستگاهی

در این مطالعه، دمای هوا در قسمت‌های مختلف خشک‌کن و محیط اطراف، دبی هوای خشک‌کننده، رطوبت محصول در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری شد.

دستگاه خشک‌کن خورشیدی در محوطه‌ای آفتاب‌گیر از بخش ماشین‌های کشاورزی دانشگاه شیراز واقع در باجگاه (۱۵ کیلومتری شیراز) قرار داده شد؛ جمع‌کننده‌های خورشیدی و محفظه خشک‌کن برای بهره‌گیری از بیشترین پرتوهای خورشید رو به جنوب قرار داده شدند. طول و عرض جغرافیایی منطقه به ترتیب $29^{\circ}39'$ و $52^{\circ}35'$ و زاویه جمع‌کننده دستگاه با سطح افق، 45° درجه تنظیم شد.

مخزن دستگاه شامل دو سینی است، سینی بزرگ در پایین و سینی کوچک به فاصله ۲۰ سانتی‌متر در بالا. چون سرعت خشک شدن در این دو سینی با یکدیگر متفاوت است از سینی کوچک‌تر با ابعاد 100×50 استفاده شد. به دلیل تفاوت در میزان خشک شدن محصول در سینی‌های بالا و پایین، فقط از سینی بالا استفاده شد.

و OSA^۴ طبق استانداردهای شماره ۱-۵۲۷۲، ۱-۱۰۸۹۹، و ۱۱۶ شماره شد (Anon., 2006; Anon., 1998; Anon., 2006)

اندازه‌گیری‌های شیمیایی

در این پروژه دانه‌های انار تا رطوبت ۱۰ درصد خشک شدند و در پایان، زمان خشک شدن، مقدار ویتامین ث، اسیدیته، تعداد کل باکتری‌ها، کپک و مخمر، و رنگ مشخص شد (Anon, 2001). وضعیت طعم نمونه‌ها نیز با آزمون ارزیابی چشایی به روش هدونیک^۵ سنجیده شد (Watts et al., 1989).

اندازه‌گیری رطوبت دانه‌های انار

برای تعیین رطوبت دانه‌های انار از روش AOAC آون و دمای ۷۰ درجه سلسیوس استفاده شد (Horwitz, 2000). برای نمونه برداری از پنج نقطه مختلف از سینی نمونه-گیری و رطوبت آنها تعیین شد. رطوبت نمونه‌ها بر اساس وزن مرطوب گزارش شد.

اندازه‌گیری اسیدیته

اسیدیته انار دانه بر حسب اسید سیتریک و با روش اصلاح شده استاندارد ملی ایران در خصوص آبمیوه‌ها اندازه‌گیری شد (Anon, 1991). ابتدا به ۲۵ گرم انار دانه ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر اضافه شد. پس از گذشت ۳ ساعت با مخلوط کن به طور کامل به هم زده و مجدداً ۲۰۰ میلی لیتر آب مقطر به آن اضافه شد. پس از صاف کردن، ۱۰ میلی لیتر از محلول به دست آمده با استفاده از تیتراسیون سود ۰/۱ نرمال تیترا شد. سپس از رابطه ۱ میزان اسید سیتریک تعیین شد:

$$(1) \quad (w/w) = \frac{0.064 \times 30 \times 100}{25 \cdot V} \times$$

در این رابطه V حجم سود مصرفی است.

اندازه‌گیری دما

دمای خشک هوا در دهانه ورودی جمع‌کننده‌های خورشیدی، داخل محفظه خشک‌کن در قسمت مربوط به محفظه آرام‌کننده جریان هوای ورودی یعنی در زیر سینی پایینی خشک‌کن، و در قسمت بالای خروجی خشک‌کن اندازه‌گیری شد.

دمای خشک: دمای خشک دمایی است که با دماسنج معمولی به دست می‌آید. برای بررسی یکنواختی توزیع جریان هوا در محفظه خشک‌کن و همچنین جهت اندازه‌گیری دمای هوای خروجی از جمع‌کننده‌ها به منظور محاسبه بازده جمع‌کننده‌ها و اندازه‌گیری دمای محیط در آزمایش‌های مختلف، از حسگر حرارتی هوشمند و دماسنج معمولی الکلی استفاده شد. حسگر حرارتی هوشمند به کار رفته در آزمایش از نوع SMT-۱۶۰ با دقت ۰/۵ درجه سلسیوس بود.

اندازه‌گیری دبی جرمی هوا

برای محاسبه دبی جرمی هوا ابتدا سرعت هوای خروجی از دهانه لوله انتهایی مکنده با استفاده از دستگاه سیم داغ^۱ (ساخت تایلند و شرکت لوترون) تعیین شد و با ضرب کردن سرعت هوای خروجی در مساحت دهانه خروجی و چگالی هوا، دبی جرمی هوای خشک‌کننده به دست می‌آید. با اندازه‌گیری سرعت جریان در چند نقطه مختلف در وسط لوله خروجی (۰/۳۱۶، ۰/۵۴۸، ۰/۷۰۷، ۰/۸۳۷، و ۰/۹۶۱ شعاع لوله خروجی) میانگین سرعت جریان به دست آمد.

