

الحمد لله



وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
معاونت ترویج

خشک کن خورشیدی خانگی و راهکارهای افزایش کارآیی آن

سرشناسه	: روستاپور، امیدرضا، ۱۳۵۰ -
عنوان و نام پدیدآور	: خشک کن خورشیدی خانگی و راهکارهای افزایش کارایی آن/نویسندگان امیدرضا روستاپور، سیدمنصور علوی منش؛ ویراستار ترویجی فرانک صحرائی، نصیبه پورفاتح؛ ویراستار ادبی محمد یوسفی؛ سرویراستار وجیهه سادات فاطمی؛ تهیه شده در موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، دفتر شبکه دانش و رسانه های ترویجی.
مشخصات نشر	: کرج: سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، معاونت ترویج، نشر آموزش کشاورزی، ۱۳۹۷.
مشخصات ظاهری	: ۳۲ ص: مصور.
شابک	: 978-964-520-506-3
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
موضوع	: خشک کن های خورشیدی
موضوع	: Solar dryers
موضوع	: مواد غذایی -- خشک کن های خورشیدی
موضوع	: Solar food dryers
موضوع	: مواد غذایی -- خشک کن های خورشیدی -- طرح و ساختمان
موضوع	: Solar food dryers -- Design and construction
شناسه افزوده	: علوی منش، سیدمنصور، ۱۳۵۳ -
شناسه افزوده	: موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. دفتر شبکه دانش و رسانه های ترویجی
شناسه افزوده	: سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. معاونت ترویج، نشر آموزش کشاورزی
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۷ ۵خ ۶۰۹/۹ TX
رده بندی دیویی	: ۶۴۱/۴۴
شماره کتابشناسی ملی	: ۵۴۹۷۷۵۷

ISBN:978-964-520-506-3

شابک: ۳-۵۰۶-۵۲۰-۹۶۴-۹۷۸



عنوان: خشک کن خورشیدی خانگی و راهکارهای افزایش کارایی آن

نویسندگان: امیدرضا روستاپور، سیدمنصور علوی منش

مدیر داخلی: شیوا پارسانیک

ویراستار ترویجی: فرانک صحرائی، نصیبه پورفاتح

ویراستار ادبی: محمد یوسفی

سر ویراستار: وجیهه سادات فاطمی

تهیه شده در: موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی - دفتر شبکه دانش و رسانه های ترویجی

ناشر: نشر آموزش کشاورزی

شمارگان: ۲۵۰۰ جلد

نوبت چاپ: اول، ۱۳۹۷

قیمت: رایگان

مسئولیت درستی مطالب با نویسندگان است.

شماره ثبت در مرکز فن اوری اطلاعات و اطلاع رسانی کشاورزی ۵۴۶۹۴ به تاریخ ۹۷/۱۰/۲ است.

نشانی: تهران - بزرگراه شهید چمران - خیابان یمن، پلاک ۱ و ۲، معاونت ترویج،

ص. پ. ۱۱۱۳-۱۹۳۹۵

تلفکس: ۲۲۴۱۳۹۲۳-۰۲۱

مخاطبان:

- ✓ کارشناسان و مروجان مسئول پهنه‌های تولیدی
- ✓ باغداران
- ✓ تولیدکنندگان سبزیجات و میوه‌های خشک در مقیاس کوچک

اهداف آموزشی:

در این نشریه با خشک‌کن خورشیدی خانگی و اجزای آن و نحوه استفاده از آن و نیز کاربرد این وسیله و راهکارهای افزایش کارایی آن آشنا می‌شوید.

فهرست

۹.....	مقدمه
۱۱.....	انواع خشک کن خورشیدی
۱۶.....	مزایای خشک کن خورشیدی نسبت به روش سنتی
۱۶.....	اجزای خشک کن خورشیدی
۱۸.....	نحوه کار با خشک کن خورشیدی
۲۶.....	راهکارهای افزایش بازده در خشک کن خورشیدی
۳۲.....	نتیجه گیری

