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

خشک کن های خورشیدی محصولات کشاورزی

نویسنده:

حمیدرضا گازر

۱۳۹۷

سرشناسه	:	گازر، حمیدرضا، ۱۳۴۸ -
عنوان و نام پدیدآور	:	خشک کن های خورشیدی محصولات کشاورزی/ نویسنده حمیدرضا گازر؛ ویراستاران ترویجی ام البنین تاجیک و حسام الدین غلامی؛ ویراستار ادبی سمیرا میرنظامی؛ سر ویراستار 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	:	۶۰ص.: مصور (بخشی رنگی)، نقشه (رنگی)، جدول (رنگی)، نمودار (بخشی رنگی).
شابک	:	۹۷۸-۹۶۴-۵۲۰-۴۲۴-۰
وضعیت فهرست نویسی	:	فیپا
یادداشت	:	کتابنامه : ص. ۵۷ - ۵۸.
موضوع	:	خشک کن های خورشیدی
موضوع	:	Solar dryers
موضوع	:	مواد غذایی -- خشک کن های خورشیدی
موضوع	:	Solar food dryers
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 ۲گ/TX۶۰۹
رده بندی دیویی	:	۶۴۱/۴۴
شماره کتابشناسی ملی	:	۵۲۳۷۴۹۰

ISBN:978-964-520-424-0

شابک:۰-۴۲۴-۵۲۰-۹۶۴-۹۷۸

عنوان نشریه: خشک کن های خورشیدی محصولات کشاورزی
نویسنده: حمیدرضا گازر
ویراستاران ترویجی: ام البنین تاجیک و حسام الدّین غلامی
مدیر داخلی: شیوا پارسانیک
ویراستار ادبی: سمیرا میرنظامی
سرویراستار: وجیهه سادات فاطمی
تهیه شده در: مؤسسه 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 صحت مطالب با نویسنده است.

شماره ثبت در مرکز فناوری اطلاعات و اطلاع رسانی کشاورزی ۵۳۷۷۷ به تاریخ ۹۷/۳/۲۷ است.

نشانی: تهران- بزرگراه شهید چمران- خیابان یمن، پلاک ۱ و ۲، معاونت ترویج، ص. پ. ۱۱۱۳-۱۹۳۹۵
تلفکس: ۲۲۴۱۳۹۲۳-۰۲۱

فهرست

مقدمه	۶
مفاهیم کاربردی انرژی خورشیدی	۹
تعریف خشک کردن	۱۳
نظریه‌ها و منحنی‌های شاخص در خشک کردن	۱۶
روش‌های خشک کردن با انرژی خورشیدی	۲۲
- آفتاب خشک (روش طبیعی)	۲۲
- خشک کردن با استفاده از خشک کن های خورشیدی	۲۵
طبقه‌بندی انواع خشک کن های خورشیدی	۲۷
- خشک کن های جریان هوای همرفت	۲۷
- خشک کن های دارای جریان هوای فعال	۳۱
خشک کن های خورشیدی ترکیبی	۳۶
اجزای یک خشک کن خورشیدی	۳۸
- جمع‌کننده (کلکتور) و صفحه جاذب	۳۸
- محفظه خشک کن	۴۳
نکات درخور توجه در انتخاب خشک کن خورشیدی	۴۶
اطلاعات کاربردی برای استفاده از خشک کن های خورشیدی	۴۹
منابع	۵۷

مقدمه

از دیرباز نور خورشید تأمین کننده اصلی انرژی برای فعالیت های بیولوژیک در کشاورزی بوده است و در مراحل مختلف تولید اثرگذار است. نگهداری محصولات کشاورزی پس از فصل برداشت از موارد حساس و بسیار حائز اهمیت است و سالانه هزینه های هنگفتی را به کشاورزان و باغداران تحمیل می کند. یکی از راه های کاهش تلفات پس از برداشت، خشک کردن محصولات برداشت شده است. خشک کردن از روش های بسیار قدیمی و رایج برای جلوگیری از فساد محصولات برداشت شده و نگهداری آن ها برای مدت طولانی است. بشر از دیرباز به خشک کردن محصولات توجه کرده است. از زمان های قدیم از خورشید به عنوان منبع حرارتی مورد نیاز برای این کار استفاده می شد. از جمله مواردی که اهمیت خشک کردن محصولات کشاورزی را بیش تر مشخص می کند، می توان به این ها اشاره کرد: نگهداری آسان، ماندگاری در شرایط معمولی و حفظ ارزش غذایی محصولات خشک شده و نیز نیازنداشتن به شرایط ویژه برای نگهداری محصولات خشک شده. ابتدایی ترین و

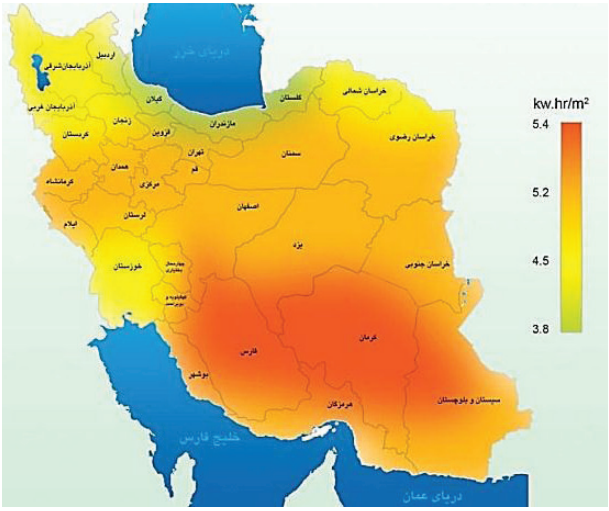
ساده ترین روش خشک کردن، پهن کردن محصولات مختلف کشاورزی زیر نور آفتاب است که هنوز هم در بسیاری از کشورها از آن استفاده می شود. هدف از تدوین این نشریه فنی آشنایی با مفاهیم، مدیریت صحیح و کاربرد مناسب انرژی خورشیدی برای خشک کردن محصولات کشاورزی است.

مفاهیم کاربردی انرژی خورشیدی

انرژی خورشیدی منحصربه فردترین منبع انرژی تجدیدپذیر در جهان و منبع اصلی تمامی انرژی های موجود در زمین است. انرژی خورشیدی به صورت مستقیم و غیرمستقیم می تواند به اشکال دیگر انرژی تبدیل شود. به طور کلی انرژی متصاعدشده از خورشید در حدود $۳/۸\times۱۰^{۲۳}$ کیلو وات بر ثانیه است که به عنوان بزرگ ترین منبع انرژی، قابلیت تبدیل به انرژی الکتریکی، گرمایی و روشنایی را دارد. ایران با داشتن حدود ۳۰۰ روز آفتابی در سال، جزو بهترین کشورهای دنیا در زمینه پتانسیل انرژی خورشیدی است. با توجه به موقعیت جغرافیای ایران و پراکندگی روستاها در کشور، استفاده از انرژی خورشیدی یکی از مهم ترین عواملی است که باید بدان توجه کرد. با توجه به استانداردهای بین المللی اگر میانگین انرژی تابشی خورشید در روز بیش تر از ۳/۵ کیلو وات ساعت بر مترمربع (۳۵۰۰ وات بر ثانیه) باشد، استفاده از مدل های انرژی خورشیدی نظیر جمع کننده های خورشیدی یا صفحه های دارای سلول های خورشیدی[۱] بسیار اقتصادی و مقرون به صرفه است. در برخی

۱- Photovoltaic

قسمت های ایران انرژی تابشی خورشید بسیار بیش تر از این میانگین بین المللی است و در بعضی از نقاط حتی بیش تر از ۷ تا ۸ کیلو وات ساعت بر مترمربع اندازه گیری شده است. متوسط روزانه تابش خورشیدی کشور ایران (شکل ۱) در محدوده ۴/۵ کیلو وات ساعت بر مترمربع است.