آزمون‌های میکروبی

تعداد کل باکتری‌ها، کپک و مخمر، و باکتری‌های اسید دوست به ترتیب با محیط‌های کشت PCA^۲، PDA^۳،

1- Lutron AM-4204
3- Potato Dextrose Agar
5- Hedonic scaling test

2- Plate Count Agar
4- Orange Serum Agar

اندازه‌گیری ویتامین ث

عامل‌های L، a، و b اندازه‌گیری شد. عامل L با محدوده +۱۰۰ تا -۱۰۰ معرف رنگ از سفید تا سیاه است. عامل a با محدوده +۶۰ تا -۶۰ معرف رنگ از قرمز تا سفید و عامل b با محدوده +۶۰ تا -۶۰ معرف رنگ از زرد تا آبی است. برای بررسی اثر دبی هوا و ضخامت، از روش سطح پاسخ^۳ استفاده شد. با استفاده از نرم افزار SAS 9 (SAS Institute Inc. USA) و طرح مرکب مرکزی^۴ تیمارها و حالت‌های مختلفی به دست آمد که در جداول ۱ و ۲ نشان داده شده است. تیمار ۲ سانتی‌متر و ۳ متر برثانیه، تیمار مرکزی بود که ۵ بار تکرار شد.

ویتامین ث با دستگاه کروماتوگرافی مایع^۱ اندازه‌گیری شد. ستون دستگاه ۱۸۰ با قطر ۶ میلی‌متر و ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر بود. بیست میکرولیتر نمونه در دمای ۲۵ درجه سلسیوس به دستگاه تزریق شد. نمونه، طبق روش AOAC با محلول‌های متا-فسفریک اسید و استیک اسید آماده سازی شد (Horwitz, 2000).

اندازه‌گیری رنگ

رنگ با دستگاه لاوی باند^۲ ارزیابی و در این آزمایش

جدول ۱- تیمارها و حالات مختلف به دست آمده از طرح مرکب مرکزی و نرم افزار SAS

تیمارها و حالات به	کد تیمارها	۱-۱	۱-۱	۱-۱	۱ و ۱	۱/۴ و ۰	۱/۴ و ۰	۰ و ۰
دست آمده	تیمارها	۱ سانتی‌متر	۱ سانتی‌متر	۱ سانتی‌متر	۳ سانتی‌متر	۳ سانتی‌متر	۳ سانتی‌متر	۲ سانتی‌متر
اعداد	تیمارها	۲ متربرثانیه	۲ متربرثانیه	۲ متربرثانیه	۳ سانتی‌متر	۳ متربرثانیه	۳ متربرثانیه	۳ متربرثانیه

جدول ۲- محدوده ضخامت و سرعت هوا در خشک کردن دانه انار در طرح مرکب مرکزی

عوامل بدون کد		عوامل کدهای	
سرعت‌هوا (متربرثانیه)	ضخامت (سانتی‌متر)	سرعت‌هوا (متربرثانیه)	ضخامت (سانتی‌متر)
۱/۶	۰/۶	-۱/۴	-۱
۲	۱	۰ (تیمار مرکزی)	۱
۳	۲	۱	۱/۴۲
۴	۳	۱/۴۲	۳/۴
۴/۴	۳/۴		

خشک کردن آفتابی

اسیدیته، رنگ، ویتامین ث، و ویژگی‌های میکروبی با استفاده از نرم افزار SAS 9 (SAS Institute Inc. USA) تجزیه و تحلیل و شکل‌های مربوطه رسم شدند. نوزده نفر افراد تقریباً آموزش دیده جهت آزمون طعم دعوت شدند. نتایج آزمون‌های حسی با نرم افزار Michigan Msthatc (State University) و در قالب آزمون کراسکل-والیس^۵ تجزیه و تحلیل و تیمارهای مختلف با آزمون من-ویتنی^۶ به ۲ با یکدیگر مقایسه شدند.

در این روش، دانه‌های انار طبق روش سنتی به ضخامت ۱ و ۲ سانتی‌متر روی پلاستیک و تا رسیدن رطوبت آنها به ۱۰ درصد در مقابل آفتاب پهن شدند. دانه‌ها در فاصله‌های منظم زمانی (۳ ساعت) زیر و رو می‌شدند. داده‌ها شامل دمای هوای خشک‌کننده در قسمت‌های مختلف خشک‌کن، رطوبت ورودی و نهایی محصول، رطوبت محصول در ساعات مختلف، دبی هوا،

1- Shimatso-6A UV visible detector
3- Response Surface Method
5- Kruskal-Wallace

2- Lovibond-SP60
4- Central Composite Design
6- Mann-Whitney

نتایج و بحث

نتایج آنالیز آماری

طبق آنالیز آماری نتایج به دست آمده، ضخامت و سرعت جریان هوا در خشک‌کن، هر دو، بر زمان خشک شدن و نیز بر عامل‌های L ، a و b ، ویتامین θ ، و کپک و مخمر تأثیر معنی‌دار داشتند ($p < 0.01$). باکتری‌ها در نمونه‌های خشک شده رشد نکردند. ضخامت و سرعت جریان هوا تأثیر معنی‌دار بر اسیدیته و طعم

نداشتند ($p < 0.05$).

زمان خشک کردن

با افزایش ضخامت و سرعت جریان هوا، زمان خشک شدن افزایش یافت (شکل ۲). توان ۲ ضخامت طبق رابطه رگرسیون ۲ با زمان خشک شدن همبستگی مثبت دارد و به صورت سهمی تغییر می‌کند.