مقدمه

خشک کردن یا کاهش رطوبت یکی از قدیمی ترین روش های حفظ و نگهداری مواد غذایی است. کاهش رطوبت باعث کاهش فعالیت های میکروبی و فعل و انفعالات شیمیایی یا متوقف شدن آن می شود. همچنین باعث می شود حجم و وزن ماده غذایی کم شود و حمل و نقل و نگهداری غذای خشک شده آسان تر و ارزان تر شود. با توجه به بحران گرم شدن کره زمین و مشکلات محیط زیستی و گرانی انرژی، کشورها تلاش می کنند منابع پاک و مقرون به صرفه را جایگزین سوخت های فسیلی کنند و استفاده مطلوب از منابع تجدید پذیر را توسعه دهند. خورشید انرژی حرارتی هنگفتی دارد که فقط ۱۵ تا ۲۰ درصد آن به کره زمین می رسد. گفتنی است که ایران از نظر دریافت این انرژی جزء کشورهای بسیار غنی است. میزان گرمایی که زمین طی یک ساعت از خورشید دریافت می کند، از تمام انرژی ای که انسان ها در طول یک سال مصرف می کنند، بیش تر است. اگر فقط ۱۵ دقیقه از این انرژی ذخیره شود، تمام نیازهای سالانه انرژی زمین تأمین می شود. استفاده از انرژی خورشید برای خشک کردن میوه ها و دیگر محصولات کشاورزی غالباً به روش سنتی و با پهن کردن میوه در برابر تابش آفتاب انجام می شود. آلودگی ناشی از حمله قارچ ها و

حشرات و پرندگان و جوندگان و نیز ریزش باران‌های ناگهانی و تأثیر دیگر عوامل جوی همچون باد و خاک به‌اضافه یکنواخت‌نشدن خشکی و مدت طولانی‌ای که برای خشک‌شدن محصولات باید طی شود، کاربرد این روش را با محدودیت‌های بسیاری مواجه کرده است. محصولات خشکی که به این روش تولید می‌شود، از لحاظ بهداشتی نامطلوب است و بازارپسند نیست. در سال‌های اخیر، در جهان در زمینه طراحی و ساخت تجهیزات مکانیزه گوناگون برای جذب نور خورشید و استفاده مفید از آن، تلاش‌های بسیاری شده است. از آن جمله می‌توان خشک‌کن‌های خورشیدی صنعتی و خانگی را نام برد.

انواع خشک‌کن خورشیدی

خشک‌کن خورشیدی برحسب روش گرم‌شدن به چند دسته طبقه‌بندی می‌شود. در حالت کلی، خشک‌کن خورشیدی به دو گروه اصلی غیرفعال (گردش طبیعی هوا) و فعال (گردش اجباری هوا) تقسیم‌بندی می‌شود:

- در سیستم غیرفعال، هوا به طور طبیعی گرم می‌شود و بر اثر جریان طبیعی باد در میان لایه‌های محصول به حرکت درمی‌آید.
- در سیستم فعال، جریان هوای گرم از طریق فن‌های مکنده یا دمنده در لابه‌لای محصول به حرکت درمی‌آید.

خشک‌کن‌های خورشیدی فعال و غیرفعال را می‌توان به سه دسته طبقه‌بندی کرد که در طراحی و اجزای تشکیل‌دهنده و روش به‌کارگیری انرژی خورشید با هم تفاوت دارند:

۱- خشک‌کن خورشیدی از نوع یکپارچه یا مستقیم

در روش مستقیم، با تابش مستقیم خورشید بر محصول، عملیات خشک‌شدن صورت می‌گیرد. در این نوع خشک‌کن، محصول روی سینی‌هایی که در محفظه‌ای با در شیشه‌ای قرار دارد، پهن می‌شود. تابش مستقیم خورشید باعث خشک‌شدن محصول می‌شود (شکل ۱).

۲- خشک‌کن خورشیدی از نوع توزیعی یا غیرمستقیم

در روش غیرمستقیم، هوا روی صفحه سیاه‌رنگی به نام «صفحه جاذب» جریان پیدا می‌کند و بر اثر جذب انرژی حرارتی خورشید، گرم می‌شود. سپس هوا از محصول عبور می‌کند و باعث خشک‌شدن آن می‌شود. هوا عموماً به وسیله دمنده‌ای برقی یا در مناطق بادخیز به صورت طبیعی جریان می‌یابد (شکل ۲).



شکل ۱- خشک کن خورشیدی مستقیم



شکل ۲- خشک کن خورشیدی غیر مستقیم

۳- خشک‌کن‌های خورشیدی از نوع ترکیبی

در روش ترکیبی، از هر دو سیستم گرمایشی مستقیم و غیرمستقیم استفاده می‌شود؛ به این ترتیب که هوا پس از عبور از صفحه جاذب، گرم می‌شود و در زیر سینی‌های محصول جریان پیدا می‌کند. از طرفی محفظه سینی‌های محصول، سطح شیشه‌ای شیب‌داری دارد که از طریق آن، خورشید به صورت مستقیم به محصول می‌تابد (شکل ۳).



