

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



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

آشنایی با خشک کن های کشاورزی

نویسنده:

حمیدرضا گازر

۱۳۹۷

سرشناسه	: گازر، حمیدرضا، ۱۳۴۸ -
عنوان و نام پدیدآور	: آشنایی با خشک کن های کشاورزی / نویسنده حمیدرضا گازر؛ سرویراستار وجیهه سادات فاطمی؛ تهیه شده در مؤسسه 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	: ۱۰۲ص: مصور (بخشی رنگی).
شابک	: 978-964-520-432-5
وضعیت فهرست نویسی	: فیا
یادداشت	: کتابنامه: ص. ۹۵-۱۰۲.
موضوع	: خشک کن های خورشیدی
موضوع	: Solar dryers
موضوع	: مواد غذایی -- خشک کن های خورشیدی
موضوع	: Solar food dryers
شناسه افزوده	: سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. دفتر شبکه دانش و رسانه های ترویجی
شناسه افزوده	: سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. معاونت ترویج. نشر آموزش کشاورزی
رده بندی کنگره	: TX6۰۹/گک ۲ آ۵ ۱۳۹۷
رده بندی دیویی	: ۶۴۱/۴۲
شماره کتابشناسی ملی	: ۵۲۵۰۶۹۲

ISBN:978-964-520-432-5

شابک: ۵-۴۳۲-۵۲۰-۹۶۴-۹۷۸



عنوان: آشنایی با خشک کن های کشاورزی

نویسنده: حمیدرضا گازر

ویراستار ترویجی: نوشین رضانی

ویراستار ادبی: سمیرا میرنظامی

مدیر داخلی: شیوا پارسا نیک

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

نوبت چاپ: اول، ۱۳۹۷

قیمت: رایگان

مسئولیت صحت مطالب با نویسنده است.

شماره ثبت در مرکز فناوری اطلاعات و اطلاع رسانی کشاورزی ۵۳۵۱۴ به تاریخ ۹۷/۲/۲۴ است.

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

ص.پ: ۱۱۱۳-۱۹۳۹۵ تلفکس: ۰۲۱-۲۲۴۱۳۹۲۳

فهرست

صفحه	عنوان
۷	مقدمه
۹	تعریف خشک کردن
۱۳	تئوری ها و منحنی های شاخص در خشک کردن اولویت ها و شاخص های مهم در انتخاب روش خشک کردن
۱۹	محصولات کشاورزی
۲۲	روش های خشک کردن
۳۲	طبقه بندی خشک کن ها از لحاظ نوع محصول
۶۹	روش انتخاب خشک کن مناسب
۷۲	مدیریت مصرف انرژی در خشک کن ها
۷۶	خشک کردن بذرها
۸۱	خشک کردن گیاهان دارویی جداول خشک کردن برخی محصولات شاخص باغی و زراعی،
۸۶	بذرها و گیاهان دارویی جدول مشکلات و راه حل های پیشنهادی در خشک کردن
۹۱	محصولات کشاورزی
۹۵	منابع

مقدمه

نگهداری محصولات کشاورزی پس از برداشت، از کارهای حساس و بسیار حائز اهمیت است. نگهداری نامناسب محصولات کشاورزی، سالانه خسارت‌های هنگفتی به کشاورزان و باغداران وارد می‌کند. یکی از راه‌های کاهش تلفات پس از مرحله برداشت، خشک کردن محصولات است. خشک کردن از روش‌های بسیار قدیمی و رایج برای جلوگیری از فساد محصولات برداشت شده است و امکان نگهداری آنها را برای مدت‌های طولانی‌تر فراهم می‌کند. بشر از دیرباز به خشک کردن محصولات کشاورزی و غذایی توجه کرده است. از زمان‌های قدیم از خورشید به عنوان منبع حرارتی موردنیاز برای این کار استفاده می‌شد. بتدریج با افزایش عملکرد محصول در مزرعه یا باغ، محدودیت زمان و نیز احتمال فساد محصول در شرایط متعارف در مناطق مختلف، خشک کردن با دستگاه و کاربرد خشک‌کن‌های صنعتی رواج پیدا کرد. نگهداری آسان، ماندگاری در شرایط معمولی و حفظ ارزش غذایی محصولات خشک شده و نیاز نداشتن به شرایط ویژه برای انبارداری از جمله مواردی است که

اهمیت خشک کردن محصولات کشاورزی را بیش از پیش مشخص می کند.

