

## بررسی عملکرد یک خشک‌کن خورشیدی اتوماتیک برای محصولات انگور، انجیر و آلو

حمیدرضا فرامرزی<sup>۱</sup>، سیدرضا موسوی سیدی<sup>۲\*</sup>، سید جعفر هاشمی<sup>۳</sup> و داوود کلانتری<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۹۴/۳/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۵/۵/۲۶

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

<sup>۲</sup> استادیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

<sup>۳</sup> دانشیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

\*مسئول مکاتبه: Email: mousavi22@yahoo.com

### چکیده

در این تحقیق، یک گرم‌کن خورشیدی اتوماتیک به منظور استفاده از انرژی تابشی خورشید برای خشک کردن محصولات کشاورزی طراحی و ساخته شد. در این خشک‌کن از آب به عنوان سیال انتقال دهنده گرما استفاده شد. یک آزمون به منظور بررسی تأثیر سرعت جریان هوای ورودی به خشک‌کن در سه سطح (۱/۵، ۳ و ۴/۵ متر در ثانیه) بر مدت زمان خشک شدن و نیز میزان چروکیدگی سه محصول انگور، انجیر و آلو مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که سرعت جریان هوا بر چروکیدگی محصولات تأثیر معنی‌دار نداشت، اما بر روی مدت زمان خشک شدن در سطح یک درصد معنی‌دار بود. به طوری که با افزایش سرعت جریان هوا در محدوده مورد آزمون، مدت زمان خشک شدن کاهش پیدا کرد. همچنین محصولات مورد آزمون به روش سنتی نیز خشک گردید و مدت زمان خشک شدن و چروکیدگی محصولات خشک شده در این دو روش با یکدیگر مقایسه شد. تمام محصولات مورد آزمون در روش استفاده از خشک‌کن خورشیدی نسبت به روش سنتی در مدت زمان کمتری خشک شدند، به طوری که مدت زمان خشک شدن برای محصولات انگور ۴۹ درصد، انجیر ۵۲ درصد و آلو ۶۰ درصد کاهش یافت. همچنین تمام محصولات خشک شده در روش استفاده از خشک‌کن خورشیدی نسبت به روش سنتی دارای چروکیدگی کمتری بودند، به طوری که چروکیدگی انگور ۱۳ درصد، انجیر ۱۰ درصد و در آلو ۱۵ درصد کاهش یافت.

**واژگان کلیدی:** انرژی خورشیدی، انتقال آب گرم، برگه میوه، جمع‌کننده خورشیدی، چروکیدگی، خشک‌کن

### مقدمه

فرآوری و خشک می‌گردد. خشک کردن محصولات در معرض نور مستقیم خورشید اگر چه روشی ساده و ارزان است ولی به دلیل کندی فرآیند، افزایش آلودگی‌های میکروبی و نیز تغییرات نامطلوب در ماده غذایی روش مطلوبی به حساب نمی‌آید.

سالانه بخش عمده‌ای از محصولات کشاورزی به منظور کاهش هزینه‌های انبارداری، افزایش ماندگاری و مصرف آن در فصول مختلف سال و نیز به دلیل افزایش بازار مصرف انواع برگه‌های میوه و افزایش صادرات آن

با ضخامت ۱ سانتی‌متر، توسط هر دو خشک‌کن خشک شدند و نیز تأثیر سرعت جریان هوا در سه سطح ۲، ۴ و ۶ متر در ثانیه بر سرعت کاهش رطوبت و میزان چروکیدگی محصول خشک شده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که در این خشک‌کن‌ها افزایش سرعت جریان هوا، مدت زمان خشک شدن سیب را کاهش داده و بر چروکیدگی محصولات خشک شده تأثیر معنی‌دار نداشته است. جانچی و تانگ (۲۰۰۵) بر روی یک خشک‌کن خورشیدی به منظور خشک کردن سبزیجات و ادویه مطالعه کردند. در این تحقیق تأثیر دما و سرعت جریان هوا بر ویژگی‌های فیزیکی محصولات خشک شده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تأثیر دمای محفظه خشک‌کن بر چروکیدگی محصولات معنی‌دار است، در حالی سرعت جریان هوای عبوری از سطح محصولات بر چروکیدگی آن‌ها تأثیری ندارد. گالالی و همکاران (۲۰۰۰)، به بررسی کیفیت میوه‌ها و سبزیجات خشک شده به دو روش سنتی و خورشیدی پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که کیفیت محصول خشک شده توسط خشک‌کن‌های خورشیدی مختلط و غیر مستقیم بهتر از روش سنتی است. همچنین اختلاف معنی‌داری برای میزان قند انگورهای خشک شده در خشک‌کن خورشیدی و روش سنتی مشاهده شد. سربکومار (۲۰۰۸) در پژوهشی عملکرد یک خشک‌کن خورشیدی را مورد بررسی قرار دادند. خشک‌کن مورد استفاده در این تحقیق از نوع فعال و غیر مستقیم و خشک‌کن در زیر صفحه جاذب نصب شده بود. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از انرژی تابشی خورشید به صورت غیر مستقیم، مانع از تغییر رنگ و طعم محصولات می‌شود.