شکل ۳- خشک‌کن خورشیدی ترکیبی

خشک‌کن‌های خورشیدی خانگی در کشور با این هدف ساخته می‌شود که از انرژی رایگان خورشید برای کاهش ضایعات محصولات کشاورزی و تولید انواع خشکبار و سبزیجات خشک استفاده شود. این امر از امور ضروری و بسیار مهم در کشاورزی و صنایع غذایی است. خشک‌کن‌های خورشیدی با استفاده از انرژی خورشید می‌توانند گرمای لازم را تأمین کنند. بی‌شک تولید خشک‌کن با بازده و عملکرد و بهره‌وری مناسب و هزینه کم، زمینه را برای گسترش به‌کارگیری این دستگاه فراهم می‌کند. به طور کلی، این خشک‌کن شامل این قسمت‌هاست: یک واحد جذب انرژی خورشیدی (کلکتور) (شکل ۴)، محفظه سینی‌های محصول، یک فن کوچک (شکل ۵) برای ایجاد جریان اجباری هوای گرم.



شکل ۴- صفحه جاذب تابش خورشید (کلکتور)



شکل ۵- محفظه سینی‌های محصول

خشک‌کن خانگی ظرفیتی بیش از ۵ کیلوگرم دارد. ساخت خشک‌کن خورشیدی کوچک یکی از راهکارهای ایجاد اشتغال برای بانوان خانه‌دار روستایی و حتی شهری است. همچنین کیفیت محصولاتی که در خشک‌کن‌های خورشیدی تهیه می‌شود، از محصولاتی که به روش سنتی خشک می‌شود، بهتر است. خشک‌کن خورشیدی علاوه بر اینکه از انرژی رایگان خورشید استفاده می‌کند، موجب می‌شود هزینه‌های تولید کاهش یابد. از مزیت‌های دیگر آن، نیانداشتن به تعمیر و نگهداری خاص

و آسان بودن کاربرد و درامدزایی است. فن به کاررفته در این خشک‌کن کوچک ۱۵ وات و مصرف انرژی‌اش بسیار کم است. شایان ذکر است که در مناطق بادخیز می‌توان با استفاده از دودکش‌های بلند در سقف محفظه خشک‌کن، بدون نیاز به فن، جریان طبیعی هوا را در خشک‌کن برقرار کرد. اجزای این خشک‌کن براحتی از یکدیگر جدا می‌شود. به این ترتیب، جابه‌جایی و نگهداری از آن در زمان‌هایی که از آن استفاده نمی‌شود، راحت است. در صورتی که به برق شبکه سراسری دسترسی نباشد، می‌توان با استفاده از یک پنل خورشیدی ۲۰ وات و یک باتری اسیدی ۱۸ آمپرساعت و پرداخت هزینه اندک، برق موردنیاز فن را تأمین کرد.

خشک کردن محصولات با خشک‌کن‌های خورشیدی نسبت به روش سنتی، مزیت‌های کمی و کیفی فراوانی دارد و به طور محسوسی خشک کردن محصول در این نوع دستگاه‌ها سریع‌تر انجام می‌شود.

مزایای خشک‌کن خورشیدی نسبت به روش سنتی

- الف- کاهش زمان خشک‌شدن محصول
- ب- کیفیت بهتر محصول از لحاظ طعم و رنگ و شکل ظاهری
- پ- بازارپسندی بیش‌تر محصول خشک‌شده

اجزای خشک‌کن خورشیدی

اجزای خشک‌کن خورشیدی عبارت است از:

- جمع‌کننده خورشیدی یا واحد جذب تابش خورشید؛
- فن برای ایجاد جریان اجباری هوای گرم در خشک‌کن؛

- محفظه سینی‌های محصول؛
- کانال ارتباطی بین واحد جذب و محفظه خشک‌کن؛
- حسگرهای دما؛
- سیستم گرمایش کمکی که برای تأمین انرژی حرارتی لازم در شرایط جوی نامساعد می‌توان از آن استفاده کرد؛
- شاسی.