خشک کردن محصولات کشاورزی و مواد غذایی، فرایندی انرژی بر بوده و ممکن است با توجه به خصوصیات ماده غذایی یا محصول زمان زیادی برای آن صرف شود. به همین دلیل، در فرایند خشک کردن یک ماده غذایی همواره سه ویژگی مهم زمان فرایند، کیفیت محصول نهایی و انرژی مصرفی باید در نظر گرفته شود تا فرایند خشک کردن به صورت بهینه انجام شود و توجیه اقتصادی داشته باشد. در این نوشتار، ضمن ارائه مختصری از اصول اولیه و تئوری های موجود در این زمینه، به روش های مرسوم و کاربردی برای خشک کردن برخی محصولات کشاورزی و خشکباری پرداخته می شود. سپس به وضعیت خشک کردن مهم ترین محصولات کشاورزی و باغی در کشور اشاره شده و مناسب ترین روش های انتخاب خشک کن و راهکارهای مربوط ارائه می شود.

تعریف خشک کردن

خشک کردن عبارت است از خارج ساختن یا کاهش رطوبت از مواد مرطوب (حاوی آب) نظیر محصولات کشاورزی. این عمل تا به تعادل رسیدن رطوبت ماده یا محصول با رطوبت محیط، ادامه پیدا می کند. در آن نقطه، ماده دیگر قادر نیست به محیط اطراف رطوبت بدهد یا از آن رطوبت بگیرد که به آن «نقطه تعادل رطوبتی» گفته می شود. در واقع فرایند خشک کردن در اثر انتقال حرارت از یک منبع گرمایی، مانند خورشید، به محصول اتفاق می افتد. عواملی که در سرعت کاهش رطوبت هر محصول خاص در حین فرایند خشک کردن مؤثر هستند، عبارتند از:

- دما؛

- سرعت جریان هوا؛

- کاهش رطوبت نسبی هوای خشک کن؛

- ضخامت لایه محصول.

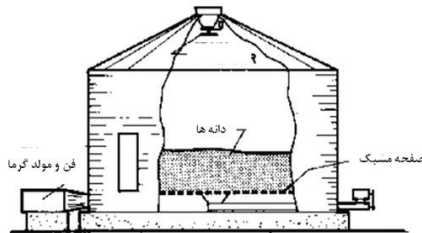
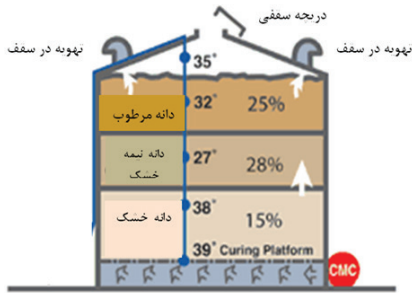
باید توجه کرد که افزایش دما در فرایند