$$(2) \quad \text{زمان خشک شدن} = 41/49 + 13/0.3 x_1 + 9/87 x_2 + 4/5 x_1^2$$

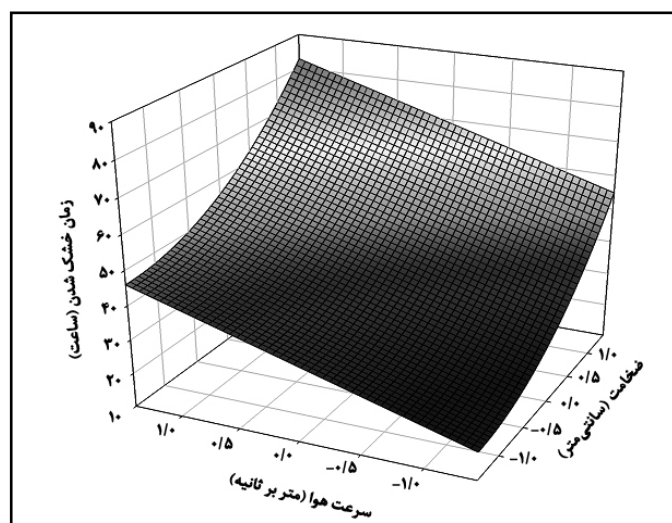
رسیدن به رطوبت یکسان، مدت زمان بیشتری صرف خشک شدن می‌شود. دلیل این امر مربوط است به کاهش دمای هوای خشک‌کننده در اثر افزایش دبی و در نتیجه کاهش پتانسیل حذف رطوبت از محصول. نتایج تحقیقات داداش‌زاده و همکاران (Dadashzade *et al.*, 2008) درباره خشک کردن انگور با خشک‌کن خورشیدی نشان می‌دهد که دبی هوا یا سرعت جریان هوا در خشک‌کن تأثیر معنی‌داری بر کاهش رطوبت محصول دارد و هرچه دبی کمتر باشد زمان خشک شدن محصول نیز کمتر است. ضخامت بیشتر موجب کاهش سرعت حذف رطوبت از محصول می‌شود.

که در آن،

$x_1 =$ متغیر ضخامت؛ $x_2 =$ متغیر سرعت هوا؛ و $R^2 = 0.92$ است.

سرعت خشک شدن محصول به سرعت عبور هوا از بین محصول، رطوبت نسبی هوای خشک‌کننده، و دمای هوای خشک‌کننده بستگی دارد. در خشک‌کن مورد آزمایش از هیچ منبع حرارتی کمکی استفاده نشد، لذا دمای هوای خشک‌کننده وابسته به جریان هوایی است که از روی صفحات جاذب در جمع‌کننده‌های خورشیدی عبور می‌کند.

مشخص شد که با افزایش سرعت هوای خشک‌کن تا



شکل ۲- تأثیر ضخامت محصول و سرعت جریان هوا بر زمان خشک کردن در خشک‌کن خورشیدی.

مدت زمان خشک کردن در روش خورشیدی، نسبت به روش آفتابی یا هوای آزاد، در یکی از بهترین حالت‌ها (ضخامت ۰/۶ سانتی‌متر و سرعت جریان هوای ۳ متربرثانیه) تا ۸۵ درصد کاهش یافته است. با توجه به جدول ۳ و ۴ و مباحث بعدی، بهترین کیفیت اناردانه خشک شده در کمترین زمان خشک کردن به دست آمده است و بنابراین تیمارهایی که منجر به کاهش زمان مدت خشک شدن محصول شده‌اند، مانند کمترین

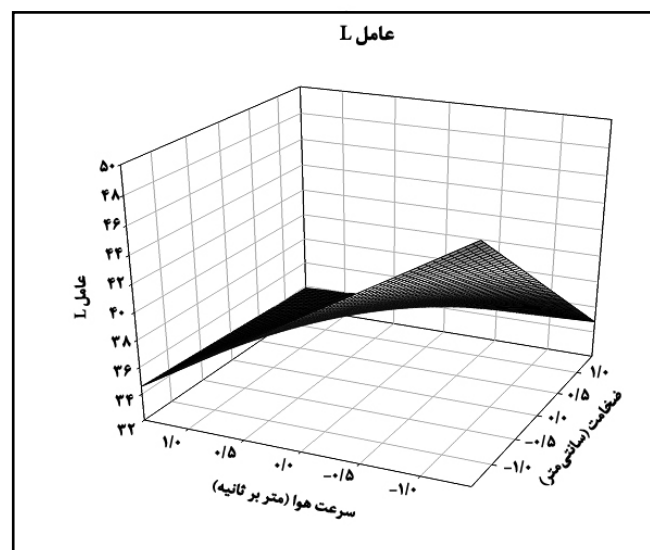
سرعت جریان هوا و کمترین ضخامت محصول، مطلوب‌ترند. جدول ۳، مدت زمان خشک کردن تیمارهای مختلف را در خشک‌کن خورشیدی نشان می‌دهد. کاهش مدت زمان خشک شدن با خشک‌کن خورشیدی را محققان در مواد غذایی مختلف گزارش کرده‌اند (Jairaj *et al.*, 2009; Bennamoun & Belhamri, 2002; Yaldyz & Ertekyn, 2001; Zare *et al.*, 2005; Akwasi, 1997; Fuller, 1995; Kalra & Bhardwaj, 1981; Patil, 1984;).

جدول ۳- زمان خشک کردن تیمارهای مختلف در خشک‌کن خورشیدی

تیمارها	۲متربرثانیه ۱سانتی‌متر	۲متربرثانیه ۳سانتی‌متر	۴متربرثانیه ۱سانتی‌متر	۴متربرثانیه ۳سانتی‌متر	۳متربرثانیه ۰/۶سانتی‌متر	۳متربرثانیه ۳/۴سانتی‌متر	۱/۶متربرثانیه ۲سانتی‌متر	۴/۴متربرثانیه ۲سانتی‌متر	۳متربرثانیه ۲سانتی‌متر
زمان خشک کردن (ساعت)	۲۶	۴۷	۵۲	۷۲	۲۴	۶۹	۳۰	۴۸	۴۵

عامل L (روشنی رنگ) اتوسیانین‌ها ارتباط دارد (Vidhan *et al.*, 2010). اثر متقابل ضخامت محصول و سرعت هوا بر عامل L (روشنی رنگ) معنی‌دار است و در کمترین مقدار ضخامت و سرعت جریان هوا، بیشترین مقدار عامل L (روشنی رنگ) قابل پیش‌بینی خواهد بود.