اجزای خشک‌کن خورشیدی عموماً از ورق آهن ساخته می‌شود و برای عایق‌کاری دیواره محفظه و واحد جمع‌کننده خورشیدی از پشم سنگ یا پلاستیک‌های عایق مهندسی استفاده می‌شود. صفحه جاذب واحد جمع‌کننده عموماً از صفحات با ضریب جذب بالا (مثل آلومینیوم) ساخته می‌شود. سطوح داخلی واحد جمع‌کننده و صفحه جاذب و داخل محفظه با رنگ مشکی پوشش داده می‌شود. رنگ مشکی باعث جذب گرمای بیش‌تری می‌شود. سینی‌های محصول در داخل محفظه خشک‌کن قرار داده می‌شود و لایه‌های نازک میوه یا سبزیجات بر روی آن‌ها چیده می‌شود. در صورتی که وضعیت جوی منطقه ابری غالب باشد، می‌توان از تجهیزات گرمایش کمکی (مانند گرم‌کن‌های برقی) در خشک‌کن استفاده کرد. این گرم‌کن‌ها در محل اتصال واحد جمع‌کننده به محفظه خشک‌کن نصب می‌شود (شکل ۶). این خشک‌کن از نوع ترکیبی است که هم تابش مستقیم خورشید را دریافت می‌کند و هم هوای گرم عبوری از صفحه جاذب در زیر سینی‌ها جریان دارد. به این ترتیب، زمان خشک‌شدن نسبت به خشک‌کن‌های خورشیدی یکپارچه و توزیعی کم‌تر می‌شود. این نوع خشک‌کن بیش‌تر برای میوه مناسب است. تابش

مستقیم خورشید بر محصولاتی مانند سیب و موز باعث تثبیت رنگ آن‌ها می‌شود؛ اما تابش مستقیم آفتاب برای برخی محصولات، از جمله سبزیجات و زعفران و گل محمدی، مناسب نیست. این خشک‌کن برای خشک کردن این قبیل محصولات پیشنهاد نمی‌شود.

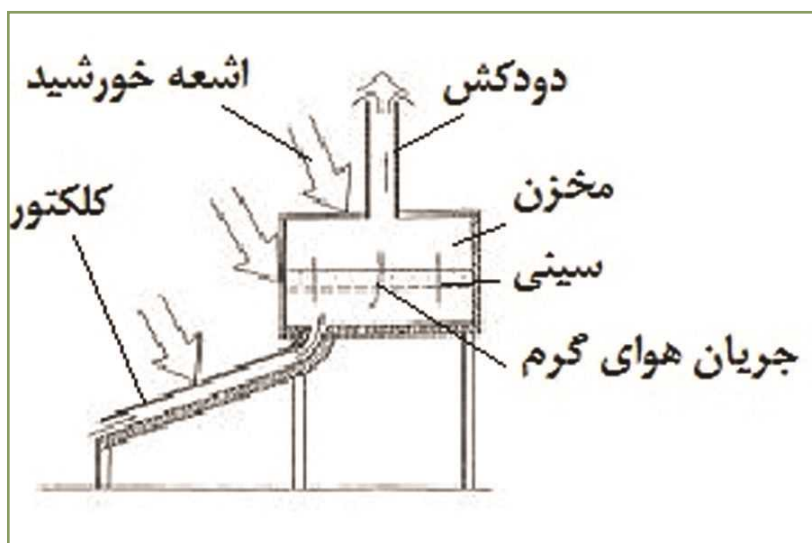


شکل ۶- خشک‌کن خورشیدی خانگی از نوع ترکیبی

نحوه کار با خشک‌کن خورشیدی

برای قرار گرفتن جمع‌کننده خورشیدی در زاویه مناسب با خورشید، از یک شاسی سبک استفاده می‌شود. هوای خروجی از انتهای هر جمع‌کننده خورشیدی به محفظه خشک‌کن انتقال پیدا می‌کند.

جمع‌کننده خورشیدی و محفظه از ورق گالوانیزه ساخته شده است. شکل ۷ چگونگی جریان یافتن هوا در زیر سینی‌های محصول را نشان می‌دهد.



شکل ۷- نحوه جریان یافتن هوا در خشک‌کن خورشیدی

هوا به وسیله فن که یا در انتهای خروجی محفظه یا در ابتدای جمع‌کننده خورشیدی نصب می‌شود، جریان می‌یابد. تغییر دور فن ممکن است به وسیله یک مبدل صورت گیرد. گاهی که جمع‌کننده خورشیدی به تنهایی نمی‌تواند گرمای لازم را تأمین کند، از مشعل‌های گازی یا گرم‌کن‌های برقی استفاده می‌شود. درون محفظه خشک‌کن، سینی‌های محصول قرار دارد. خشک‌کن‌های خورشیدی برای خشک‌کردن محصولات ورقه‌ای و خلال‌شده (از جمله سیب، به، کیوی، موز، مرکبات، خربزه، هندوانه، قارچ، گوجه‌فرنگی) و محصولات دانه‌ای (از جمله انار دانه، خشکبار) و سبزیجات و گیاهان دارویی مناسب است. شکل ۸ نمونه میوه و سبزیجات خشک‌شده در خشک‌کن خورشیدی را نشان می‌دهد.