شکل ۱- نمودار تابش متوسط روزانه خورشید در نقاط مختلف ایران (کیلو وات ساعت بر مترمربع)

برای کاربرد انرژی خورشیدی می باید با مفاهیم آن آشنا بود. این مفاهیم به درک بهتر فرایند تولید

و استفاده از انرژی خورشیدی کمک می کند. یکی از این مفاهیم تابش خورشیدی است. تابش خورشیدی بیانگر میزان انرژی ارائه شده از سوی خورشید است که این مقدار در سطح خورشید، خارج از اتمسفر و سطح زمین متفاوت است. میزان انرژی تابشی در سطح خورشید بین ۷۰هزار تا ۸۰هزار کیلو وات ساعت بر مترمربع است که سیاره زمین مقدار بسیار ناچیزی از این انرژی را دریافت می کند. کره زمین سالانه مقدار ۲۰۰×۱۰^{۱۲} کیلو وات ساعت انرژی تابشی خورشید دریافت می کند که این مقدار ۱۰هزار برابر کل نیاز سالانه کره زمین است. توان تابشی خورشید در خارج از اتمسفر ۱۳۶۰ وات بر مترمربع است که با عنوان ثابت خورشیدی[۱] شناخته می شود. هنگامی که تشعشع خورشیدی از جوّ عبور می کند، مقداری از انرژی کاسته می شود و به سطح زمین می رسد. این مقدار به طور متوسط در یک روز تابستانی در سطح زمین بین ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ وات بر مترمربع تغییر می کند. به این مقدار تابش جهانی[۲] گفته می شود. میزان تابش در سطح زمین در فصل ها و مناطق مختلف سال متغیر است و وابستگی زیادی به زمان

۱- Solar constant
۲- Global irradiation

دارد. میـزان تابـش سـالانه در سـطح افقی برخـی نقاط کمربند خورشـیدی (نواحـی اسـتوایی) بـه ۲۲۰۰ کیلـو وات سـاعت بـر مترمربـع می‌رسـد (شـکل ۲). ایـن مقـدار بـرای نواحـی شـمال اروپـا بـه حداکثـر ۱۱۰۰ کیلـو وات سـاعت بـر مترمربـع می رسـد. موقعیـت مناسـب جغرافیایـی ایـران باعـث شـده اسـت تـا متوسـط سـالانه تابـش خورشـیدی کشـور در محـدوده ۱۷۰۰ تـا ۲۰۰۰ کیلـو وات سـاعت بـر مترمربـع باشـد. بـا توجـه بـه شـرایط آب‌وهوایـی و جـوّی، مقـداری از تـوان تابشـی خورشـید در مناطـق مختلـف سـطح زمیـن کـم می شـود.

انـرژی تابشـی خورشـید پـس از ورود بـه جـوّ زمیـن تحـت تأثیـر شـرایط جـوّی و رطوبـت موجـود در هـوا قـرار می گیـرد و پراکنـده می شـود.

میزان پراکنش (پخشیدگی) تابش خورشید

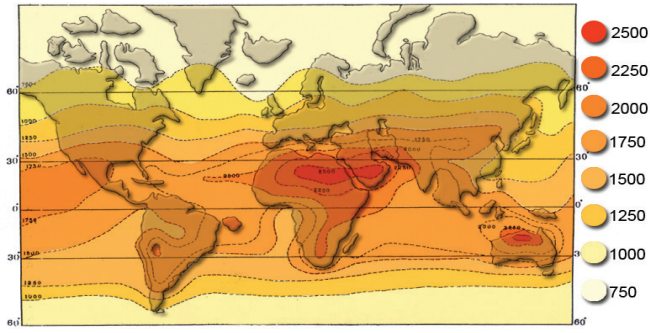
۱- در صورت صاف بودن هوا میزان ۱۰ تا ۲۰ درصد؛

۲- در صورت نیمه‌ابری بودن هوا ۲۰ تا ۸۰ درصد؛

۳- در صورت ابری بودن هوا به میزان ۸۰ تا ۱۰۰ درصد.

در واقـع مطالـب ذکرشـده نشـان می دهـد کـه تـوان تابشـی در بهتریـن حالـت کـه هـوا صـاف و فاقـد ابـر اسـت، ۸۰ تـا ۹۰ درصـد خواهـد بـود و بـا ابری شـدن

هـوا و تغییـر شـاخص های دیگـر در هـوا نظیـر گـرد و غبـار و رطوبـت تـوان تابشـی کـم می شـود و حتـی بـه کم تـر از ۲۰ درصـد هـم خواهـد رسـید.



شکل ۲- نمودار تابش متوسط سالانه خورشید بر نقاط مختلف کره زمین (کیلو وات ساعت بر مترمربع)

تعریف خشک کردن

خشـک کردن عبـارت اسـت از خارج سـاختن و کاهـش رطوبـت از مـواد مرطـوب (حـاوی آب) نظیـر محصـولات کشـاورزی. ایـن عمـل تـا به تعادل رسـیدن رطوبـت مـاده و محیـط ادامـه پیـدا می کنـد و پـس از آن دیگـر مـاده بـا محیـط اطـراف تبـادل رطوبتـی نـدارد. بـه ایـن موقعیـت نقطـه تعـادل رطوبتـی گفتـه می شـود.

در واقـع خشـک کردن حاصـل انتقـال حـرارت از منبـع گرمایـی بـه محصـول و انتقـال جـرم (رطوبـت) از محصول بـه محیـط اسـت. ایـن عمـل تـا زمـان رسـیدن محصـول و محیـط بـه تعـادل رطوبتـی ادامـه خواهـد داشـت.

عوامـل مؤثر در سـرعت کاهش رطوبـت در زمان خشک شـدن محصـول عبارت اند از:

۱- دما؛

۲- سرعت جریان هوا؛

۳- کاهش رطوبت نسبی هوای خشک کننده؛

۴- ضخامت لایه محصول.

افزایـش دمـا در فراینـد خشـک کردن موجـب افزایـش آهنـگ تبخیـر و سـریع تر شـدن کاهـش رطوبـت از مـاده می شـود. البتـه بایـد بـه ایـن نکتـه توجـه کـرد کـه در بعضـی از مواقـع، افزایـش دمـا در خشـک کن ها عـلاوه بـر مصـرف مقـدار زیـادی انـرژی بـرای کیفیـت محصـول خشک شـده مضـر اسـت. بنابرایـن درخصـوص انتخـاب دمـای خشـک کردن هـر مـاده بایـد دقـت لازم صـورت گیـرد. عـلاوه بـر آن، افزایـش دمـا تـا حـد معینـی می توانـد زمـان خشـک کردن را کاهـش دهـد و بعـد از آن تأثیـر کم تـری دارد.

سرعت جابه جایی هوا در فرایند خشک کردن موجب تهویه مناسب هوای پیرامون دانه ها می شود و سرعت خشک شدن را افزایش می دهد. در واقع هوادهی خوب در اطراف دانه ها باعث تبخیر بهتر رطوبت از دانه ها خواهد شد. شایسته توجه است که هر چقدر رطوبت دانه ها زیادتر باشد، نیاز به هوادهی بیش تر خواهد بود.

یکی از راه های مناسب برای خشک کردن محصولات حساس به دمای بالا، کاهش رطوبت نسبی در هوای خشک کننده است که موجب خشک کردن محصولات حساس به گرما نظیر برخی گیاهان دارویی می شود. ضخامت لایه محصول نیز از جمله عواملی است که در خشک کردن محصولات کشاورزی می باید به آن توجه ویژه ای کرد. در خشک کن های خورشیدی و همچنین در محصولات دارای رطوبت بالا (بیش از ۶۰ درصد بر پایه تر) نظیر انگور، برگه های آلو، هلو، زردآلو، آلبالو و... می باید از حداقل ضخامت استفاده کرد؛ یعنی میوه به صورت تک لایه پخش شود تا تجمع رطوبت در لایه های مختلف اتفاق نیفتد. برای محصولات دارای رطوبت کم تر (پایین تر از ۵۰ درصد بر پایه تر) نظیر انواع خشکبار (پسته،

بادام، فندق و...) می توان لایه های محصول را در حین خشک شدن افزایش داد. البته توجه شود که افزایش ضخامت به مقدار رطوبت دانه و بده (دبی) هوای خشک کن بستگی دارد و در صورت هوادهی کافی امکان پذیر است. افزایش ضخامت لایه محصول بیش از ۱۰۰۰ میلی متر توصیه نمی شود و موجب خشک شدن بیش از حد لایه های اولیه و جذب رطوبت در لایه های خارجی خواهد شد.