یلدیز و ارتکین (۲۰۰۱) یک خشک‌کن خورشیدی غیر مستقیم با جریان همرفت اجباری طراحی کردند. از این خشک‌کن برای خشک کردن کدو تنبل، لفل سبز، لوبیا سبز و پیاز به صورت لایه نازک استفاده شد. برای مطالعه تأثیر دبی هوا بر سرعت خشک شدن، سه جریان

در پژوهشی، عملکرد خشک‌کن خورشیدی مجهز به لوله‌های آب گرم مورد بررسی قرار گرفته است. جمع‌کننده خورشیدی این خشک‌کن متصل به یک مخزن آب گرم بود که آب را با انرژی تابشی خورشیدی گرم و توسط لوله‌هایی به داخل محفظه خشک‌کن منتقل می‌نموده است. نتایج این تحقیق نشان داده است که استفاده از آب گرم در خشک کردن محصولات کشاورزی، بازده گرمایی خشک‌کن را تا ۳۰٪ افزایش داده و کیفیت محصولات خشک شده به میزان قابل توجهی بهبود می‌یابد (لاماتو و پاپا نیکولائون ۲۰۱۲). از جمله محدودیت‌های کاربرد هوا به عنوان سیال انتقال‌دهنده گرما در جمع‌کننده‌های هوایی عبارت از عایق‌بندی ضعیف کلکتورهای هوا گرمایی به دلیل وجود دریچه باز در قسمت ورودی کانال هوا، پایین بودن ظرفیت حرارتی حجمی هوا و کم بودن ظرفیت انتقال حرارت بین جاذب و هوا می‌باشد در صورتی که مزایای استفاده از آب به عنوان سیال انتقال‌دهنده گرما، عبارت از بالا بودن ظرفیت گرمایی و ضریب هدایت حرارتی می‌باشد (گروپ و همکاران ۱۹۹۵). یکی از عوامل مؤثر در جذب رطوبت توسط هوا از سطح ماده غذایی، جریان هوا است. هر چه قدر جریان هوای عبوری از سطح محصولات، بیشتر باشد جذب رطوبت توسط هوا از سطح ماده غذایی نیز بیشتر خواهد بود و از اشباع شدن هوا از رطوبت جلوگیری به عمل می‌آید. در اکثر روش‌های خشک کردن، سطح ماده غذایی کم و بیش چروکیده می‌شود که به مقدار رطوبت تبخیر شده و نحوه انجام آن بستگی دارد (موجودار ۲۰۰۰). طی خشک شدن، آب بین سلولی به طور مرتب جدا می‌شود و هوا جایگزین آن می‌گردد؛ در نتیجه بافت، قادر به نگهداری شبکه ساختمانی نمی‌باشد، به طوری که ساختمان پوسته بیرونی سلول فرو می‌ریزد و چروکیدگی ایجاد می‌شود (زوگاس و همکاران ۱۹۹۴). اکتاس و همکاران (۲۰۰۹) خشک‌کن‌های پمپ حرارتی و خورشیدی را به منظور خشک کردن سیب ارزیابی نمودند. در این تحقیق سیب‌ها به صورت قطعاتی

سرعت جریان هوا و سرعت چرخش محفظه دوار، مدت زمان خشک شدن زردآلو کاهش می‌یابد. در این تحقیق، یک گرم‌کن خورشیدی اتوماتیک به منظور استفاده از انرژی تابشی خورشید برای خشک کردن محصولات کشاورزی طراحی و ساخته شد و برای حفظ رنگ و ارزش غذایی، محصولات در معرض تابش مستقیم نور خورشید قرار نمی‌گیرند و از آب به عنوان سیال انتقال دهنده گرما استفاده شد. به منظور ذخیره آب گرم در محفظه خشک‌کن، از یک جعبه کندانسور یخچال استفاده شد و انتقال آب گرم از جمع‌کننده به داخل محفظه خشک‌کن، با استفاده از یک پمپ هیدرولیک انجام گردید. یک آزمون به منظور بررسی تأثیر سرعت جریان هوای ورودی به خشک‌کن بر مدت زمان خشک شدن و نیز میزان چروکیدگی سه محصول انگور، انجیر و آلو مورد بررسی قرار گرفت.

#### مواد و روش‌ها

این پژوهش در بخش مکانیک بیوسیستم دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام گرفت. در خشک کردن به روش سنتی با استفاده از روش آفتاب انجام شد. میوه‌های آلو، انجیر و انگور پس از آماده‌سازی در سینی‌های مخصوص پهن و در آفتاب خشک شد. خشک‌کن خورشیدی اتوماتیک به منظور خشک کردن محصولات کشاورزی طراحی و ساخته شد. خشک‌کن یادشده شامل دو قسمت: جمع‌کننده خورشیدی و محفظه خشک‌کن می‌باشد. محفظه خشک‌کن مورد استفاده در این تحقیق، از نوع کابینتی بود. طول، عرض و ارتفاع کابینت به ترتیب ۶۰، ۵۰ و ۹۵ سانتیمتر می‌باشد. محفظه خشک‌کن شامل ۷ عدد سینی کشویی به ابعاد ۵۲ × ۴۵ سانتیمتر است (فاصله بین سینی‌ها ۱۰ سانتیمتر می‌باشد) که محصولات کشاورزی داخل آن قرار گرفته و خشک می‌شوند. به منظور گردش بهتر جریان هوای گرم و کاهش رطوبت محصولات چیده شده بر روی سینی‌ها، کف سینی‌ها از تور فلزی مشبک