شکل ۸- چپس میوه

صفحه جاذب خشک‌کن خورشیدی رو به جنوب گذاشته می‌شود تا از حداکثر انرژی تابشی خورشید استفاده کند و گرم شود. زاویه صفحه جاذب نسبت به افق براساس عرض جغرافیایی هر منطقه تعریف می‌شود. این زاویه در بهار و تابستان برابر با مقدار عرض جغرافیایی 15° - درجه و در پاییز و زمستان برابر با مقدار عرض جغرافیایی $15^\circ +$ درجه است تا همیشه اشعه آفتاب عمود بر صفحه جاذب بتابد و باعث گرمایش حداکثری آن شود. هوایی که فن به گردش درمی‌آورد، از روی صفحه جاذب جمع‌کننده خورشیدی عبور می‌کند و گرم می‌شود. هوای گرم به زیر سینی‌های محفظه جریان پیدا می‌کند و باعث خشک‌شدن محصول پهن‌شده روی سینی‌ها می‌شود. میزان هوای ورودی به خشک‌کن را نیز می‌توان به وسیله دریچه تنظیم‌شونده در ورودی جمع‌کننده خورشیدی کنترل کرد.

برای شروع کار، ابتدا محصول روی سینی‌های خشک‌کن پهن می‌شود. سپس سینی‌ها در محفظه در جایگاه خود گذاشته می‌شود (شکل ۹).



شکل ۹- چیدن سینی‌های محصول در محفظه خشک‌کن

پس از بستن در محفظه، فن روشن می‌شود و میزان باد آن به وسیله مبدل دور یا دریچه جمع‌کننده خورشیدی تنظیم می‌شود. میزان جریان هوا در خشک‌کن به عوامل مختلفی بستگی دارد؛ عواملی چون: فصل کاری، دمای محیط، رطوبت محیط، رطوبت محصول، ضخامت لایه محصول. تنظیم سرعت جریان هوا در خشک‌کن براساس دمای داخل محفظه صورت می‌گیرد. افزایش بیش‌ازحد دما باعث آسیب‌دیدن محصول و کاهش دمای داخل محفظه باعث طولانی‌شدن زمان خشک‌شدن می‌شود. یکی از راهکارهای افزایش دمای داخلی خشک‌کن، افزایش سرعت باد در

خشک‌کن با زیاد کردن دور فن یا بیش‌تر باز کردن دریچه ورودی هواست. باید توجه کرد که افزایش بیش‌از حد جریان هوا باعث کاهش دمای داخلی محفظه خشک‌کن می‌شود. دمای بهینه داخل خشک‌کن بسته به فصل کاری و شرایط محیطی، از ۴۰ تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد است. زمان خشک‌شدن محصول بسته به میزان رطوبت اولیه و بافت و مقدار مواد قندی آن متفاوت است.

باید توجه کرد که شیشه روی جمع‌کننده خورشیدی همواره باید تمیز باشد تا بتوان از حداکثر انرژی تابش خورشید استفاده کرد. این عمل باعث افزایش بازده خشک‌کن و کاهش زمان خشک‌شدن می‌شود (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- تمیز کردن سطح شیشه‌ای واحد جمع‌کننده

از این خشک‌کن می‌توان به‌عنوان واحد تولیدی کوچکی در ایجاد مشاغل خرد، از جمله مشاغل خانگی، استفاده کرد. ظرفیت پیشنهادی برای خشک‌کن خانگی با هدف درآمدزایی، ۵ تا ۱۰ کیلوگرم به‌ازای هر وعده است.

در فصل تابستان، در استان فارس روزانه می‌توان به‌وسیله خشک‌کن خورشیدی با متوسط تابش ۲ مگاژول به‌ازای واحد سطح، ورقه‌های محصولات سیب و به و کیوی را با حداکثر ضخامت ۶-۵ میلی‌متر و با تراکم $1/8$ کیلوگرم در هر متر مربع سطح سبد (یا سینی) خشک کرد. اگر شرایط تابش مساعد و دمای خشک‌کن برای حداقل ۳ ساعت در محدوده ۵۰ تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد باشد، زمان خشک‌کردن به حدود ۵ ساعت کاهش پیدا می‌کند. در این صورت، می‌توان در یک روز و نیم در دو نوبت برگه‌های محصولات ذکرشده را خشک کرد. بدیهی است این زمان برای محصولاتی که پوست ضخیم دارد (مانند انگور) ممکن است تا چند روز ادامه یابد.