خشک کردن، موجب افزایش آهنگ تبخیر رطوبت از ماده شده و خروج رطوبت از آن سریع‌تر می‌شود. البته باید به این نکته نیز توجه کرد که افزایش دما در خشک‌کن‌ها، علاوه بر صرف مقدار درخور توجهی از انرژی، در بعضی مواقع برای کیفیت محصول خشک‌شده نیز مضر است. بنابراین در مورد افزایش دما در خشک‌کن، باید دقت لازم صورت گیرد. علاوه بر آن، افزایش دما تا یک حد معین می‌تواند زمان خشک کردن را کاهش دهد و بعد از آن افزایش دمای خشک‌کن تأثیر کم‌تری در فرایند خشک کردن دارد. سرعت جابه‌جایی هوا نیز در فرایند خشک کردن موجب تهویه مناسب هوای پیرامون محصولات دانه‌ای می‌شود و سرعت خشک شدن را افزایش می‌دهد. در واقع هوادهی خوب در اطراف دانه‌ها باعث تبخیر بهتر رطوبت از آنها خواهد شد. باید توجه کرد که هر چقدر رطوبت دانه‌ها زیادتر باشد، به هوادهی در محصول نیاز بیش‌تری خواهد بود.

یکی از راه‌های مناسب برای خشک کردن محصولات حساس به گرما نظیر برخی گیاهان دارویی، کاهش رطوبت نسبی هوای خشک‌کن است.

ضخامت لایه محصول نیز از جمله عواملی است که در خشک کردن محصولات کشاورزی باید به آن توجه کرد. برای خشک کردن محصولات دارای رطوبت بالا (بیش از ۵۰ درصد بر پایه تر) نظیر انگور، برگه های آلو، هلو، زردآلو، آلبالو، گوجه فرنگی، آناناس، موز و... باید از ضخامت تک لایه استفاده شود. برای خشک کردن محصولات دارای رطوبت کم تر (پایین تر از ۵۰ درصد بر پایه تر) نظیر انواع خشکبار (پسته، بادام، فندق و...)، دانه های غلات، ذرت، شلتوک، کلزا و دانه های مشابه می توان ضخامت لایه محصول را در حین خشک شدن افزایش داد. البته توجه شود که افزایش ضخامت به مقدار رطوبت دانه و دبی هوای خشک کن بستگی دارد. توصیه نمی شود ضخامت لایه محصول بیش از ۱۰۰۰ میلی متر افزایش یابد؛ زیرا موجب خشک شدن بیش از حد لایه های اولیه و جذب رطوبت در لایه های خارجی خواهد شد. درخصوص غلات نیز رعایت این نکته ضروری است که پس از خشک شدن، به هوادهی مناسب در سیلوها و مخازن نگهداری نیاز است. در واقع این عمل موجب نگهداری بهتر غله در فصل های مختلف و جلوگیری از

جذب رطوبت و بروز کپک، تخمیر و گاهی جوانه زنی در محصول خواهد شد (شکل ۱).



شکل ۱- ساختار سیلوهای دارای تهویه برای نگهداری غلات

تئوری ها و منحنی های شاخص در

خشک کردن

معمولاً عمده مطالب مربوط به تئوری های خشک کردن محصولات مختلف کشاورزی در آزمایشگاه ها و تحت شرایط کنترل شده به دست می آید. یکی از موارد شاخص در تئوری خشک شدن، سرعت یا آهنگ خشک شدن^۱ است. آهنگ خشک شدن برابر با مقدار رطوبت خارج شده از واحد سطح دانه خشک شونده در واحد زمان است. شایان ذکر است در بسیاری از محصولات کشاورزی به دلیل یکنواخت نبودن سطح محصول و تغییر آن در طول فرایند خشک شدن، آهنگ خشک شدن نسبت به ماده خشک بدون تغییرات ایجادشده در طول فرایند خشک شدن محاسبه می شود.

در ابتدای فرایند خشک شدن، سرعت رطوبت زدایی از دانه سریع است؛ زیرا در این مدت رطوبت از لایه های بالاتر به روی دانه می آید و از آنجا به وسیله جریان هوای گرم از دانه جدا می شود. با

۱ - Drying rate

گذشت زمان عمل انتقال رطوبت از لایه های درونی و مغز دانه به سطح، به مدت زمان بیش تری نیاز دارد و رطوبت باید با سرعتی محدود از مجاری مویین داخل بافت به روزه های سطحی منتقل و از آنجا به هوای پیرامون وارد شود. به همین دلیل در مراحل پایانی فرایند، آهنگ خشک شدن کاهش و زمان آن افزایش پیدا می کند. شیب منحنی تغییرات رطوبت در واحد زمان نیز بتدریج کم می شود. این مرحله از فرایند، انرژی زیادی را مصرف می کند و طولانی است.