درخصوص غلات رعایت این نکته ضروری است: پس از خشک شدن به هوادهی مناسب در مخازن نگهداری نیاز است. این عمل موجب ذخیره سازی بهتر غله در فصل های مختلف و جلوگیری از جذب رطوبت و بروز کپک، تخمیر و جوانه زنی احتمالی در محصول خواهد شد.

نظریه ها و منحنی های شاخص در خشک کردن

اغلب مدل های خشک کردن محصولات مختلف کشاورزی در آزمایشگاه ها و تحت شرایط کنترل شده به دست می آید.

یکی از موارد شاخص در خشک شدن عبارت است

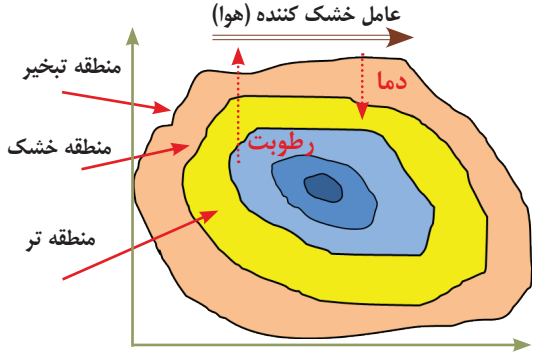
از سرعت یا آهنگ خشک شدن[۱] که برابر است با مقدار رطوبت خارج شده از واحد سطح محصول در واحد زمان.

در ابتدای فرایند خشک شدن، سرعت رطوبت زدایی از دانه سریع است؛ زیرا در این مدت رطوبت از لایه های بیرونی به سطح دانه می رسد و از آنجا به وسیله جریان هوای گرم از سطح دانه جدا می شود. با گذشت زمان، عمل انتقال رطوبت از لایه های درونی و مغز دانه به سطح، به مدت زمان بیش تری نیاز دارد. به همین دلیل آهنگ خشک شدن کاهش و زمان آن افزایش پیدا می کند و شیب منحنی تغییرات رطوبت در واحد زمان کم می شود. این مرحله از فرایند، انرژی زیادی را مصرف می کند و زمان بر است. در مرحله اول خشک شدن، بدنه ماده و سطح آن از یک لایه مایع پوشیده می شود و دمایی کم تر از دمای محیط دارد. پس از آن، تبخیر آب سطحی با سرعت ثابتی شروع می شود. این مراحل بسیار سریع و گذرا هستند. پس از تبخیر آب سطحی، بتدریج مقدار رطوبت داخلی شروع به کاهش می کند که این مسئله باعث کاهش

۱- Drying rate

آهنگ خشک شدن جسم می‌شود. در این مرحله، آهنگ خشک شدن به وسیله انتقال رطوبت ماده که بستگی به تغییرات غلظت رطوبت دارد، کنترل می‌شود.

در فرایند خشک کردن مواد سه منطقه در ماده خشک شونده وجود دارد: منطقه خشک، منطقه تبخیر و منطقه تر (شکل ۳). در مراحل اولیه خشک شدن (خشک شدن با آهنگ ثابت) منطقه تر تمام ماده را فرا گرفته است و فرایند تبخیر آب از روی سطح ماده صورت می گیرد. مناطق دیگر بتدریج و در مرحله خشک شدن با آهنگ نزولی ظاهر می‌شوند. در منطقه خشک، رطوبت تنها به شکل بخار و در منطقه تر رطوبت به صورت مایع منتقل می‌شود. در منطقه تبخیر هر دو نوع انتقال رطوبت (مایع و بخار) اتفاق می‌افتد.



شکل ۳- مناطق مختلف دانه در فرایند خشک شدن

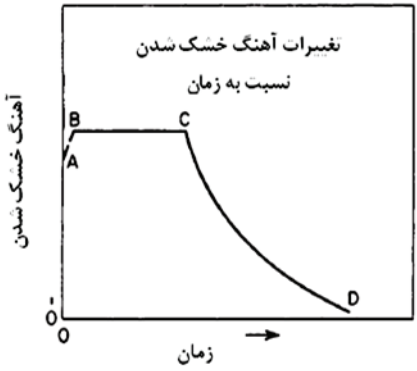
فرایند خشک شدن به وسیله نمودارهای دارای محورهای مختصات زیر بخوبی توصیف می شود:

* مقدار رطوبت مواد - زمان فرایند (منحنی روند خشک شدن در واحد زمان)؛

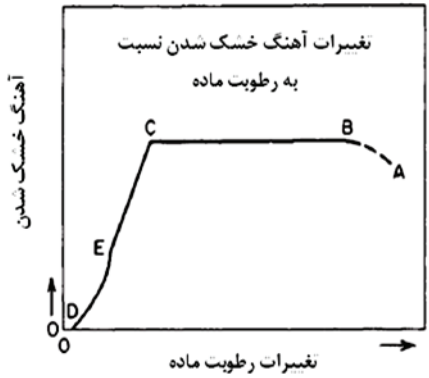
* آهنگ خشک شدن - مقدار رطوبت مواد (منحنی آهنگ خشک شدن)؛

* آهنگ خشک شدن - زمان فرایند (منحنی آهنگ خشک شدن در واحد زمان).

این منحنی ها در شکل ۴ نشان داده شده اند.



شکل ۴- نمودارهای شاخص در فرایند خشک شدن



ادامه شکل ۴- نمودارهای شاخص در فرایند خشک شدن

به صورت متداول آنچه در توصیف فرایند خشک کردن به کار می رود، منحنی تغییرات رطوبت در واحد زمان است. این منحنی فرایند خشک شدن را بخوبی ارائه می کند. در ابتدای مرحله خشک شدن، تغییرات رطوبت ماده با زمان به وسیله منحنی A-B بیان می شود. در این مرحله ضمن گرم شدن ماده، رطوبت هم تبخیر می شود و نرخ تبخیر بتدریج تند می شود. پس از گذشت مدتی روند خشک شدن (شیب خط) ثابت می ماند. در این حالت، کاهش مقدار رطوبت ماده تا نقطه بحرانی C ادامه دارد. سپس خط مستقیم به منحنی تبدیل می شود و به صورت مجانبی تا نقطه رطوبت تعادلی ماده (نقطه D) پیش می رود. در فرایند خشک شدن پس از مرحله اول (AB)، مرحله دوم خشک شدن (خط BC) مرحله آهنگ ثابت[۱] نامیده می شود. از نقطه بحرانی C مرحله سوم خشک شدن شروع می شود که به آن مرحله آهنگ نزولی[۲] گفته می شود. پس از این مرحله ماده با محیط خشک کن به تعادل رطوبتی می رسد و دیگر خشک نمی شود.

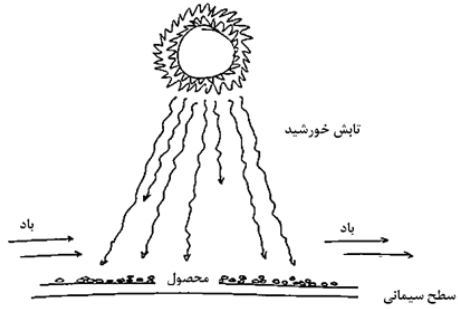
۱- Constant Rate Period
۲- Falling Rate Period

روش های خشک کردن با انرژی خورشیدی

برای استفاده از خورشید در خشک کردن محصولات کشاورزی روش های مختلفی وجود دارد که به طور کلی به دو روش می توان اشاره کرد: روش آفتاب خشک (روش طبیعی) و روش خشک کردن با استفاده از خشک کن های خورشیدی.

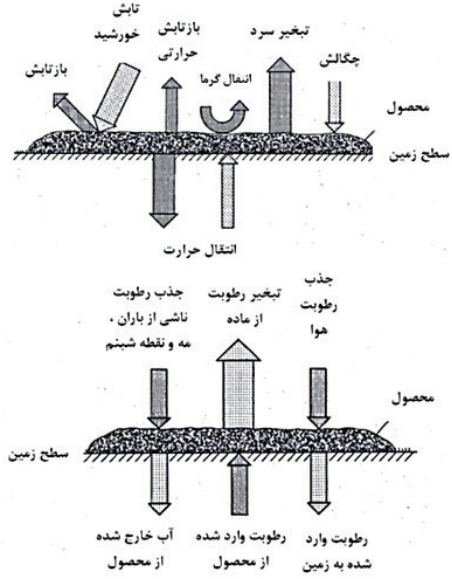
آفتاب خشک (روش طبیعی)

روش آفتاب خشک از قدیمی ترین روش ها برای خشک کردن انواع محصولات کشاورزی و باغی بوده است که قدمتی چند هزار ساله دارد. این روش یکی از روش های مناسب برای خشک کردن بسیاری از محصولات باغی و زراعی در مناطق خشک و نیمه خشک است (شکل ۵).