در استان‌هایی مانند خراسان رضوی و البرز و همدان که میزان تابش کم‌تر از فارس است، قطعاً زمان خشک‌شدن محصول افزایش پیدا می‌کند. رطوبت نهایی نگهداری، بسته به نوع محصول، متفاوت است. این میزان برای بیش‌تر محصولات میوه‌ای بین ۱۰ تا ۱۲ درصد (بر پایه‌تر) و برای محصولاتی همچون قارچ و دیگر سبزیجات تا ۵ درصد و برای محصولاتی همچون گوجه‌فرنگی تا ۸ درصد است. با توجه به رطوبت اولیه محصولی مانند سیب و تلفات حاصل از برش میوه، به‌طور معمول از هر ۵ کیلوگرم سیب، ۱ کیلوگرم چیپس سیب تولید می‌شود. اگر روزانه بتوان $7/5$ کیلوگرم ورق سیب را خشک کرد، بیش از $1/5$ کیلوگرم چیپس در طی روز

تولید می‌شود. جدول ۱ رطوبت اولیه و رطوبت نهایی و زمان خشک‌شدن و قیمت اولیه میوه و قیمت نهایی چیپس و سود تولید چندین نمونه چیپس میوه در خشک‌کن خورشیدی را که به صورت عملی به دست آمده، نشان می‌دهد.

قیمت اولیه خشک‌کن بسته به ظرفیت و تجهیزات جانبی و منبع تأمین برق خورشیدی از ۳ تا ۵ میلیون تومان است. با توجه به سود حاصل از تولید محصولات مختلف (جدول ۱)، بازگشت سرمایه یک تا دو سال طول می‌کشد. بنابراین، توسعه و کاربرد خشک‌کن‌های خورشیدی از لحاظ اقتصادی به صرفه است.

باید توجه کرد که شیشه روی جمع‌کننده خورشیدی همواره تمیز باشد تا بتوان از حداکثر انرژی تابش خورشید استفاده کرد. این عمل باعث افزایش بازده خشک‌کن و کاهش زمان خشک‌شدن می‌شود.

جدول ۱- سود حاصل از تولید چند نمونه خشک‌کن در خشک‌کن خورشیدی خانگی با ظرفیت ۵ کیلوگرم

سود	بهارای هر سری تولید (ریال)	زمان فرایند (ساعت)	قیمت (ریال)	قیمت بهارای یک کیلو (ریال)	جرم محصول خشک (گرم)	رطوبت ثانویه (درصد)	رطوبت اولیه (درصد)	قیمت کل (ریال)	قیمت بهارای یک کیلو (ریال)	جرم اولیه اسلایس (کیلوگرم)	محصول
۱۳۰۰۰۰	۴/۵	۲۴۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰	۱۲۰۰	۱۰	۷۸	۵۰۰۰۰	۱۰۰۰۰	۵	۵	سیب زرد
۱۲۰۵۰۰	۷	۱۹۵۵۰۰	۳۳۰۰۰۰	۸۵۰	۱۲	۸۵	۵۰۰۰۰	۱۰۰۰۰	۵	۵	نارنگی
۱۳۰۰۰۰	۲/۵	۵۲۰۰۰	۲۰۰۰۰۰	۲۶۰	۸	۹۴	۲۸۰۰۰	۷۰۰۰	۴	۴	گوجه‌فرنگی
۱۰۰۰۰۰	۳	۷۵۰۰۰	۲۵۰۰۰۰	۳۰۰	۴	۹۰	۱۶۵۰۰۰	۵۵۰۰۰	۳	۳	قارچ
۱۴۹۰۰۰	۶	۲۴۹۰۰۰	۳۰۰۰۰۰	۸۲۰	۱۰	۸۵	۷۵۰۰۰	۱۵۰۰۰	۵	۵	آلو سیاه
۱۴۰۰۰۰	۲/۵	۳۳۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	۳۳۰	۵	۸۴	۱۲۰۰۰	۶۰۰۰	۲	۲	نعنا
۸۲۰۰۰۰	۷	۱۵۴۰۰۰	۲۲۰۰۰۰۰	۷۰۰	۱۲	۸۱	۵۰۰۰۰	۱۰۰۰۰	۵	۵	پرتقال