شکل ۳ نشان می‌دهد که با افزایش سرعت جریان هوا و ضخامت محصول، عامل L (روشنی رنگ) کاهش می‌یابد. بنابراین با افزایش مدت زمان خشک شدن محصول یا باقی ماندن آن در دستگاه، محصول تیره‌تر می‌شود. این موضوع با تجزیه ویتامین ث و مواد مشابه مانند



شکل ۳- تأثیر ضخامت محصول و سرعت جریان هوا بر عامل L در خشک‌کن خورشیدی.

تعیین شرایط بهینه خشک کردن دانه انار...

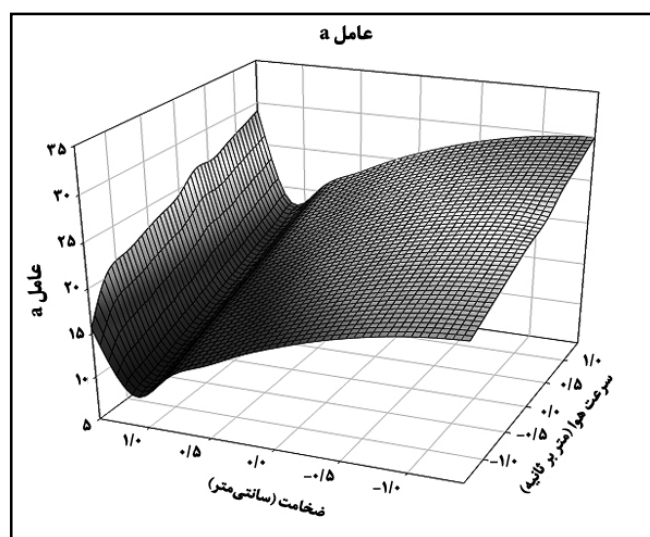
آنتوسیانین‌ها دارد. با توجه به کاهش فعالیت این آنزیم در دماهای بالا می‌توان نتیجه گرفت که در دماهای پایین، که مدت زمان خشک کردن محصول طولانی است، آنزیم‌های تجزیه کننده آنتوسیانین‌ها نیز فعال هستند و موجب از بین رفتن آنتوسیانین‌ها و در نتیجه کاهش قرمزی رنگ می‌شوند.

بنابراین، افزایش مدت زمان خشک شدن به طور غیر مستقیم موجب کاهش قرمزی رنگ محصول می‌شود. نکته قابل توجه همبستگی منفی توان ۲ ضخامت با قرمزی محصول است؛ در این حالت، منحنی به صورت سهمی تغییر می‌کند.

عامل a (قرمزی محصول)

شکل ۴ نشان می‌دهد که با افزایش ضخامت محصول در حال خشک شدن و سرعت جریان هوای داخل خشک‌کن، عامل a (قرمزی محصول) کاهش می‌یابد. با افزایش ضخامت و سرعت جریان هوا، محصول به مدت طولانی‌تری در رطوبت و دمای باقی می‌ماند که مناسب فعالیت آنزیم‌های تجزیه کننده آنتوسیانین‌هاست، و در نتیجه آنتوسیانین‌ها و قرمزی کاهش می‌یابد.

ویدهن و همکاران (Vidhan *et al.*, 2010) می‌گویند خشک کردن باعث کاهش آنتوسیانین‌ها در دانه‌های انار می‌شود. آنزیم پلی فنل اکسیداز نقش مؤثری در تجزیه

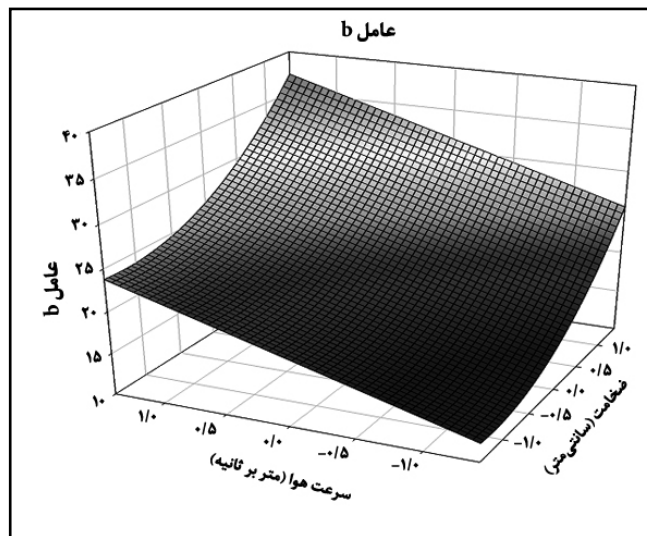


شکل ۴- تأثیر ضخامت محصول و سرعت جریان هوا بر عامل a در خشک‌کن خورشیدی.

افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد کاهش رنگ با کاهش دمای خشک‌کن (بر اثر جریان هوای زیاد) و همچنین با کاهش دمای داخل خشک‌کن (بر اثر جذب حرارت توسط مقدار بیشتر محصول در حال خشک شدن) ارتباط دارد.

عامل b (زردی محصول)

شکل ۵، تغییرات عامل b (زردی محصول) را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل می‌توان دریافت که با افزایش ضخامت و سرعت جریان هوا زردی محصول



شکل ۵- تأثیر ضخامت محصول و سرعت جریان هوا بر عامل b در خشک کن خورشیدی.

هوای آزاد یکی از دلایل کاهش کیفیت رنگ آنها در مقایسه با نمونه‌های تولید شده در خشک کن خورشیدی است که کمتر در معرض نور خورشید قرار می‌گیرند. جانجای و همکاران (Janjai *et al.*, 2009) و پتیل (Patil, 1984) نتایج مشابهی در مورد رنگ موز و نارگیل خشک شده با خشک کن خورشیدی به دست آورده‌اند.