مختلف هوا انتخاب گردید و همچنین مقداری از محصول به صورت طبیعی خشک شد. سرعت خشک شدن به شکل معنی داری تحت تأثیر سرعت هوای خشک‌کن بود. افزایش سرعت هوا منجر به افزایش سرعت خشک شدن فلفل سبز و لوبیا شد در حالی که سرعت خشک شدن پیاز و کدو تنبل کاهش یافت. همچنین در تمام نمونه‌ها سرعت خشک شدن در روش طبیعی زیر نور خورشید افزایش یافت.

ولیک و همکاران (۲۰۰۴) طی پژوهشی عملکرد یک خشک‌کن خورشیدی با وزش هوای گرم را برای خشک کردن سیب مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها تأثیر سرعت جریان هوا را در ۶ سطح ۰/۶۴، ۱، ۱/۵، ۲، ۲/۵ و ۲/۷۵ متر در ثانیه بر متغیرهای ضریب انتقال حرارت و سرعت کاهش رطوبت سیب بررسی نمودند. نتایج این تحقیق آن‌ها نشان داد که افزایش سرعت جریان هوا منجر به افزایش ضریب انتقال حرارت در محفظه خشک‌کن و نیز افزایش سرعت تبخیر رطوبت محصولات می‌شود. وارون و همکاران (۲۰۱۲) عملکرد یک خشک‌کن خورشیدی را به منظور خشک کردن گوجه فرنگی ارزیابی نمودند. آن‌ها برای به گردش درآوردن هوای گرم در محفظه خشک‌کن، از روش‌های همرفت طبیعی و اجباری استفاده کردند. در این پژوهش دبی جرمی جریان هوا در روش‌های همرفت طبیعی و اجباری، به ترتیب برابر با ۰/۰۰۶ و ۰/۰۱۹ کیلوگرم در ثانیه محاسبه شد. همچنین دمای محفظه خشک‌کن در روش‌های همرفت طبیعی و اجباری، به ترتیب برابر با ۴۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد به دست آمد. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش دبی جریان هوا زمان مورد نیاز برای خشک کردن گوجه فرنگی کاهش می‌یابد. سرسیلماز و همکاران (۲۰۰۰) عملکرد یک خشک‌کن خورشیدی از نوع سیلندری دوار را به منظور خشک کردن زردآلو ارزیابی نمودند. در این تحقیق تأثیر سرعت جریان هوا و سرعت چرخش محفظه دوار بر مدت زمان لازم برای خشک کردن زردآلو بررسی شد و نتایج نشان داد که با افزایش

هیدرولیک ۱۲ ولت ساخت شرکت Frantic - مدل ۴۲۱۳ (با دبی حجمی ۲ لیتر در دقیقه) استفاده شد. لوله‌های داخل جمع‌کننده توسط شیلنگ نسوز، از یک سو به پمپ هیدرولیک و از سوی دیگر به جعبه کندانسور داخل محفظه خشک‌کن متصل شد. پمپ هیدرولیک جریان برق مورد نیاز خود را به وسیله یک تایمر از موتور الکتریکی دریافت می‌کند. وظیفه پمپ هیدرولیک در این خشک‌کن، انتقال آب سرد از منبع آب به جمع‌کننده خورشیدی، و سپس انتقال آب گرم به داخل محفظه خشک‌کن می‌باشد. در این تحقیق به منظور کنترل دقیق عملکرد خشک‌کن و اتوماتیک نمودن سیستم انتقال آب گرم، از چهار تایمر دیجیتال دو زمانه استفاده شد؛ که وظیفه یکی از تایمرها، کنترل و زمان بندی عملکرد پمپ هیدرولیک است (شکل ۲). به منظور اتوماتیک نمودن حرکت دورانی جمع‌کننده خورشیدی (با توجه به تغییر زاویه تابش در طول روز)، یک تایمر دوزمانه و یک موتور الکتریکی با توان ۵۰ وات و سرعت ۸۰۰ دور بر دقیقه نصب گردید. برق مورد نیاز قطعات الکتریکی به کار رفته در این خشک‌کن، توسط یک باطری ۱۲ ولت - ۱۲ آمپر تأمین می‌شود که روزانه توسط یک سلول خورشیدی با توان ۳۰ وات شارژ می‌گردد (شکل ۲).