شکل ۵- خشک کردن به روش آفتابی

در روش خشک کردن با آفتاب، محصول با ضخامت لایه نازک در معرض هوای گرم و تابش نور خورشید قرار می گیرد. عملیات انتقال حرارت به کمک خورشید و جریان طبیعی باد به صورت تابش و جریان همرفت به ماده منتقل شده و پس از تبادل حرارتی، انتقال جرم (رطوبت) از ماده به هوای اطراف انجام می شود. البته مقداری تبادل دمایی بین سطح زمین و سطح ماده نیز به صورت تماسی انجام می شود (شکل ۶).



شکل ۶- شماتیک انتقال حرارت و انتقال جرم درفرایندخشک کردن به روش آفتابی

اگـر محدودیت‌هـای فضـا، وجـود گـرد و غبـار در محیـط و امـکان آلودگـی محصـول توسـط حیوانـات و پرنـدگان وجود نداشـته باشـد، بـرای بسـیاری از محصولات کشـاورزی، می تـوان از نـور آفتـاب بهره گرفـت کـه ضمـن خشـک کردن محصـول، عملیـات ضدعفونـی و ازبین بـردن بسـیاری از باکتری هـا و تخـم و لارو حشـرات و آفـات نیـز انجام می شـود. در شـکل ۷ نمونه ای از خشـک کردن پسته بـا نـور خورشـید نشـان داده شـده اسـت.

شکل ۷- خشک کردن پسته با نور مستقیم خورشید در استان کرمان

همان گونه که انتظار داریم به دلیل کنترل نداشتن کافی بر روی شرایط محیط، استفاده از این روش مخاطراتی از قبیل آلودگی های محیطی، گرد و غبار و حمله حشرات و پرندگان و حیوانات دیگر به همراه دارد؛ ولی به دلیل استفاده رایگان از انرژی خورشید و حذف هزینه های مربوط به انرژی هنوز در بسیاری از مناطق روستایی از خشک کردن استفاده می شود. همچنین علاوه بر مشکلات ذکرشده، در فرایند خشک کردن به روش آفتاب خشک، تغییرات رنگ و کدرشدن محصول خشک شده از جمله مواردی است که پذیرش مراجع علمی را در توسعه و کاربرد این روش برای محصولات کشاورزی و غذایی محدود می کند.

خشک کردن با استفاده از خشک کن های خورشیدی

یکی از روش های مناسب برای استفاده بهینه از انرژی خورشیدی و جلوگیری از وجود آلودگی در محصول در زمان خشک شدن، کاربرد خشک کن های خورشیدی است. این خشک کن ها با استفاده از صفحه جاذب گرما یا پدیده های گلخانه ای، انرژی حرارتی تابش خورشید را جذب می کند و در محیط خشک کن از آن استفاده می کند. وجود صفحه

جاذب یا پدیده گلخانه‌ای، دمای محیط بسته خشک‌کن را در حدود ۱۰ تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به دمای بیرون از محفظه افزایش می‌دهند. این نوع از خشک‌کن‌ها تنوع زیادی دارد و برای بیش‌تر مناطق ایران که انرژی تابشی مناسب و رطوبت نسبی هوا کم باشد، می‌تواند به کار رود. نمونه‌هایی از این خشک‌کن‌ها در شکل ۸ نشان داده شده است.

شکل ۸- برخی خشک‌کن‌های خورشیدی مورد استفاده در کشاورزی

طبقه بندی انواع خشک کن های خورشیدی

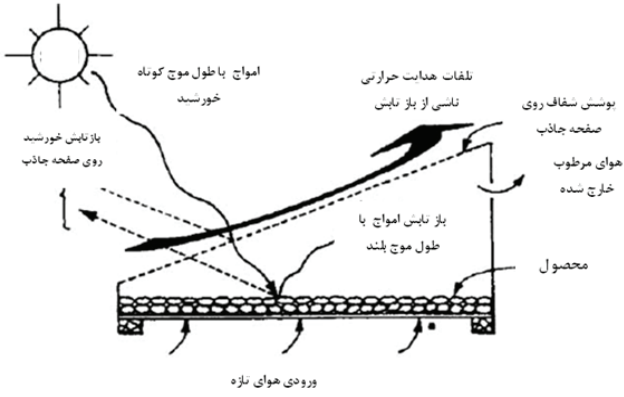
خشک کن های خورشیدی بر مبنای الگوهای مختلفی نظیر جریان عبوری هوا، عایق کاری، نحوه دریافت نور خورشید (مستقیم یا غیرمستقیم) و... طبقه بندی می شوند. خشک کن های خورشیدی براساس مکانیزم عملکردی جریان هوا به دو گروه اصلی خشک کن های جریان هوای همرفت غیرفعال[۱] و خشک کن های جریان هوای فعال[۲] تقسیم بندی می شوند.

خشک کن های جریان هوای همرفت

در خشک کن های جریان همرفت، جابه جایی هوای گرم به صورت طبیعی است و هوای ورودی دستگاه در اثر گرم شدن از قسمت زیرین به طرف بالا حرکت می کند و از دریچه بالایی یا روزنه های خروجی دستگاه بیرون می رود. در این خشک کن ها تابش نور خورشید می تواند به صورت مستقیم به محصول برخورد کند (شکل ۹) یا اینکه خود محصول در تماس مستقیم با نور خورشید نباشد و تابش نور

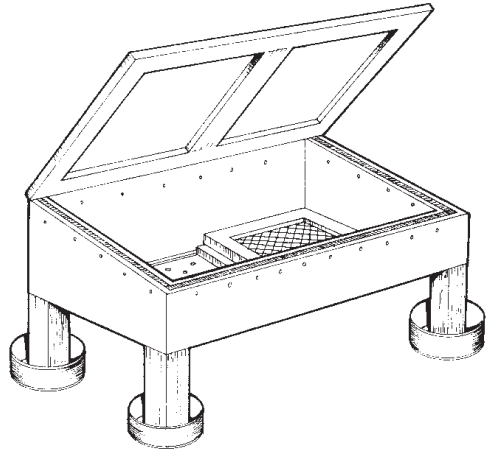
۱- Passive air dryers
۲- Active air dryers

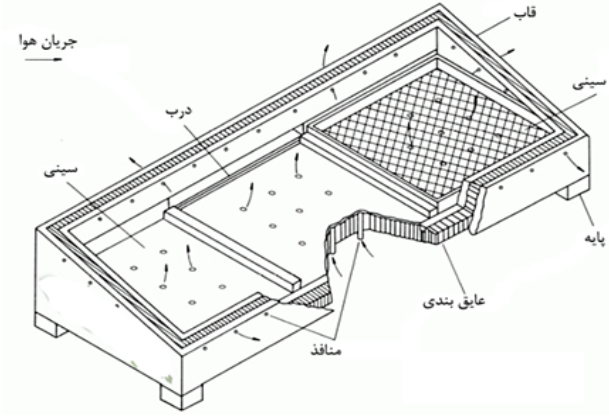
خورشید ابتدا به محفظه صفحه جاذب[۱] برخورد کند و انرژی گرمایی حاصل از آن از طریق یک مجرا به محفظه وارد شود (شکل ۱۰). آنچه در این خشک کن ها اتفاق می افتد، این است که انرژی گرمایی خورشید در اثر تابش به داخل محفظه وارد شده و باعث افزایش دمای محصول و تبخیر رطوبت آن می شود. این رطوبت و گرما با استفاده از جابه جایی طبیعی هوای گرم و سرد از طریق دریچه یا روزنه های خروجی که در بالای دستگاه قرار دارند، خارج می شود.