مطابق جدول ۴، رنگ محصول در روش خشک کردن خورشیدی مطلوب‌تر از رنگ محصول در روش آفتابی است. یکی از عوامل مؤثر بر رنگ محصولات خشک شده در روش آفتابی تابش نور خورشید و مدت زمانی است که نمونه‌ها در معرض نور خورشید قرار می‌گیرند. طولانی‌تر بودن زمان تابش نور خورشید در نمونه‌های خشک شده در

جدول ۴- مقایسه میانگین برخی پارامترهای اندازه‌گیری شده در تیمارهای آزمایشی

تیمارها	زمان خشک شدن (ساعت)	اسیدیته (درصد)	رنگ			ویتامین ث ۱۰۰گرم/میلی‌گرم	کپک و مخمر ^۱	تعداد کل باکتری‌ها ^۲	باکتری‌های اسیدوست ^۳
			L	a	b				
۱سانتی‌متر (آفتابی)	۱۴۶b	۷/۳۱a	۳۷/۷۷۷b	۱۹/۳۰۳b	۱۹/۳۸ b	۱۳/۳۷b	۳۱۰b	۴۵a	۲۷/۳۳۳a*
۲سانتی‌متر (آفتابی)	۱۷۵a	۷/۲۲a	۳۸/۷۶۳ab	۱۹/۲۳۹b	۲۰/۴۸ b	۱۳/۳۷b	۳۴۱a	۴۷/۷a	۳۱/۳۳۳a
۲سانتی‌متر - ۳ متربرثانیه (خورشیدی)	۴۵/۳۳۳c	۶/۹۵b	۴۳/۵۹۷a	۲۱/۰۴۶a	۲۲/۴۴ a	۱۶/۷۷۳a	۴۳/۳۳c	۰b	۰b

*حروف متفاوت در ستون‌ها نشان دهنده وجود تفاوت آماری بین میانگین‌ها در سطح ۵ درصد است.

ویتامین ث خشک کن و در نتیجه افزایش مدت زمان خشک شدن، میزان اتلاف ویتامین ث محصول افزایش می‌یابد. مدت زمان زیاد در دماهای پایین، در مقایسه با دماهای بالا و

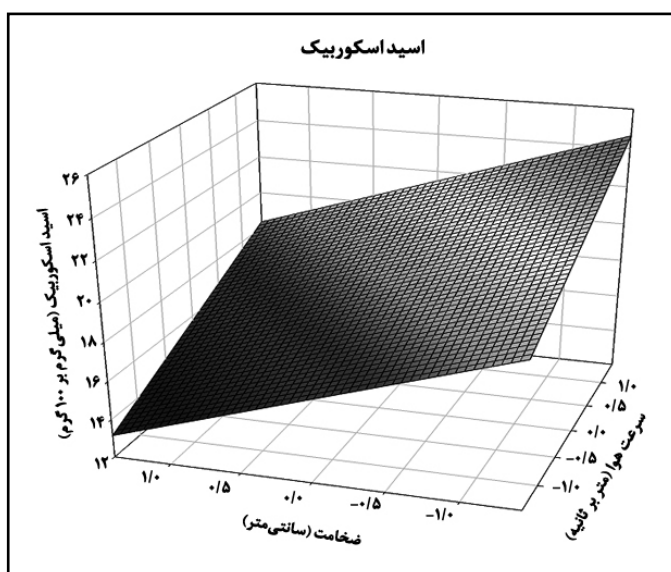
همان طور که در شکل ۶ نشان داده شده است، با افزایش ضخامت محصول و سرعت جریان هوا در

تعیین شرایط بهینه خشک کردن دانه انار...

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، مدت زمان خشک شدن دانه‌های انار در روش آفتابی ۶ الی ۷ روز بیشتر از خشک کردن این محصول در روش خورشیدی است. به نظر می‌رسد باقی ماندن طولانی دانه‌های انار در رطوبت و فعالیت آبی بالا در روش آفتابی دلیل کاهش بیشتر ویتامین ث نسبت به دماهای بالاتر در خشک‌کن خورشیدی است. به این نکته نیز باید توجه داشت که محصول در خشک‌کن خورشیدی در تمام ساعات روز در معرض دماهای بالا قرار نمی‌گیرد. مدت زمان قرار گرفتن محصول در دمای بالا، حدود ۶۰ درجه سلسیوس، ۲ تا ۳ ساعت در روز است.

ساعات‌های دیگر کاهش رطوبت محصول عمدتاً در دمای حدود ۴۰ درجه سلسیوس صورت می‌گیرد. گالالی و همکاران (Gallali et al., 2000) و مصباحی و همکاران (Mesbahi et al., 2006) کیفیت کשמش‌های تولیدی با خشک‌کن خورشیدی را بالاتر از کیفیت این محصول به هنگام خشک کردن در هوای آزاد می‌دانند. جیراج و همکاران (Jairaj et al., 2009) نتایج مشابهی ارائه داده‌اند.