ساخته شد. به منظور جلوگیری از زنگ زدگی (به موجب دمای زیاد و رطوبت بالا)، کل فضای داخل محفظه خشک‌کن با رنگ نسوز، رنگ آمیزی شد. جمع‌کننده خورشیدی مورد استفاده در این خشک‌کن از نوع صفحه‌ای تخت و از جنس ورق گالوانیزه دو جداره بود (شکل ۱)؛ که به منظور جلوگیری از اتلاف حرارت، بین جداره‌ها با پشم شیشه عایق‌بندی شد. در این تحقیق از آب به دلیل بالا بودن ظرفیت گرمایی و ضریب هدایت حرارتی، به عنوان سیال انتقال دهنده گرما استفاده شد و بر روی صفحه جاذب لوله‌های آلومینیومی نصب گردید. طول و قطر لوله‌ها به ترتیب ۱۱۰ سانتیمتر و ۱۰ میلی‌متر بوده و تعداد آن‌ها ۱۲ عدد می‌باشد (با ظرفیت حجمی ۱/۰۳ لیتر). صفحه جاذب به کار رفته در کف جمع‌کننده از جنس آلومینیوم به ابعاد  $۹۰ \times ۱۱۰$  سانتیمتر (با سطح مؤثر تقریباً ۱ متر مربع) بود. به منظور جذب بیشتر پرتوهای خورشید و افزایش انتقال گرما به محفظه خشک‌کن، داخل جمع‌کننده (صفحه جاذب و لوله‌ها) با رنگ سیاه مات دو بار رنگ آمیزی شد و در نهایت توسط پوشش شیشه‌ای پوشانده شد. (ارتفاع فضای محبوس ۲۵ سانتیمتر است). به منظور انتقال آب گرم از جمع‌کننده به داخل محفظه خشک‌کن، از یک پمپ



- |                             |                                  |
|-----------------------------|----------------------------------|
| ۱- سلول خورشیدی             | ۲- صفحه جاذب جمع‌کننده خورشیدی   |
| ۳- لوله‌های آلومینیومی مشکی | ۴- کابینت دوجداره (محفظه خشک‌کن) |
| ۵- پایه نگه دارنده دستگاه   | ۶- مخزن آب                       |

شکل ۱- جمع‌کننده خورشیدی و محفظه خشک‌کن



- |                                  |                               |
|----------------------------------|-------------------------------|
| ۱- کنترل شارژر سلول خورشیدی      | ۲- باتری                      |
| ۳- تایمر اصلی دستگاه             | ۴- تایمر الکترو موتور         |
| ۵- تایمر پمپ هیدرولیک            | ۶- تایمر فن محفظه خشک کن      |
| ۷- الکترو موتور                  | ۸- پمپ هیدرولیک               |
| ۹- سیستم انتقال نیرو             | ۱۰- کلید قطع و وصل تایمر اصلی |
| ۱۱- کلید کنترل دستی الکترو موتور | ۱۲- شیلنگ انتقال آب گرم       |
| ۱۳- اهرم دستی تنظیم زاویه افقی   | ۱۴- سطح زیرین جمع کننده       |
| ۱۵- قاب نگه دارنده کلکتور        |                               |

شکل ۲- قطعات به کار رفته در جمع کننده خورشیدی

تایمر پمپ، همواره بر روی ۳۰ ثانیه و زمان خاموش ماندن آن بر روی ۱۰ دقیقه تنظیم گردید. در این تحقیق، تأثیر سرعت جریان هوای ورودی به خشک کن در سه سطح ۱/۵، ۳ و ۴/۵ متر بر ثانیه بر چروکیدگی محصولات خشک شده مورد بررسی قرار گرفت. یک هواکش با سرعت دورانی ۸۰۰ دور در دقیقه داخل محفظه تهویه نصب شد که هوای محیط را به داخل قفسه منتقل می کند. محفظه تهویه دارای یک دریچه ورودی هوا می باشد. این دریچه دارای یک درپوش است که توسط آن، سرعت و دبی حجم هوای ورودی به داخل خشک کن تنظیم می شود، به طوری که با افزایش میزان باز شدن آن، سرعت جریان هوا نیز افزایش می یابد. آزمون تعیین جریان هوای ورودی به قفسه توسط یک بادسنج دیجیتال انجام شد. یک دریچه نیز به منظور

همچنین یک فن دمنده به منظور یکنواخت نمودن دمای هوا و خارج کردن رطوبت محصولات، داخل محفظه خشک کن نصب شد. دو دریچه نیز به منظور ورود هوای تازه و خروج هوای مرطوب، به ترتیب در پایین و بالای محفظه خشک کن تعبیه شد. به منظور انتقال آب گرم از جمع کننده خورشیدی، یک کندانسور یخچال با قدرت یک اسب بخار داخل محفظه خشک کن نصب گردید. تعداد لوله های کندانسور ۵۲ عدد، طول و قطر آنها به ترتیب برابر ۴۰ و ۰/۸ سانتیتر و فاصله بین آنها ۱/۵ سانتی متر می باشد (با ظرفیت حجمی ۱/۰۴ لیتر). با در نظر گرفتن ظرفیت حجمی لوله های آلومینیومی داخل جمع کننده (تقریباً یک لیتر) و دبی حجمی پمپ هیدرولیک، ۳۰ ثانیه زمان لازم است تا آب داخل جمع کننده، به طور کامل توسط پمپ جابجا گردد. از اینرو زمان روشن ماندن

### مدت زمان خشک شدن

رطوبت محصولات در این تحقیق توسط دستگاه رطوبت سنج مواد غذایی اندازه گیری شد و فرآیند خشک شدن زمانی متوقف گردید که رطوبت محصولات تا حد مجاز کاهش یافت.