مراحل فرایند خشک کردن:

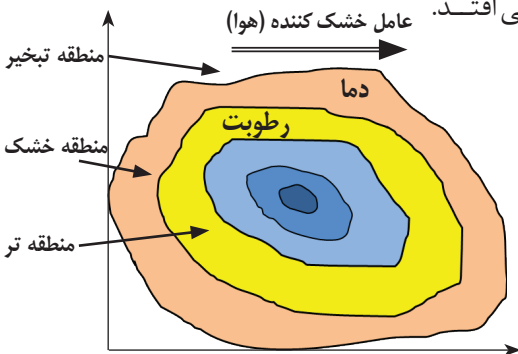
- **مرحله اول:** بدنه ماده و سطح آن از یک لایه مایع پوشیده شده است که معمولاً دمایی کم تر از دمای محیط دارد و باید با محیط خشک کن هم دما شود.

- **مرحله دوم:** پس از هم دمایی ماده و محیط پیرامون، تبخیر آب سطحی با سرعت ثابتی شروع می شود. این مراحل بسیار سریع و گذراست.

- **مرحله سوم:** پس از تبخیر آب سطحی، بتدریج مقدار رطوبت داخلی شروع به کاهش می کند که این مسئله باعث می شود آهنگ خشک شدن

محصول کاهش یابد. در این مرحله، تغییرات آهنگ خشک شدن تابع مقدار رطوبت داخلی است و به وسیله آن کنترل می شود.

در فرایند خشک کردن مواد، سه منطقه در ماده خشک شونده وجود دارد: منطقه خشک، منطقه تبخیر و منطقه تر (شکل ۲). در مراحل اولیه خشک شدن (خشک شدن با آهنگ ثابت) منطقه تر تمام ماده را فرا گرفته و فرایند تبخیر آب از روی سطح ماده صورت می گیرد. مناطق دیگر بتدریج و در مرحله خشک شدن با آهنگ نزولی ظاهر می شوند. در منطقه خشک، رطوبت فقط به شکل بخار و در منطقه تر رطوبت به صورت مایع منتقل می شود. در منطقه تبخیر هر دو نوع انتقال رطوبت (مایع و بخار) اتفاق می افتد. عامل خشک کننده (هوا)



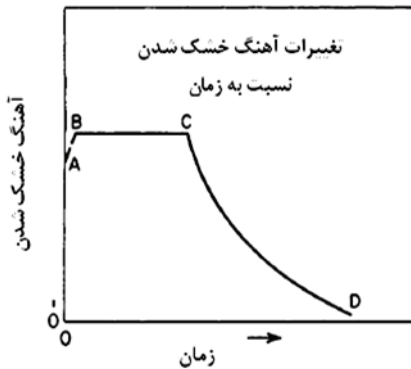
شکل ۲- مناطق مختلف دانه در فرایند خشک شدن

معمولاً فرایند خشک شدن به وسیله نمودارهای مختلف ارائه می شود. در زیر سه نمونه از رایج ترین نمودارهای خشک کردن مواد نشان داده شده است (نمودار ۱):