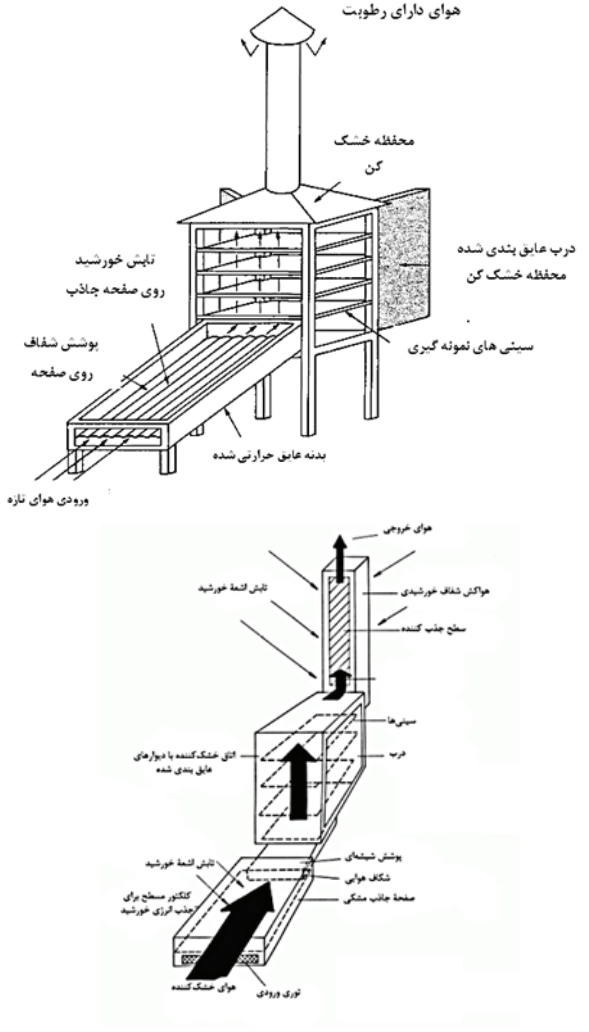
شکل ۹- خشک کن های جریان همرفتی با تابش مستقیم آفتاب

۱- Collector





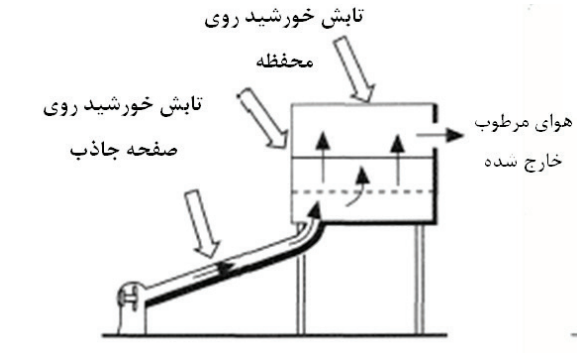
ادامه شکل ۹- خشک کن های جریان همرفتی با تابش مستقیم آفتاب

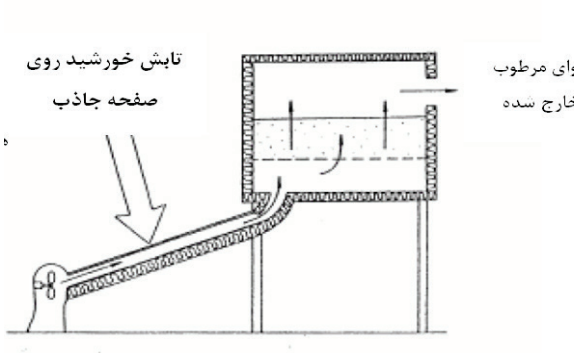


شکل ۱۰-خشک کن های جریان همرفتی با تابش غیرمستقیم آفتاب

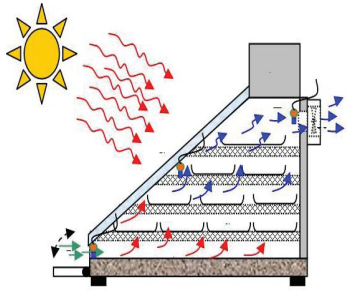
خشک کن های دارای جریان هوای فعال

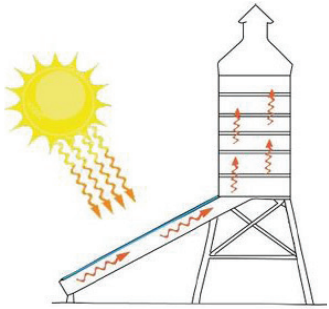
در این خشک کن ها برای افزایش سرعت جابه جایی هوا در دستگاه از یک فن دمنده در قسمت ورودی یا مکنده در قسمت خروجی استفاده می شود. کاربرد فن باعث حرکت بهتر هوا در سطح صفحه جاذب و داخل محفظه خشک کن می شود. در مراحل ابتدایی فرایند خشک کردن که در اثر تبخیر انجام شده در داخل خشک کن اتفاق می افتد، هوای مرطوب سنگین در داخل دستگاه تجمع پیدا می کند و به عاملی کمکی برای خروج از دستگاه نیاز دارد. استفاده از فن در این گونه مواقع بسیار مؤثر است. در مراحل بعدی که رطوبت داخل خشک کن کم تر می شود، اثرگذاری فن نیز کم می شود و حتی در برخی موارد نیازی به آن نیست و هوا در اثر جابه جایی طبیعی از دستگاه خارج می شود. شکل های ۱۱ و ۱۲ نمونه هایی از کاربرد انواع فن را در خشک کن های خورشیدی نشان می دهد.





شکل ۱۱ - کاربرد فن دمنده در خشک کن های خورشیدی با تابش غیرمستقیم آفتاب





شکل ۱۲- کاربرد فن مکنده در خشک کن های خورشیدی با تابش مستقیم آفتاب

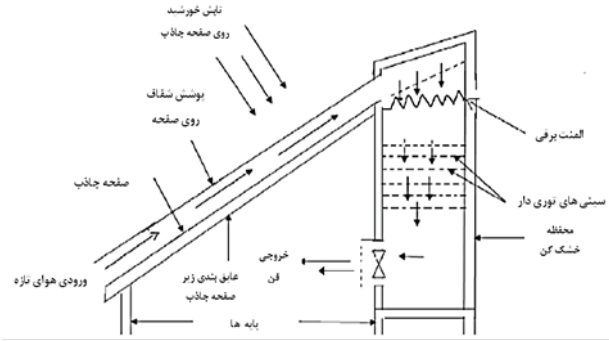
روش‌های تأمین انرژی برای جابه‌جایی هوا در خشک‌کن‌های دارای جریان هوای فعال

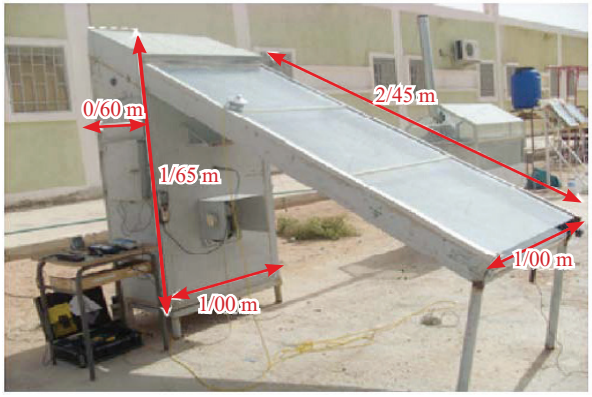
در خشک‌کن‌های خورشیدی فعال برای جابه‌جایی بهتر هوا به یک فن نیاز است. برای فعال‌سازی فن به منبع انرژی نیاز است. در مناطقی که امکان استفاده از برق شهری وجود دارد، می‌توان فن را با استفاده از برق شهری به‌کار انداخت. برای مناطقی که برق شهری وجود نداشته باشد یا امکان به‌کارگیری آن سخت باشد، می‌توان از سلول‌های خورشیدی برای تأمین انرژی الکتریکی فن استفاده کرد. یکی دیگر از راه‌های تأمین انرژی برای فنِ هوای خروجی در خشک‌کن، استفاده از جریان باد محیط است که این باد فن را به حرکت درمی‌آورد و هوای داخل را مکش می‌کند. نمونه‌ای از خشک‌کن‌های مجهز به سیستم‌های ذکرشده در شکل ۱۳ ملاحظه می‌شود.