رطوبت نسبی محصولات خشک شده (بر پایه تر):

انگور: ۲۲ درصد، انجیر: ۲۳ درصد، آلو: ۲۵ درصد می- باشد.

خروج هوای مرطوب در بالای قفسه تعبیه شد. برای تغییر سرعت جریان هوا از یک خفه‌کن صفحه‌ای داخل محفظه تهویه استفاده شد. محصولات مورد آزمون شامل سه محصول انگور عسکری سفید، انجیر زرد، آلو سیاه بود. (شکل ۳).



شکل ۳- قفسه خشک‌کن حاوی انگور، انجیر و آلو

### میزان چروکیدگی

برای تعیین میزان چروکیدگی محصولات، حجم نمونه‌ها توسط بطری‌های چگالی سنج (پیکنومتر) مدل Socorox ساخت کشور سوئیس با دقت اندازه‌گیری از ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ میکرولیتر اندازه‌گیری شد (رضوی و اکبری ۱۳۸۸). در این روش از تولوئن ( $C_6H_5CH_3$ ) به عنوان مایع درون پیکنومتر استفاده شد.

دلایل استفاده از تولوئن در این آزمایش عبارتند از:

- ۱- به مقدار بسیار ناچیزی جذب نمونه می‌شود.
- ۲- کشش سطحی کمی دارد، بنابراین تمام سطح نمونه را پر کرده و حباب‌های هوا اطراف نمونه باقی نمی‌ماند.

۳- دانسیته پایینی دارد و در نتیجه نمونه‌ها در آن فرو

می‌روند.

برای اندازه‌گیری حجم نمونه‌ها مراحل زیر انجام شد:

- ۱- ابتدا پیکنومتر با مایع تولوئن پر و سپس با ترازو مدل SKY600 ساخت کشور تایوان با دقت اندازه‌گیری  $0.01$  گرم توزین شد. دانسیته تولوئن بر اساس رابطه ۱ تعیین شد.

$$\rho_T = \frac{M_T - M_p}{V_p} \quad (1)$$

۱- که در این رابطه:

$\theta_T$  = دانسیته تولوئن (گرم بر لیتر)

خشک شدن، میزان چروکیدگی محصولات خشک شده از

رابطه ۳ به دست آمد (مرتضوی ۱۳۸۳).

$$S = \frac{V_0 - V}{V_0} \quad (3)$$

که در این رابطه:

$S$  = میزان چروکیدگی (درصد)

$V_0$  = حجم نمونه قبل از خشک شدن (لیتر)

$V$  = حجم نمونه بعد از خشک شدن (لیتر)

### طرح آماری مورد استفاده

در این تحقیق، از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار استفاده شد. کلیه تجزیه و تحلیل‌ها در محیط نرم افزار Minitab انجام پذیرفت. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای Tukky در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد. برای رسم نمودارهای موجود نیز از صفحه گسترده Excel استفاده گردید.

### نتایج و بحث

اثر سرعت جریان هوا بر زمان خشک شدن محصولات جدول ۱ نشان می‌دهد که اثر سرعت جریان هوا بر مدت زمان لازم برای خشک کردن تمام محصولات مورد آزمایش در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار می‌باشد.

$M_T$  = وزن پیکنومتر پر شده با تولوئن (گرم)

$M_P$  = وزن پیکنومتر خالی (گرم)  $V_P$  = ظرفیت حجمی پیکنومتر (لیتر)

۲ - تعداد مشخصی از نمونه‌ها درون پیکنومتر قرار داده شد و بقیه حجم پیکنومتر با تولوئن پر شد. پیشنهاد شده است که حجم نمونه‌ها باید حدود یک سوم حجم پیکنومتر باشد (رضوی و اکبری ۱۳۸۸). از آنجایی که حجم پیکنومتر مورد استفاده در این تحقیق برابر با یک لیتر بود، نمونه‌های مورد آزمایش برای محصول انگور ۵۰ حبه، برای محصولات انجیر و آلو ۱۰ عدد انتخاب گردید.

۳- پیکنومتر محتوی نمونه و تولوئن توزین شد، سپس حجم نمونه از رابطه ۲ محاسبه شد.

$$V = \frac{M_{td} - (M_{PS} - MP) - (M_{PTS} - M_T)}{\rho_T} \quad (2)$$

که در این رابطه:

$V$  = حجم نمونه (لیتر)

$M_{td}$  = وزن سیال جا به جا شده (گرم)

$M_{PS}$  = وزن پیکنومتر محتوی نمونه (گرم)