راهکارهای افزایش بازده در خشک‌کن خورشیدی

استفاده از خشک‌کن خورشیدی روشی مناسب است که برای بهره‌گیری از انرژی تجدیدپذیر خورشید به کار می‌رود. به‌علاوه، با این کار، مصرف سوخت‌های فسیلی و در نتیجه، آلودگی‌های زیست‌محیطی کاهش می‌یابد. با توجه به وضعیت بسیار خوب تابش در کشورهای جهان، می‌توان استفاده از این محصول را هرچه بیش‌تر گسترش داد. تابش خورشید در فصل‌های مختلف سال متغیر است. در پاییز و زمستان شدت تابش و ساعات آفتابی کاهش پیدا می‌کند. این امر باعث طولانی‌تر شدن فرایند خشک‌کردن می‌شود و از لحاظ اقتصادی ممکن است چندان مناسب نباشد. از راه‌حل‌های این مشکل، می‌توان به این‌ها اشاره کرد: طراحی و ساخت مکانیزمی خاص برای تغییر زاویه واحد جذب انرژی خورشیدی، استفاده از مدار برگشت هوای خروجی از محفظه و هدایت آن به ورودی کلکتور، به‌کارگیری تیغه‌های بادگیر در محفظه خشک‌کن.

تغییر زاویه شیب کلکتور به‌وسیله یک اهرم مکانیکی دستی انجام می‌شود و تغییر آن به صورت فصلی امکان‌پذیر است. انتخاب زاویه مناسب به عرض جغرافیایی منطقه و فصل بستگی دارد. زاویه مناسب در بهار و تابستان ۱۵ تا ۲۰ درجه و در پاییز و زمستان حدود ۴۵ درجه است. این اقدام باعث می‌شود که تابش خورشید به صورت عمود بر صفحه جذب باشد و در نتیجه، بازده خشک‌کن افزایش پیدا کند. شکل ۱۱ و ۱۲ روش تغییر این زاویه و زاویه‌سنج نصب‌شده در خشک‌کن خورشیدی به ظرفیت ۱۰ کیلوگرم در هر وعده را نشان می‌دهد. نتایج ارزیابی خشک‌کن در فصل پاییز در شیراز با عرض جغرافیایی ۳۰ درجه نشان

می‌دهد که زمان خشک‌شدن ورقه‌های نازک سیب گلاب در تابستان، زمانی که زاویه کلکتور ۴۵ درجه است، تا ۲۵ درصد نسبت به حالتی که زاویه کلکتور ۲۰ درجه است، کاهش می‌یابد.



شکل ۱۱- اهرم تغییر زاویه شیب کلکتور در خشک‌کن خورشیدی



شکل ۱۲- زاویه‌سنج در خشک‌کن خورشیدی

هوای خروجی از محفظه خشک‌کن دمای زیادی دارد. بنابراین، استفاده مجدد از هوای گرم خروجی باعث بهینه‌سازی فرایند خشک‌کردن و افزایش بازده می‌شود. برای استفاده مجدد از هوای گرم خروجی و برگشت دادن آن، کانال برگشت هوای گرم، بین خروجی محفظه و ورودی واحد جمع‌کننده قرار گرفته است. برگشت کامل هوای خروجی باعث افزایش بیش از حد رطوبت در محیط داخلی خشک‌کن و در نتیجه، افزایش انرژی مصرفی و کاهش بازده خشک‌کن و در نهایت، ناتمام ماندن فرایند خشک‌شدن می‌شود. بنابراین، در مجموعه کانال برگشت چهار دریچه برای تنظیم میزان هوای برگشتی و هوای ورودی به خشک‌کن و هوای خروجی به محیط بیرون تعبیه شده است. یکی از دریچه‌ها وظیفه دارد میزان هوای ورودی به خشک‌کن را تنظیم کند. دریچه دیگر تنظیم هوای خروجی از خشک‌کن را به عهده دارد و دو دریچه دیگر در کانال برگشت، عهده‌دار تنظیم هوای برگشتی است. شکل ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ کانال برگشت و دریچه‌های آن را نشان می‌دهد.