شکل ۱۳- کاربرد سلول های خورشیدی (PV) در خشک کن های خورشیدی

خشک کن های خورشیدی ترکیبی

در برخی مناطق که اختلاف دما و رطوبت محیط در طول شبانه روز درخور توجه است، کاربرد خشک کن های خورشیدی به تنهایی کافی نیست. در این مناطق زمان خشک شدن محصول افزایش می یابد و احتمال کپک زدگی و فساد محصول نیز وجود دارد. از همین رو، کاربرد یک منبع حرارتی کمکی در رفع این مشکل کمک می کند و زمان خشک کردن را نیز کاهش می دهد. برای این منظور می توان از هیترهای برقی یا سیستم های گرمایی سوخت فسیلی مانند کوره های حرارتی گازی استفاده کرد. این منبع حرارتی می تواند در شب ها یا مواقعی که هوا ابری است، استفاده شود. در شکل ۱۴ یک خشک کن ترکیبی خورشیدی برقی نشان داده شده است. در این خشک کن از توان الکتریکی در قسمت ورودی هوا به محفظه خشک کن استفاده می شود.





شکل ۱۴- شماتیک و تصویر خشک کن ترکیبی خورشیدی برقی

اجزای خشک کن خورشیدی

خشک کن خورشیدی از بخش های اصلی تشکیل شده است: جمع کننده (کلکتور) و صفحه جاذب، محفظه خشک کن، کانال جابه جایی هوا و عامل جابه جایی هوا (فن، دودکش).

جمع کننده (کلکتور) و صفحه جاذب

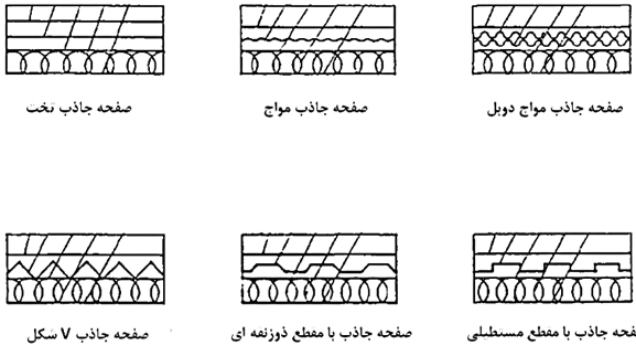
جمع کننده (کلکتور) و صفحه جاذب آن، یکی از قسمت های اصلی جمع کننده انرژی تابشی و عامل اصلی جذب انرژی گرمایی و نور خورشید در خشک کن است. اندازه و سیستم مناسب جمع کننده، تعیین کننده بازده دستگاه است و محفظه خشک می باید متناسب با آن طراحی و ساخته شود. اغلب جنس صفحه جاذب از مواد تیره رنگ نظیر فلزاتی مانند مس، آهن یا سنگ های متخلخل با قابلیت جذب و انتقال مناسب گرما به محیط است. سنگ هایی مانند مرمر و سطوح سیمانی با بازتابش زیاد برای استفاده در صفحه جاذب مناسب نیستند (گازر، ۱۳۹۰). نمونه هایی از صفحات جاذب خشک کن های خورشیدی در شکل ۱۵ نشان داده شده است.

شکل ۱۵- برخی صفحات جاذب مورداستفاده در خشک کن های خورشیدی

اگر جمع کننده و صفحه جاذب بخوبی انتخاب شوند، اختلاف دمای ایجادشده در خروجی خشک کن نسبت به محیط زیاد خواهد بود و حتی به بیش از ۳۰ درجه سانتی گراد می رسد. در شکل ۱۶ نمونه ای از اندازه گیری دما در یک جمع کننده خورشیدی نشان داده شده است.

شکل ۱۶- اندازه گیری دمای یک جمع کننده خورشیدی

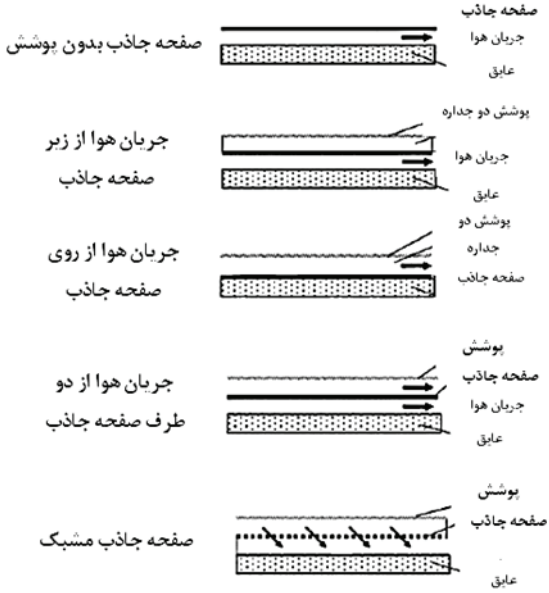
با توجه به توان تابشی خورشید، هرچه سطح صفحه جاذب بزرگ تر باشد، انرژی گرمایی بیش تری در سیستم جمع می شود و به مصرف می رسد. از همین رو، کاربرد صفحه های مواج سیاه در خشک کن های خورشیدی می تواند تأثیر بسیاری داشته باشد. در شکل ۱۷ انواع مختلف صفحه های جاذب داخل یک جمع کننده خورشیدی شامل انواع ساده، مواج، مواج دوبل، ناودانی، شیاردار و پله ای نشان داده شده است. سطح زیرین صفحه جاذب عایق بندی می شود و سطح رویی با شیشه یا پلاستیک شفاف پوشش داده می شود.



شکل ۱۷- انواع مختلف صفحه های جاذب در داخل یک جمع کننده خورشیدی

صفحه های جاذب می تواند در داخل یا خارج از محفظه خشک کن نصب شود. اگر صفحه های جاذب در داخل خشک کن قرار داشته باشد، تابش خورشید در محیط داخلی خشک کن ایجاد گرما می کند و موجب خشک شدن محصول می شود. اگر صفحه جاذب قسمت جمع کننده در خارج از محفظه خشک کن باشد، نحوه قرارگیری و میزان جابه جایی هوا در قسمت جمع کننده در افزایش دمای محفظه خشک کن تعیین کننده است. تعیین بهترین حالت عبور هوا و میزان آن، تابعی از نوع خشک کن و ظرفیت کاری آن است که برای هر نوع دستگاه نیاز

بـه پژوهـش خـاص دارد. در شـکل ۱۸ الگوهـای رایـج در جابه جایـی هـوا در قسـمت جمع کننـده و صفحـه جـاذب خشـک کن های خورشـیدی نشـان داده شـده اسـت. همان گونـه کـه در شـکل ملاحظـه می شـود، در یـک جمع کننـده خورشـیدی می تـوان جریـان هـوا را از بـالا، پاییـن یـا هـر دو قسـمت عبـور داد. همچنیـن امـکان عبـور متقاطـع هـوا از جمع کننـده وجـود دارد؛ بدین صـورت کـه هـوا از بـالای صفحـه جـاذب متخلخـل وارد شـده و از قسـمت پاییـن آن خـارج می شـود.



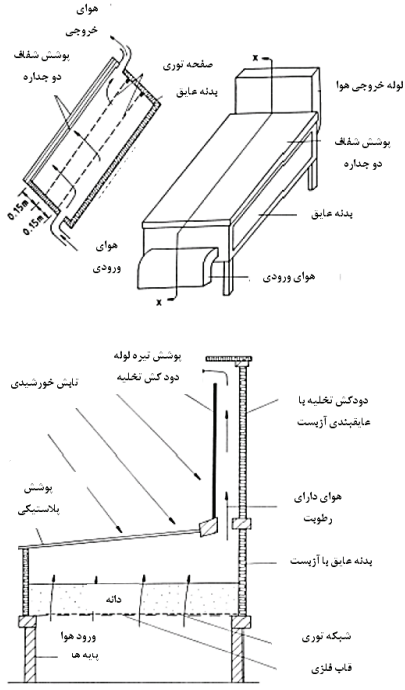
شکل ۱۸- الگوهای رایج در جابه جایی هوا در جمع کننده و صفحه جاذب خشک کن های خورشیدی

محفظه خشک کن

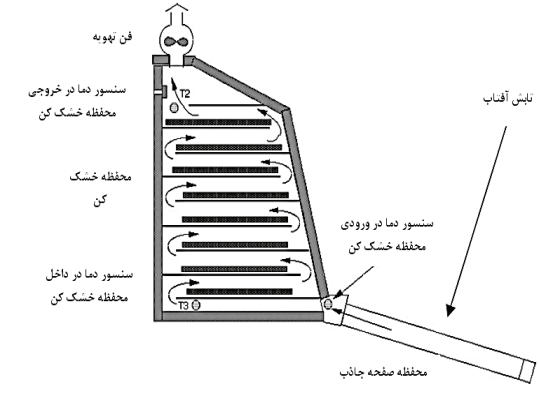
محفظه خشک محل قرارگیری محصولاتی است که می باید خشک شود. در این محفظه معمولاً محصول به صورت تک لایه در طبقه های توری دار و به صورت مجزا بر روی یکدیگر قرار می گیرد و هوا از لابه لای محصول حرکت می کند و رطوبت محصول از آن خارج می شود.