مدت زمان کم، باعث کاهش بیشتر ویتامین ث شده است. بنابراین، طولانی شدن زمان خشک کردن و ماندن زیاد محصول در دستگاه، مواد مغذی حساس در برابر دمای بالا را در این شرایط کاهش می‌دهد. به نظر می‌رسد که این نتیجه با نتایج محققان دیگر از جمله بچیر و همکاران (Bchir et al., 2010) و لینگ (Laing et al., 1978) در مورد کاهش ویتامین ث مغایرت دارد. چون اکثر آنها دماهای بالا را عامل کاهش ویتامین ث می‌دانند اما در اینجا ویتامین ث در روش خشک کردن آفتابی، بر خلاف دمای پایین‌تر، بیشتر کاهش می‌یابد تا در خشک‌کن خورشیدی (جدول ۳). اما نتایج شوزنگ و همکاران (Shuzheng et al., 2009) در مورد خشک کردن عناب در خشک‌کن کابینتی، حفظ ویتامین ث در دماهای بالا را تایید می‌کند. بنا به تحقیقات لینگ (Laing et al., 1978)، رابرتسون و سامانیگو-اسگورا (Robertson & Samaniego-Esguerra, 1990)، و هیونگ و چن (Hyoung & Chin, 1998) بالا بودن دوره نگهداری محصولات حاوی ویتامین ث و میزان رطوبت یا فعالیت آبی بالای آنها باعث کاهش بیشتر ویتامین ث می‌شود.

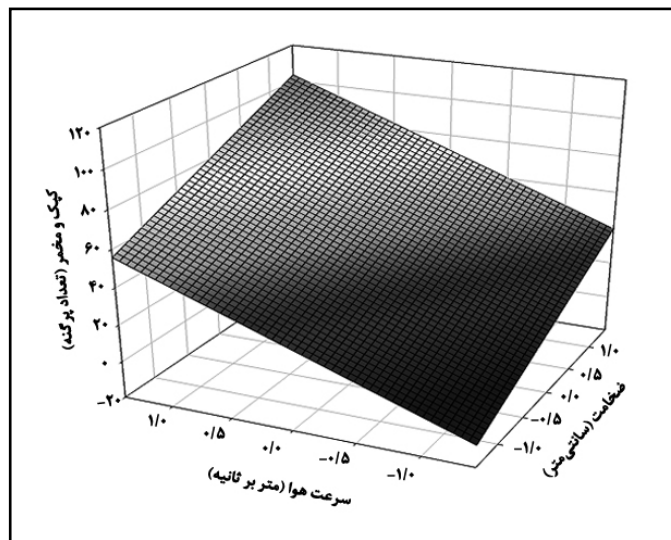


شکل ۶- تأثیر ضخامت محصول و سرعت جریان هوا بر ویتامین ث در خشک‌کن خورشیدی.

میکروارگانیسم‌ها

با افزایش ضخامت لایه محصول و سرعت جریان هوا، مدت زمان خشک شدن افزایش می‌یابد. با افزایش مدت زمان خشک شدن، نمونه برای مدت زمان زیادتری در رطوبت بالا باقی می‌ماند و میکروارگانیسم‌ها فرصت کافی برای رشد پیدا می‌کنند (شکل ۷). رطوبت بالا استعداد محصول را در برابر فسادپذیر بودن آن بالا می‌برد، به همین دلیل نمونه‌هایی که مدت زمان خشک شدن آنها طولانی شد، بو و ظاهر نامطلوبی پیدا کردند، که تایید کننده مطلب فوق است. در نمونه‌هایی که در خشک‌کن خورشیدی آماده شدند، باکتری‌ها و حتی باکتری‌های اسید دوست رشد نکردند. داده‌های حاصل از اندازه‌گیری پارامترهای مورد مطالعه در نمونه‌های تهیه شده به روش آفتابی در دو

ضخامت مختلف ۱ و ۲ سانتی‌متر با میانگین تیمار ۲ سانتی‌متر - ۳ متر بر ثانیه در خشک‌کن خورشیدی تجزیه و تحلیل شدند. بر این اساس، بین مدت زمان خشک شدن، اسیدیته، فاکتور a رنگ، و ویتامین ث تفاوت معنی دار وجود دارد ($p < 0/01$). نتایج آزمایش‌ها و مقایسه میانگین نتایج در جدول ۴ خلاصه شده است. پیشتر توضیح داده شد که مدت زمان تابش نور خورشید علاوه بر کاهش کیفیت رنگ تأثیر بسزایی در کاهش ویتامین ث نیز دارد. ندولا و همکاران (Ndawula *et al.*, 2004) و کارابولوت و همکاران (Karabulut *et al.*, 2007) کاهش بتا-کاروتن، رنگ، و ویتامین ث در انبه و زردآلوی خشک شده در روش آفتابی را در مقایسه با روش خورشیدی و هوای داغ گزارش کرده‌اند.



شکل ۷- تأثیر ضخامت محصول و سرعت جریان هوا بر رشد کپک و مخمر در خشک‌کن خورشیدی.

اسیدیته

جدول ۵، نشان می‌دهد که ضخامت و سرعت جریان هوا تأثیر معنی دار بر اسیدیته در نمونه‌های خشک شده در خشک‌کن خورشیدی ندارند ($p < 0/05$). در جدول ۴ مشاهده می‌شود که اسیدیته‌ها در نمونه‌های خشک شده

در روش آفتابی با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند اما تفاوت اسیدیته در نمونه‌های خشک شده در این دو روش معنی دار است ($p < 0/05$). رشد و فعالیت میکروارگانیسم‌ها در نمونه‌های خشک شده در روش آفتابی دلیل بروز این تفاوت و بالا رفتن اسیدیته است.