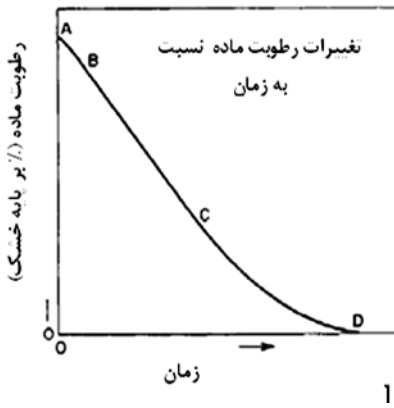
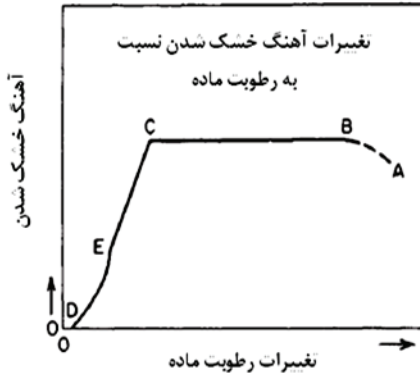
۱- نمودار مقدار رطوبت مواد- زمان خشک شدن (منحنی روند خشک شدن)؛

۲- نمودار آهنگ خشک شدن- مقدار رطوبت مواد (منحنی آهنگ خشک شدن)؛

۳- نمودار آهنگ خشک شدن- زمان.



نمودار ۱ - نمودارهای مرسوم در فرایند خشک کردن

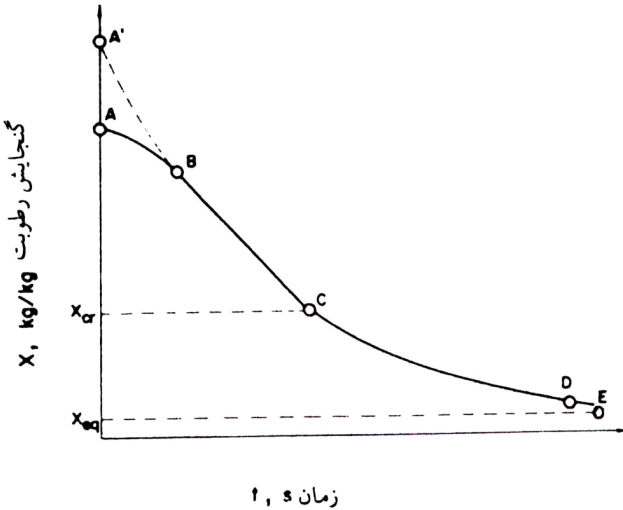


ادامه نمودار ۱ - نمودارهای مرسوم در فرایند خشک کردن

معمولاً آنچه در توصیف فرایند خشک کردن به کار می رود، منحنی تغییرات رطوبت در واحد زمان است که در نمودار ۲ نمونه ای از آن نشان داده شده است. در ابتدای مرحله خشک شدن، تغییرات رطوبت ماده در طی زمان به وسیله منحنی A-B بیان می شود. پس از گذشت مدتی، روند خشک شدن (شیب خط) ثابت می ماند. روند خطی کاهش مقدار رطوبت ماده تا نقطه بحرانی C ادامه دارد. سپس این خط مستقیم به شکل منحنی در می آید و به صورت خط مجانب تا نقطه رطوبت تعادلی ماده (در این نقطه رطوبت ماده ثابت شده و هیچگونه تبادل رطوبتی با محیط انجام نمی شود) پیش می رود. اولین مرحله خشک شدن (خط BC) مرحله آهنگ ثابت^۱ نامیده می شود. از نقطه بحرانی C مرحله دوم خشک شدن شروع می شود که آن را مرحله آهنگ نزولی^۲ می گویند.