ابعاد محفظه تابعی از بازده جمع کننده است و متناسب با آن طراحی و ساخته می شود. یعنی ابعاد محفظه می باید به گونه ای انتخاب شود که ضمن یکنواختی دما در محفظه، افت دمایی خروجی جمع کننده و خروجی محفظه بدون محصول بیش از ۲۰ درصد نباشد. همچنین با توجه به ظرفیت سینی ها و مشخصات فیزیکی محصول، باید امکان گردش مناسب هوا در داخل محفظه وجود داشته باشد. رعایت فاصله مناسب و ظرفیت خشک کن تأثیر زیادی در بهینه سازی فرایند خشک کردن دارد. انتخاب ضخامت مناسب، ایجاد عایق بندی مناسب در دیواره ها و سطح زیرین محفظه خشک کن نقش مؤثری در کاهش تلفات انرژی دارد و می تواند بیش از ۵۰ درصد از تلفات انرژی دیواره ها را کاهش دهد.

کاربرد موادی نظیر چوب، چوب پنبه، یونولیت، پشم شیشه، شیشه های دوجداره و نظایر این ها می توانند تلفات انرژی در خشک کن را کاهش دهد. نمونه هایی از عایق بندی دیواره ها و گردش هوا در خشک کن های خورشیدی در شکل های ۱۹ و ۲۰ نشان داده شده است.



شکل ۱۹- عایق بندی دیواره ها در خشک کن های خورشیدی



شکل ۲۰- قرارگیری طبقه ها و گردش هوا در داخل یک خشک کن خورشیدی

نکات درخور توجه در انتخاب خشک کن خورشیدی

برای انتخاب خشک کن مناسب باید به نکات ویژه ای توجه کرد. این موارد مربوط به خود دستگاه خشک کن و محصول مدنظر است که به صورت جدول ۱ ارائه شده است. در نظر گرفتن موارد پیشنهادی می تواند به انتخاب خشک کن مناسب کمک کرده و از اتلاف وقت و سرمایه جلوگیری کند.

جدول ۱- شاخص های انتخاب خشک کن خورشیدی

ردیف	شاخص	ویژگی های مدنظر
۱	مشخصه های محیط برای استفاده از دستگاه	میزان تابش خورشیدی در محل دما و رطوبت نسبی هوای محیط هنگام به کارگیری دستگاه
۲	مشخصه های فنی دستگاه	نوع، اندازه و شکل سطح جمع کننده و نوع صفحه جاذب ظرفیت خشک کردن یا بارگیری (کیلوگرم محصول بر روی هر سینی)، ابعاد سینی و تعداد آن در خشک کن، بازده گرمایی دستگاه
۳	مشخصه های اقتصادی	قیمت دستگاه، قیمت تمام شده فرایند خشک کردن، دوره بازگشت هزینه دستگاه

ادامه جدول ۱- شاخص های انتخاب خشک کن خورشیدی

ردیف	شاخص	ویژگی های مدنظر
۴	مشخصه های محصول اولیه	میزان رطوبت اولیه محصول، شکل ظاهری و وزن مخصوص محصول نیاز به عملیات مقدماتی قبل از خشک کردن
۵	مشخصه های کیفی و بهداشتی محصول خشک شده	میزان چروکیدگی، طعم و رنگ ظاهری، وزن مخصوص، آلودگی محیطی، یکنواختی رطوبت نهایی در محصول خشک شده، گرد و غبار در محصول نهایی
۶	مشخصه های کاربری دستگاه	سهولت نصب، راه اندازی و جابه جایی دستگاه، ایمنی به کارگیری دستگاه، سهولت بارگیری و تخلیه دستگاه، سهولت تعمیرات مورد نیاز

اطلاعات کاربردی برای استفاده از خشک کن های خورشیدی

درباره خشک کردن محصولات کشاورزی پژوهش های زیادی در دنیا انجام شده است و داده های گوناگونی موجود است. این داده ها متناسب با منطقه و روش مورد استفاده برای خشک کردن بوده است. در جدول ۲ اطلاعات خشک کردن برخی محصولات کشاورزی با استفاده از خشک کن های خورشیدی ارائه شده است.

جدول ۲- اطلاعات خشک کردن برخی محصولات کشاورزی با استفاده از خشک کن های خورشیدی

نام محصول	نوع خشک کن مورد استفاده	اطلاعات و یافته های کاربردی
برش های سیب	خشک کن های تونلی با تابش غیرمستقیم خورشیدی	برای حصول نتیجه بهتر، ابتدا سیب های برش خورده در محلول اسید سیتریک ۲ درصد به مدت یک ثانیه غوطه ور شوند. سپس بدون قرارگیری در معرض نور مستقیم در خشک کن قرار گیرند تا حدود رطوبت ۱۵ درصد خشک شود. با استفاده از این نوع خشک کن، در مقایسه با خشک کردن در محیط آزاد رنگ روشن و طعم مناسب تر برای محصول نهایی ایجاد می شود.

ادامه جدول ۲- اطلاعات خشک کردن برخی محصولات کشاورزی با استفاده از خشک کن های خورشیدی

نام محصول	نوع خشک کن مورد استفاده	اطلاعات و یافته های کاربردی
برگه زردآلو	خشک کن های تونلی تابش مستقیم خورشیدی	با استفاده از خشک کن تأثیر نور آفتاب در رنگ ظاهری و طعم محصول نهایی کاملاً مشهود است و زمان خشک شدن از ۱۰ روز در فضای آزاد به ۲ روز در دستگاه کاهش می یابد.
برگه هلو	خشک کن های تونلی تابش غیرمستقیم خورشیدی	برای حصول نتیجه بهتر، در برش زدن محصول اولیه دقت شود (برش ها بیش تر از ۵ میلی متر نباشد). نور آفتاب در تیره شدن رنگ محصول نهایی تأثیر می گذارد. برای حفظ رنگ روشن در اثر غوطه وری در متابی سولفات سدیم به مدت ۳۰ ثانیه انجام شود، مدت زمان لازم برای خشک شدن محصول تا رطوبت ۱۱ درصد در حدود ۲ روز است.
چیپس موز	خشک کن های خورشیدی کابینتی با تابش غیرمستقیم و جابه جایی اجباری هوا	کاهش شدید زمان خشک شدن در مقایسه با خشک کردن فضای آزاد (آفتاب خشک) تا حدود ۷۰ درصد.

ادامه جدول ۲- اطلاعات خشک کردن برخی محصولات کشاورزی با استفاده از خشک کن های خورشیدی

نام محصول	نوع خشک کن مورد استفاده	اطلاعات و یافته های کاربردی
پسته	خشک کن های خورشیدی کابینتی با تابش مستقیم	طعم و رنگ زرد مشتری پسند در مقایسه با خشک کردن پسته در خشک کن های صنعتی، نبود سم آفلاتوکسین در نمونه های خشک شده
سبزی های برگی	تک لایه در خشک کن های تونلی یا کابینتی با تابش مستقیم خورشیدی	تغییرات رنگ و سیاه شدگی و کاهش چشمگیر عطر در محصول خشک شده علیرغم سرعت زیاد خشک شدن نسبت به خشک کن های کابینتی
ذرت	خشک کن های خورشیدی مخزنی با تابش غیرمستقیم و جابه جایی هوای اجباری	امکان خشک کردن، هوادهی و نگهداری ذرت به صورت هم زمان وجود دارد.