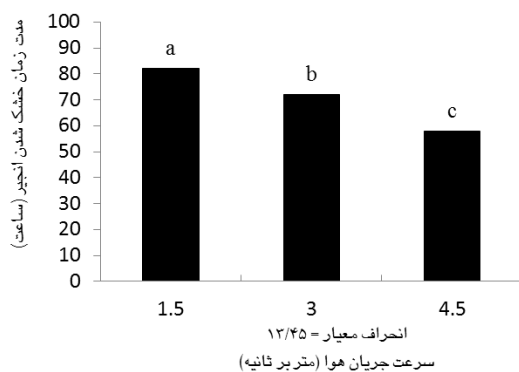
$M_{PTS}$  = وزن پیکنومتر محتوی نمونه و تولوئن (گرم)  
تولوئن جزو حلال‌های هیدروکربنی است و بر بافت محصولات تأثیر می‌گذارد، از این رو نمونه‌های آزمایش شده توسط تولوئن، به منظور خشک شدن مورد استفاده قرار نگرفت. با محاسبه حجم نمونه‌ها قبل و پس از

جدول ۱- جدول تجزیه واریانس اثر سرعت جریان هوا بر مدت زمان خشک شدن محصولات

میانگین مربعات			درجه آزادی	منبع تغییر
آلو	انجیر	انگور		
۴۲۶/۴۸**	۵۲۸/۱۱**	۴۲۳/۹۰**	۲	سرعت جریان هوای ورودی (V)
۴/۷۸	۴/۹۶	۲/۳۷	۶	خطای آزمایش (E)
۲/۹۱	۲/۸۵	۲/۱۷		ضریب تغییرات (CV)

\*\* معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد.

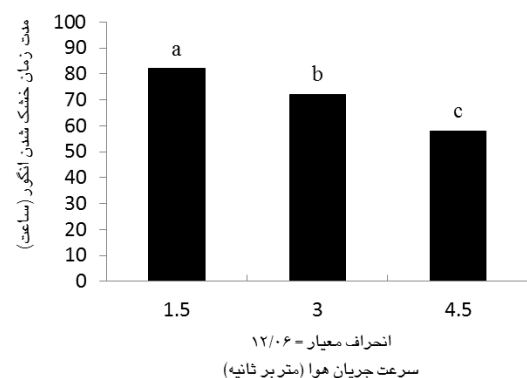
جریان هوای عبوری از سطح محصولات بیشتر باشد، جذب رطوبت از سطح ماده غذایی نیز بیشتر خواهد بود و از اشباع شدن هوا از رطوبت جلوگیری به عمل می‌آید. تحقیقات ولیک و همکاران (۲۰۰۴) روی عملکرد یک خشک کن خورشیدی با وزش هوای گرم، برای خشک کردن سیب نشان داد که افزایش سرعت جریان هوا منجر به افزایش ضریب انتقال حرارت در محفظه خشککن و نیز افزایش سرعت تبخیر رطوبت محصولات می‌شود. سرسیلماز و همکاران (۲۰۰۰) عملکرد یک خشککن خورشیدی از نوع سیلندری دوار را به منظور خشک کردن زردآلو ارزیابی نمودند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که با افزایش سرعت جریان هوا، مدت زمان خشک شدن زردآلو کاهش می‌یابد.



شکل ۵- تأثیر سرعت جریان هوا بر زمان خشک شدن انجیر

تحقیق اکتاس و همکاران (۲۰۰۹) و جانجی و تانگ (۲۰۰۵) که رابطه معنی‌داری بین سرعت جریان هوا بر چروکیدگی محصولات پیدا نکردند، مطابقت دارد. آنها مطابق شکل ۷ میزان چروکیدگی با استفاده از رابطه (۳) برای محصولات انگور برابر با ۳۶ درصد، انجیر برابر با ۴۳ درصد و آلو برابر با ۴۰ درصد می‌باشد.

مطابق شکل‌های ۴، ۵ و ۶ کمترین زمان برای خشک کردن تمام محصولات در سرعت جریان هوای ۴/۵ متر در ثانیه و بیشترین زمان نیز در سرعت جریان هوای ۱/۵ متر در ثانیه به دست آمد، به طوری که در سرعت جریان هوای ۴/۵ متر در ثانیه زمان لازم برای ۳ کیلوگرم خشک کردن محصول‌های انگور برابر با ۵۸ ساعت، انجیر برابر با ۶۳ ساعت و آلو برابر با ۶۲ ساعت می‌باشد. رطوبت نسبی محصولات خشک شده (بر پایه تر): انگور: ۲۲ درصد، انجیر: ۲۳ درصد، آلو: ۲۵ درصد می‌باشد، که با افزایش سرعت جریان هوا در محدوده مورد بررسی، مدت زمان لازم برای خشک کردن محصولات کاهش می‌یابد. نتایج به دست آمده از این آزمون با نتایج حاصل از تحقیقات ولیک و همکاران (۲۰۰۴) و سرسیلماز و همکاران (۲۰۰۰) مطابقت دارد. در توجیه این روند می‌توان چنین گفت که هر چه قدر