جدول ۵- اسیدیته تیمارهای مختلف در خشک‌کن خورشیدی

تیمارها	۲ متربر ثانیه	۲ متربر ثانیه	۲ متربر ثانیه	۳ متربر ثانیه	۳ متربر ثانیه	۴ متربر ثانیه	۴ متربر ثانیه	۳ متربر ثانیه	۲ متربر ثانیه
اسیدیته (درصد)	۶/۸۹	۶/۶۴	۶/۹۲	۶/۵۷	۶/۸	۶/۳	۶/۹۱	۶/۹۸	۶/۹۵

آزمون‌های حسی

زیاد نور خورشید موجب تغییر طعم، و رانسیدیتی اجزای آن در اثر فعالیت آنزیم‌ها و میکروارگانیسم‌ها شده است. زمان خشک شدن اناردانه با ضخامت ۳ سانتی‌متر در مقایسه با نمونه‌های ۱ و ۲ سانتی‌متر به حدی طولانی است که بو و ظاهری بسیار نامطبوع پیدا می‌کنند. جانجای و همکاران (Janjai et al., 2009) و پتیل (Patil, 1984) نتایج مشابهی در مورد طعم موز و نارگیل خشک شده با خشک‌کن خورشیدی به دست آورده‌اند.

آزمون حسی نشان داد که طعم نمونه‌های مختلف تولید شده در خشک‌کن خورشیدی تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند. اما بین نمونه‌های تولید شده در روش آفتابی و خشک‌کن خورشیدی تفاوت معنی‌داری در طعم وجود دارد ($p < 0/01$). نتایج در جدول ۶ نشان داده شده است. طولانی بودن زمان خشک شدن نمونه‌ها و باقی ماندن آنها در رطوبت بالا در روش آفتابی و همچنین تابش

جدول ۶- امتیاز و نتایج طعم در آزمون کراسکل والیس برای چهار ضخامت خشک‌کن خورشیدی و ضخامت ۱ سانتی‌متر آفتابی

تیمارها	خشک‌کن خورشیدی				روش آفتابی	
	۳ متربر ثانیه	۲ متربر ثانیه	۲ متربر ثانیه	۳ متربر ثانیه	۳ متربر ثانیه-۲ سانتی‌متر	۱ سانتی‌متر
میانگین امتیازها	۳/۴۲a	۳/۱۵ a	۳/۱۵ a	۳/۴۲a	۳/۶۳a	۲/۸۴b

میانگین‌هایی که با حروف a نشان داده شده‌اند در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند. حروف a و b نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۱ درصد هستند.

نتیجه‌گیری

در خشک‌کن خورشیدی ضخامت ۰/۶ سانتی‌متر همراه با سرعت جریان هوای ۳ متر بر ثانیه به حالت مختلط است. با توجه به فراوانی شدت تابش آفتاب در مناطق جنوبی، ترویج این نوع خشک‌کن برای دانه انار و نیز دیگر محصولات کشاورزی توصیه می‌شود.

خشک کردن دانه انار با خشک‌کن خورشیدی نه تنها موجب افزایش کیفیت محصول می‌شود بلکه مدت زمان خشک شدن را به مقدار قابل توجهی (۸۳ درصد) کاهش می‌دهد. بهترین حالت در مورد خشک کردن دانه‌های انار

مراجع

- Anon. 1991. Fruit juices – Test methods. Institute of Standards and Industrial Research of Iran. ISIRI. No. 2685. (in Farsi)
- Anon. 1993. Engineering research and design unit of producing and industrial karino company. Drying agricultural products a way to economic independence. (in Farsi)
- Anon. 1998. Report of investigating pomegranate issues in Iran (Seminar). University Jihad. Agricultural and Natural Resources Collages from Tehran University Karaj. (in Farsi)

- Anon. 1998. Microbiology of food and animal feeding stuffs - Horizontal method for the enumeration of yeasts and moulds - Part 1 : Colony count technique in products with water activity greater than 0.95. Iran National Standard. (in Farsi)
- Anon. 2001. Dried pomegranate seeds (Anardane). Properties and experimental methods. Iran National Standard. (in Farsi)
- Anon. 2006. Canned pickled cucumbers -Specifications and test methods. Iran National Standard. (in Farsi).
- Anon. 2006. Microbiology of food and animal feeding stuffs - Horizontal method for the enumeration of microorganisms –Colony count technique at 30 c. 5272-1. Iran National Standard. (in Farsi)
- Anon. 2008-2010. The result of a sample survey design for horticultural products. Ministry of Agricultural Jihad. Tehran. Iran. (in Farsi)
- Akwasi, A. 1997. Dehydration of food crops using a solar dryer with convective heat flow. *Solar Energy*, 59 (4-6): 121-126.
- Bchir, B., Besbes, S., Karoui, R., Attia, H., Paquot, M. and Blecker, C. 2010. Effect of air-drying conditions on physico-chemical properties of osmotically pre-treated pomegranate seeds. *Food Bioprocess Technol.* DOI 10.1007/s11947-010-0469-3.
- Bennamoun, L. and Belhamri, A. 2002. Design and simulation of a solar dryer for agriculture products. *J. Food Eng.* 59, 259-266.
- Dadashzade, M., Zomorodian, A. and Mesbahi, GH. 2008. The effects of air velocity and mode of drying on the moisture reduction trend in a cabinet solar drier. *Research–Scientific J. Agric. Sci. Industry.* 22, 23-43. (in Farsi)
- Franz, R., Marcus, N., Hermann, L., Serm, J. and Busarakorn, M. 2009. Potential of roof-integrated solar collectors for preheating air at drying facilities in Northern Thailand. *Renewable Energy.* 34, 1661-1667.
- Fuller, R.J. 1995. A comparison between solar dryers and convectional fuel dehydrators for on-farm drying. *Drying Technol.* 13(5-7): 1489-1502.
- Gallali, Y.M., Abujnah, Y.S. and Bannani, F.K. 2000. Preservation of fruits and vegetables using solar drier: a comparative study of natural and solar drying. Chemical analysis and sensory evaluation data of the dried samples (grapes, figs, tomatoes and onions). *Renewable Energy.* 19, 203-212.
- Horwitz, W. 2000. AOAC, Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. 17 th ed. Association Official Analytical Chemists Washington. D.C. 2, 16-20.
- Hyoun, S.L. and Chin, S.C. 1998. Rates of vitamin C loss and discoloration in clear orange juice concentrate during storage at temperatures of 4-24 °C. *J. Agric. Food Chem.* 46, 4723-4727. DOI: 10.1021/jf980248w.
- Jairaj, K.S., Singh, S.P. and Srikant, K. 2009. A review of solar dryers developed for grape drying. *Solar Energy.* In press.
- Janjai, S., Lamert, N., Intawee, P., Mahayothee, B. and Bala, B.K. 2009. Experimental and simulated performance of a PV-ventilated solar greenhouse dryer for drying of peeled longan and banana. *Solar Energy.* In press.