ادامه جدول ۲- اطلاعات خشک کردن برخی محصولات کشاورزی با استفاده از خشک کن های خورشیدی

نام محصول	نوع خشک کن مورد استفاده	اطلاعات و یافته های کاربردی
فلفل سبز	خشک کن های خورشیدی کابینتی با تابش غیرمستقیم و جابه جایی هوای همرفت یا اجباری	نمونه های برش خورده و غوطه ورشده در متابی سولفات سدیم به مدت ۲ ثانیه باعث بهبود کیفیت رنگ محصول نهایی در مقایسه با نمونه های خشک شده در هوای آزاد خواهد شد. دقت شود که محدوده دما در خشک کن از ۴۵ درجه سانتی گراد بیش تر نشود. همچنین با این نوع دستگاه رطوبت نمونه های خشک شده پس از یک روز به حدود ۱۰ درصد می رسد.
فلفل قرمز	خشک کن های خورشیدی کابینتی با تابش مستقیم و جابه جایی هوای همرفت یا اجباری	نمونه های برش خورده و غوطه ورشده در متابی سولفات سدیم به مدت یک ثانیه باعث بهبود کیفیت رنگ محصول نهایی در مقایسه با نمونه های خشک شده در هوای آزاد شد. در این دستگاه محدویت دمای به کاررفته در خشک کن تا ۵۵ درجه سانتی گراد است و پس از یک روز رطوبت نهایی نمونه های خشک شده به حدود ۶ درصد می رسد. همچنین آلودگی های محیطی نیز کم تر است.

ادامه جدول ۲- اطلاعات خشک کردن برخی محصولات کشاورزی با استفاده از خشک کن های خورشیدی

نام محصول	نوع خشک کن مورد استفاده	اطلاعات و یافته های کاربردی
دانه کاکائو و قهوه	خشک کن های خورشیدی مخزنی با تابش غیرمستقیم و جابه جایی هوای اجباری	عطر و طعم محصول نهایی از نمونه های خشک شده در خشک کن خورشیدی با تابش مستقیم یا خشک شده در فضای باز بهتر است. همچنین مقدار آلودگی محیطی به طور درخور توجهی نسبت به خشک کردن در فضای باز کمتر است.
انگور	خشک کن های کابینتی یا تونلی به صورت تک لایه با تابش مستقیم خورشیدی	محصول خشک شده در خشک کن بافت نرم تر، رنگ یکنواخت تر و طعم بهتری نسبت به خشک کردن در فضای باز داشت و زمان فرایند خشک کردن نیز تا ۷۵ درصد کمتر از خشک کردن در محیط بود. تابش مستقیم نور خورشید به محصول باعث همگن شدن رنگ و مشتری پسندتر شدن کشمش می شود.
برنج (شلتوک)	خشک کن های خورشیدی مخزنی با تابش غیرمستقیم و جابه جایی هوای اجباری	کیفیت سفیدشدگی شلتوک خشک شده با این دستگاه نسبت به نمونه های خشک شده با شرایط طبیعی بیش تر است. امکان خشک کردن و نگهداری شلتوک به صورت همزمان وجود دارد. در مقایسه با خشک کردن در محیط باز امکان جذب رطوبت محیطی و ترک خوردن دانه ها (بندافتادن شلتوک) از بین می رود.

ادامه جدول ۲- اطلاعات خشک کردن برخی محصولات کشاورزی با استفاده از خشک کن های خورشیدی

نام محصول	نوع خشک کن مورد استفاده	اطلاعات و یافته های کاربردی
برگ چای	خشک کن های تونلی، خشک کن های گلخانه ای یا کابینتی با تابش مستقیم خورشیدی	کیفیت مناسب طعم و عطر چای خشک شده در مقایسه با خشک کردن در خشک کن های غیرخورشیدی.
برگه گوجه فرنگی	تک لایه در خشک کن های تونلی یا کابینتی با تابش مستقیم خورشیدی	قبل از خشک کردن با این دستگاه برش محصول اولیه و غوطه وری آن در محلول متابی سولفات سدیم به مدت ۳ دقیقه باعث تثبیت رنگ و مشتری پسند شدن نمونه های خشک شده در خشک کن نسبت به نمونه های خشک شده در محیط و افزایش سرعت خشک شدن تا ۴ برابر می شود. دقت شود که دمای خشک کن از ۵۵ درجه سانتی گراد بیش تر نشود.

ادامه جدول ۲- اطلاعات خشک کردن برخی محصولات کشاورزی با استفاده از خشک کن های خورشیدی

نام محصول	نوع خشک کن مورد استفاده	اطلاعات و یافته های کاربردی
گندم	خشک کن های خورشیدی مخزنی با تابش غیرمستقیم و جابه جایی هوای اجباری	با این نوع خشک کن امکان خشک کردن و نگهداری گندم به صورت هم زمان وجود دارد.
برش های هویج	خشک کن کابینتی با تابش غیرمستقیم خورشیدی	احتمال تغییر رنگ و جذب مجدد رطوبت نسبت به خشک کن های غیرخورشیدی بیش تر شده است.
انجیر	خشک کن کابینتی با تابش مستقیم و غیرمستقیم خورشیدی	در مقایسه با روش سنتی (آفتاب خشک) روش خشک کردن ترکیبی با خشک کن های خورشیدی محصول مشتری پسندتری تولید می کند.

ادامه جدول ۲- اطلاعات خشک کردن برخی محصولات کشاورزی با استفاده از خشک کن های خورشیدی

نام محصول	نوع خشک کن مورد استفاده	اطلاعات و یافته های کاربردی
برش های لیموترش	خشک کن کابینتی با تابش غیرمستقیم خورشیدی	نمونه های خشک شده دارای رنگ روشن تر و یکنواخت تری در مقایسه با نمونه های خشک شده در خشک کن هوای داغ و دمای ۶۰ درجه هستند.
جو دوسر	خشک کن های مخزنی خورشیدی با تابش غیرمستقیم	با این دستگاه قابلیت خشک کردن در حین نگهداری برای محصول نهایی وجود دارد.

منابع

بی نام. ۱۳۹۲. انجمن علمی انرژی خورشیدی ایران. http://www.irses.ir/index.php/ 52-18-05-27-05-2013

گازر، ح. ر. ۱۳۹۰. ساخت و ارزیابی یک خشک کن پایلوت آفتابی برای محصولات کشاورزی. گزارش پژوهشی شماره ۳۹۵۶۷، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. کرج، ایران.

Bonaparte, A., Alikhani, Z., Madramootoo, C. A., Raghavan, V. 1998. Some Quality Characteristics of Solar Dried Cocoa Beans in St. Lucia, Journal of the Science of Food and Agriculture, 76, pp. 553-558.

Chen, H. H., Hernandez, C. E., Huang, T. C. 2005. A Study of the Drying Effect on Lemon Slices Using a Closed-Type Solar Dryer, Solar Energy, 78(1), pp. 97-103.

Hii, C. L., S. V. Jangam, S. P. Ong and Mujumdar, A.S. 2012. Solar Drying: Fundamentals, Applications and Innovations. http://serve.me.nus.edu.sg/arun/

Gallali, Y. M., Abujnah, Y. S., Bannani, F. K. 2000. Preservation of Fruits and Vegetables Using Solar Drier: A Comparative Study of Natural and Solar Drying, III; Chemical Analysis and Sensory Evaluation Data of

the Dried Samples (Grapes, Figs, Tomatoes and Onions) Renewable Energy, 19 (1-2), pp. 203-212.

Mehdizadeh, Z., Zomorodian, A. 2009. A Study of the Effect of Solar Drying System on Rice Quality, Journal of Agricultural Science and Technology, 11, pp. 527-534.

Mujumdar, Arun S. 2000. Drying Technology in Agriculture and Food Sciences. Science publisher, Inc. Enfield (NH), USA.

Negi, P. S., Roy, S. K. 2001. Effect of Drying Conditions on Quality of Green Leaves During Long Term Storage, Food Research International, 34 (4), pp. 283- 287.

Prakash, S., Jha, S.K., Datta, N. 2004. Performance Evaluation of Blanched Carrots Dried by Three Different Driers, Journal of Food Engineering, 62(3), pp. 305-313

Weiss, W., Buchinger, J. 2004. Solar Drying. AEE INTECH, Training course booklet, Institute for sustainable technologies. Gelisford, Austria.

یادداشت

یادداشت