شکل ۴- تأثیر سرعت جریان هوا بر زمان خشک شدن انگور

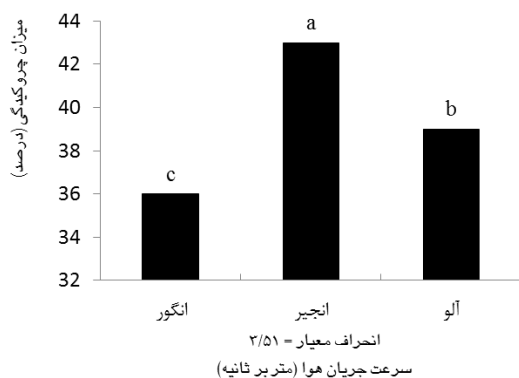
اثر سرعت جریان هوا بر چروکیدگی محصولات نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر سرعت جریان هوای ورودی به قفسه خشککن بر چروکیدگی محصولات در جدول ۲ ارائه شده است. مطابق جدول، تأثیر سرعت جریان هوا بر چروکیدگی محصولات معنی‌دار نمی‌باشد. نتایج به دست آمده از این تحقیق، با نتایج حاصل از



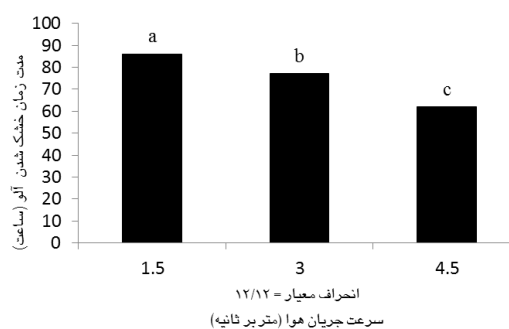
جدول ۲- جدول تجزیه واریانس اثر سرعت جریان هوا بر چروکیدگی محصولات

میانگین مربعات			درجه آزادی	منبع تغییر
آلو	انجیر	انگور		
۰/۷۱ <sup>ns</sup>	۰/۵۹ <sup>ns</sup>	۰/۵۵ <sup>ns</sup>	۲	سرعت جریان هوا (V)
۸/۱۲	۶/۳۵	۵/۲۷	۶	خطای آزمایش (E)
۷/۶۹	۵/۹۰	۶/۲۹		ضریب تغییرات (CV)

ns غیر معنی دار می باشد.



شکل ۷- نمودار مقایسه میانگین چروکیدگی محصولات خشک شده



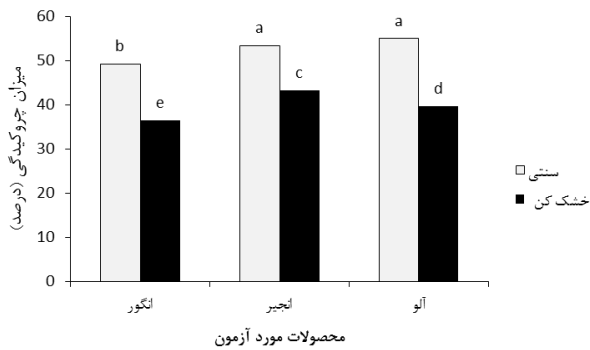
شکل ۶- تأثیر سرعت جریان هوا بر مدت زمان خشک شدن آلو

#### مقایسه چروکیدگی محصولات خشک شده

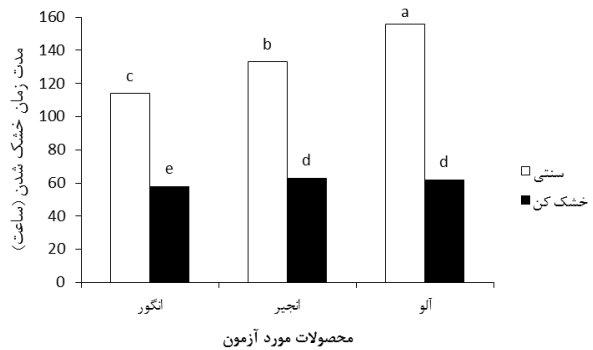
شکل ۹، مقایسه چروکیدگی محصولات خشک شده را در روش سنتی و استفاده از خشک کن خورشیدی نشان می دهد. مطابق شکل ۹، تمام محصولات خشک شده در روش استفاده از خشک کن خورشیدی نسبت به روش سنتی دارای چروکیدگی کمتری می باشند، به طوری که چروکیدگی محصولات انگور ۱۳ درصد، انجیر ۱۰ درصد و آلو ۱۵ درصد کاهش یافت. محصولات خشک شده در این خشک کن دارای کیفیت بهتر و چروکیدگی کمتری است زیرا تحت تابش مستقیم نور خورشید قرار نمی گیرند.

#### مقایسه زمان خشک شدن محصولات

شکل ۸، مقایسه مدت زمان خشک شدن محصولات را در روش سنتی و استفاده از خشک کن خورشیدی با سرعت جریان هوای ۴/۵ متر در ثانیه نشان می دهد. مطابق شکل ۸، تمام محصولات مورد آزمون در روش استفاده از خشک کن خورشیدی نسبت به روش سنتی در مدت زمان کمتری خشک شدند، به طوری که مدت زمان خشک شدن برای محصولات انگور ۴۹ درصد، انجیر ۵۲ درصد و آلو ۶۰ درصد کاهش یافت.