- Jokar, A., Maftoonazad, N. and Jouker, L. 2011. Investigation of drying of pomegranate seeds by a tunnel dryer and sun drying. Research Report. Agric. Eng. Res. Ins. (AERI). Karaj. (in Farsi)
- Kalra, S.K. and K.C., Bhardwaj. 1981. Use of simple solar dehydrator for drying fruit and vegetable products. J. Food Sci. Technol. (India). 18, 23-26.
- Karabulut, I., Topcu, A., Duran, A., Turan, S. and Ozturk, B. 2007. Effect of hot air drying and sun drying on color values and β -carotene content of apricot (*Prunus armenica* L.). LWT - Food Sci. Technol. 40, 753-758.
- Kingsly, A.R.P. and Singh, D.B. 2007. Drying kinetics of pomegranate arils. J. Food Eng. 79, 741-744.
- Laing, B.M., Schlueter, D.L. and Labuza, T.P. 1978. Degradation kinetics of ascorbic acid at high temperature and water activity. J. Food Sci. 43, 1440-1443.
- Mani, A. 1980. Hand book of solar radiation data for India. Madras. Allied Pub.
- Mesbahi, GH., Zomorodian, A., Dadashzade, M. and Farahnaki, A. 2006. Comparison raisin production by solar drying and other methods. Iran Food Sci. Technol. J. 2, 61-73. (in Farsi)
- Ndawula, J., Kabasa, J.D. and Byaruhanga, Y.B. 2004. Alterations in fruit and vegetable β -carotene and vitamin C content caused by open-sun drying, visqueen-covered and polyethylene-covered solar-dryers. African Health Sci. 4, 125-130.
- Patil, R.T. 1984. Design and development of solar copla dryers. Agricultural Mechanization, Asia, Africa, Latin America. 15(2): 59-62.
- Robertson, G.L. and Samaniego-Esguerra, C.M. 1990. Effect of soluble solids and temperature on ascorbic acid degradation in lemon juice stored in glass bottles. J. Food Quality. 13, 361-374. DIO: 10.1111/j.1745-4557.1990.tb00032x.
- Sethi, V.P. and Sadhna, A. 2009. Improvement in greenhouse solar drying using inclined north wall reflection. Solar Energy. In press.
- Shuzheng, F., Zhengfu, W., Xiaosong, H. and Ashim, K.D. 2009. Hot-air drying of whole fruit Chinese jujube (*Zizyphus jujuba* Miller): physicochemical properties of dried products. Inter. J. Food Sci. Technol. 44, 1415-1421.
- Vidhan, J., Ara, D. and John, R.P. 2010. Anthocyanins and polyphenol oxidase from dried arils of pomegranate (*Punica granatum* L.). Food Chem. 118, 11-16.
- Watts, B.M., Ylimaki, G.L., Jeffery, L.E. and Elias L.G. 1989. Basic Sensory Methods for Food Evaluation. The International Development Research Center Ottawa, ISBN, Canada. pp. 66-75.
- Yaldyz, O. and Ertekyn, C. 2001. Thin layer solar drying of some vegetables. Drying Technology, 19 (3/4): 583-597.
- Zare, D., Zomorodian, A. and Ghasemkhani, H. 2005. The effects of air velocity and time on the moisture reduction trend in a semi-continuous solar dryer. J. Sci. Technol. Agric. Nat. Res. 9, 264-251. (in Farsi)
- Zomorodian, A. and Alame, A.R. 2002. Investigating drying rice in thin layer and determining the best thickness by applying a natural solar dryer. J. Sci. Technol. Agric. Nat. Res. 6, 217-209. (in Farsi)



Optimum Conditions for Drying Pomegranate Arils in a Solar Dryer Using Surface Response Method

A. Jokar*, A. Zomorodian, N. Maftoonazad and L. Joukar

* Corresponding Author: Academic member of Research Instructor in Agricultural Engineering Department, Research Center for Agriculture and Natural Resources, Zarghan, Shiraz, Fars, Iran. E-Mail: akbarjokar@gmail.com

Received: 7 March 2011, Accepted: 17 December 2011

This study determined optimum conditions for drying pomegranate arils in a solar dryer. A cabinet solar dryer was used in active and mixed modes. The response surface method was employed with nine treatments (runs) and a control run (3 m/s air velocity and 2 cm in thickness) and five replications. The Bryte cultivar was tested and samples were dried to approximately 10% moisture. Drying time, vitamin C, color, acidity, and microorganisms were evaluated in the samples. The effects of thickness and air velocity on drying time and all qualitative factors were significant except for acidity and taste ($p < 0.05$). Drying time, yellowness (b factor in color) and microorganisms increased as thickness and air velocity increased. Brightness (L factor in color), redness (a factor in color), and vitamin C decreased with as thickness and air velocity increased. The quality of the dried products in the solar dryer was much better compared to the sun-dried control samples. Samples 0.6 cm in thickness with 3 m/s air velocity had the best quality in the solar dryer. Their drying time decreased 85% in comparison with sun drying.

Keywords: Pomegranate seeds, Response surface method, Solar dryer, Sun drying