شکل ۱۳- خشک‌کن خورشیدی مجهز به سامانه برگشت هوای گرم خروجی



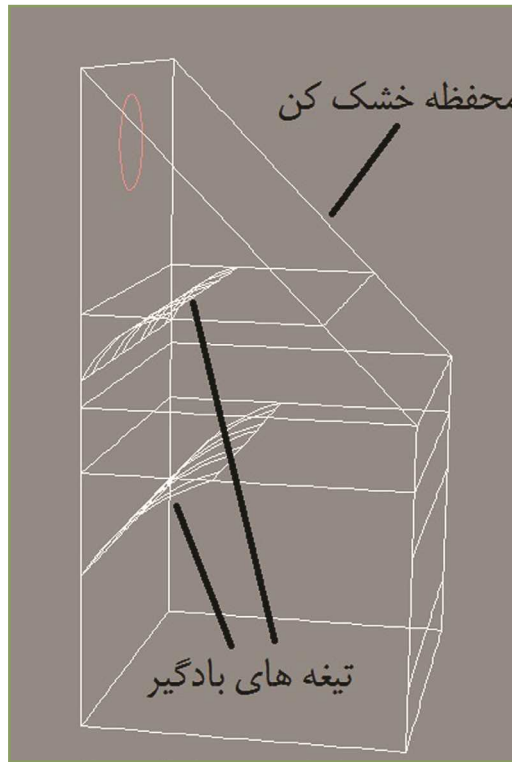
شکل ۱۴- دریچه‌های خروج هوا و برگشت هوای اول



شکل ۱۵- دریچه‌های ورود هوا و برگشت هوای دوم

بازگشت هوای خروجی به‌میزان ۷۵ درصد در طی فرایند خشک‌شدن نشان داد که علاوه بر کاهش مصرف انرژی تا ۱۲ درصد، بازده خشک‌کن تا ۱۰ درصد افزایش می‌یابد. برای دستیابی به این حالت، دریچه‌های ورودی و خروجی هوا باید به‌اندازه ۲۵ درصد باز شود؛ به طوری که اهرم این دریچه‌ها از حالت کاملاً بسته به اندازه‌ای گردانده شود تا بر زاویه ۲۲ درجه بر صفحه مدرج قرار گیرد. به این منظور، زاویه انتخاب‌شده برای دریچه‌های برگشت هوا ۶۸ درجه است.

افزایش زمان ماندگاری هوا در داخل محفظه خشک‌کن باعث سرعت‌بخشیدن به فرایند خشک‌شدن می‌شود. برای بهسازی الگوی جریان هوا در خشک‌کن، ابتدا باید جریان هوا در محیط خشک‌کن شبیه‌سازی شود. براساس نتایج، بهترین روش برای افزایش ماندگاری هوا در محفظه، به‌کارگیری تیغه‌های بادگیر در محفظه خشک‌کن است. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که کاربرد بهینه تیغه‌های بادگیر، زمان خشک‌کردن را تا ۱۰ درصد کاهش می‌دهد. شکل ۱۶ تیغه‌های بادگیر در محفظه خشک‌کن خورشیدی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۶- تیغه های بادگیر به کاررفته در محفظه خشک کن

نتیجه‌گیری

خشک‌کن خورشیدی برای خشک کردن محصولات مختلف کشاورزی مناسب است. صفحه جاذب واحد جمع‌کننده خشک‌کن، انرژی تابشی خورشید را جذب می‌کند و باعث گرم‌شدن هوای عبوری از روی آن می‌شود. هوای گرم، آب محصول را تبخیر می‌کند و باعث خشک‌شدن محصول می‌شود. خشک‌کن خورشیدی علاوه بر استفاده از انرژی رایگان خورشید در فرایند خشک‌کردن، باعث می‌شود در مقایسه با روش سنتی، محصول باکیفیت‌تری تولید شود. محصولات خشکی که به این روش تولید می‌شود، از لحاظ بهداشتی و بازاریابی، بسیار مطلوب و مناسب است. تابش خورشید در فصول مختلف سال متغیر است. این امر باعث طولانی‌تر شدن زمان خشک‌شدن محصول در پاییز و زمستان می‌شود و از لحاظ اقتصادی به‌صرفه نیست. افزایش بازده خشک‌کن خورشیدی علاوه بر کاهش مصرف انرژی، باعث کاهش زمان خشک‌شدن می‌شود. از جمله روش‌های افزایش بازده خشک‌کن، به‌کارگیری مکانیزم خاص برای تغییر زاویه واحد جذب انرژی خورشیدی، استفاده از مدار برگشت هوای خروجی از محفظه و هدایت آن به ورودی کلکتور و به‌کارگیری تیغه‌های بادگیر در محفظه خشک‌کن است. کاربرد هریک از مکانیزم‌های یادشده باعث می‌شود بازده خشک‌کن از ۱۰ تا ۲۵ درصد افزایش یابد.