شکل ۹- مقایسه چروکیدگی محصولات خشک شده



شکل ۸- مقایسه مدت زمان خشک شدن محصولات

### نتیجه گیری

زمان کمتری خشک شدند، به طوری که با استفاده از خشک کن مدت زمان خشک شدن برای محصولات انگور ۴۹ درصد، انجیر ۵۲ درصد و آلو ۶۰ درصد کاهش یافت.

۳- تمام محصولات خشک شده در روش استفاده از خشک کن خورشیدی نسبت به روش سنتی چروکیدگی کمتری داشتند، به طوری که با استفاده از خشک کن چروکیدگی محصولات انگور ۱۳ درصد، انجیر ۱۰ درصد و آلو ۱۵ درصد کاهش یافت.

۱- بر اساس نتایج حاصل از بررسی عامل سرعت جریان هوای ورودی به داخل خشک کن بر روی متغیرهای مدت زمان خشک شدن و چروکیدگی محصولات خشک شده، سرعت جریان هوا نقش مهمی در کاهش زمان خشک شدن داشت در حالی که بر چروکیدگی محصولات خشک شده تأثیر معنی داری نداشت.

۲- تمام محصولات مورد آزمون در روش استفاده از خشک کن خورشیدی نسبت به روش سنتی در مدت

### منابع مورد استفاده

- مرتضوی ع، ۱۳۸۳. روش‌های خشک کردن مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد.
- رضوی م و اکبری ر، ۱۳۸۸. خواص بیوفیزیکی محصولات کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
- Lamnatou C, Papanicolaou E and Belessiotis V, 2012. Experimental investing and thermodynamic performance analysis of a solar dryer using an evacuated-tube air collector: *Applied Energy* 94: 232-243.
- Grupp M, Bergler H, Bertand JP, Kormer B and Cieslok J, 1995. Convective Flat Plate collectors and their Applications. *Renewable Energy* 11: 348-354
- Aktas M, Ceylanb Y and Yilmazb S, 2009. Determination of drying characteristics of apples in a solar dryer. *Science Direct* 239: 266-275.
- Gallali YM, Abujnah YS and Bannani FK, 2000. Preservation of fruits and vegetable using solar drier. *Renewable Energy* 19: 203-212.
- Janjai S and Tung P, 2005. Performance of a solar dryer using hot air from roof-integrated solar collectors for drying herbs and spices. *Renewable Energy* 30 (14): 2085-2095.
- Zogzas NP, Maroulis ZB and Marinos D, 1994. Densities Shrinkage and Porosity of some vegetables during air. drying *Technology* 12(3): 1653-1666.
- Mujumdar AS, 2000. *Drying technology in agriculture and food sciences*. Science publishers. Inc. New York. USA.

- Yaldiz O and Ertecin E, 2001. Thin layer solar drying of some vegetable. *Drying Thechnology* 19 (3): 583-597.
- Sreekumar A, Manikantan PE and Vijayakumar KP, 2008. Performance of indirect solar cabinet dryer. *Energy Conversion and Management* 49: 1388-1395.
- Varun S, Sunil D, Sharma A and Sharma N, 2012. Construction and performance analysis of an indirect solar dryer integrated with solar air heater. *Procedia Engineering* 38: 3260-3269.
- Velic D, Planinic M, Tomas S and Bili M, 2004. Influence of airflow velocity on kinetics of convection apple drying. *Journal of Food Engineering* 64: 97-102.
- Sarsilmaza C, Yildizb C and Pehlivan D, (2000). Drying of apricots in a rotary column cylindrical dryer (RCCD) supported with solar energy. *Renewable Energy* 21: 117-127.

## Performance evaluation of an automatic solar dryer for grape, fig and plum

HR Faramarzi<sup>1</sup>, S R Mousavi Seyedi<sup>2\*</sup>, S J Hashemi<sup>3</sup> and D Kalantari<sup>2</sup>

Received: June 03, 2015

Accepted: August 16, 2016

<sup>1</sup> MSc Graduated Student, Department of Mechanic of Biosystem, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

<sup>2</sup> Assistant Professor, Department of Mechanic of Biosystem, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

<sup>3</sup> Associate Professor, Department of Mechanic of Biosystem, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

\*Corresponding author: E mail: Mousavi22@yahoo.com

### Abstract

In this research, an automatic solar dryer designed and constructed in order to use solar energy for agricultural crops drying. In this dryer water is used as heat transfer fluid. An experiment was carried out in order to investigate the effect of air flow velocity into the drying chamber at three levels (1.5, 3 and 4.5 m/s) on drying time and also the amount of shrinkage of three crops including grape, fig and plum. Results indicated that air flow velocity doesn't have significant effect on shrinkage, whilst it showed significant effect on drying duration 1 percent level. So with increasing air flow velocity, drying duration is reduced. All tested products with solar dryer, were dried at lower time in comparison with to traditional drying, so drying duration for grape, fig and plum reduced to 49, 52 and 60 percent respectively. Also all the crops have low shrinkage in contrast to the traditional methods, so the shrinkage is reduced 13, 10 and 15 percent at grape, fig and plum respectively.

**Key words:** solar energy, hot water transfer, dried fruit, solar collector, dryer, shrinkage