۱ -Constant rate period

۲ -Falling rate period



نمودار ۲- نمودار تغییرات رطوبت در واحد زمان

اولویت‌ها و شاخص‌های مهم در انتخاب روش خشک کردن محصولات کشاورزی

برای اینکه هر محصول کشاورزی به صورت مناسبی خشک شود، باید در انتخاب روش خشک کردن و دستگاه مورد استفاده دقت کرد. فرایند خشک کردن علاوه بر صرف زمان زیاد، انرژی فراوان صرف می‌کند و بر کیفیت محصول نهایی مؤثر است. به همین دلیل باید توجه کرد که در ابتدا هدف

از خشک کردن یک ماده غذایی یا محصول کشاورزی چه چیزی است و چه شاخصی در محصول خشک شده مهم است. پس بعد از آن با توجه به انرژی مصرفی و هزینه های محتمل باید روش مناسب را انتخاب کرد. با انجام فرایند خشک کردن، بسیاری از ویتامین ها، آنزیم ها، اسیدهای آمینه و مواد رنگی موجود در میوه تازه افت زیادی پیدا می کند و حتی در برخی موارد از بین می رود. بنابراین نباید انتظار داشت که پس از خشک کردن، بسیاری از خواص میوه های تازه نظیر ویتامین ها در محصول نهایی حفظ شود. برای فرایند خشک کردن هر محصول کشاورزی علاوه بر زمان و انرژی مصرف شده باید شاخص های دیگری را به عنوان شاخص های کیفی در نظر گرفت که با کنترل شرایط فرایند خشک کردن، تغییرات آنها در محصول نهایی محسوس و سنجش پذیر باشد و با پیش فرض های اولیه ما متناقض نباشد. مثلاً برای خشک کردن محصولات خشکباری نظیر کشمش، پسته، بادام و برگه ها شاخص های باارزشی چون طعم، رنگ، وضعیت ظاهری و بازارپسندی در قالب آزمون های

حسی، میزان آلودگی های محیطی و تغییرات فیزیکی در مدت انبارمانی در کنار شاخص های رطوبت نهایی محصول، زمان خشک شدن و انرژی مصرف شده می تواند برای ارزیابی های عمومی کفایت کند. برای ارزیابی های دقیق تر، شاخص هایی همچون تغییرات بافت، تغییرات در اسیدهای آمینه و تغییرات چربی، پروتئین و شاخص های دیگر می تواند ارزیابی دقیق تری از روش مورد استفاده برای کیفیت محصول خشک شده ارائه دهد. شایان ذکر است برای هر محصول بهتر است تغییرات دو تا پنج شاخص اصلی در کنار شاخص های مهم انبارمانی برای نگهداری بلندمدت در نظر گرفته و تغییرات آنها با یکدیگر مقایسه شود.

نکته مهم در انتخاب روش خشک کردن محصولات مختلف این است که هرچه ساختمان داخلی و بافت محصول کشاورزی به دما و نور حساس تر باشد، فرایند خشک کردن با محدودیت های بیش تر مواجه است. بنابراین ناچار هستیم از روش های جدیدتر و دماهای پایین تر استفاده کنیم تا عملیات خشک کردن به محصول نهایی آسیب نزنند. برای

مثال، به دلیل حساسیت مواد مؤثره گیاهان دارویی عمدتاً باید عملیات خشک کردن با گردش هوایی ملایم در محیط‌های کم‌نور و دماهای کم‌تر از ۴۰ درجه سانتی‌گراد (ترجیحاً دماهای محیط) به صورت تک‌لایه انجام شود تا ضمن تهویه مناسب، ماده مؤثره گیاه تا حد بسیاری حفظ شود. در خصوص خشک کردن بذرها نیز به کارگیری دماهای بیش‌تر از ۴۵ درجه سانتی‌گراد توصیه نمی‌شود؛ زیرا استفاده از دماهای بیش‌تر در مدت طولانی موجب از بین رفتن قوه نامیه (قدرت جوانه زنی) بذر خواهد شد. پس به طور خلاصه دوباره یادآوری می‌کنیم که سه شاخص زمان، انرژی صرف شده و همچنین شاخص‌های کیفی مهم در محصول نهایی، ملاک انتخاب روش خشک کردن محصول خواهد بود. در این خصوص مشاوره علمی و نظر متخصصان برای انتخاب روش و دستگاه مناسب حائز اهمیت است.

روش‌های خشک کردن

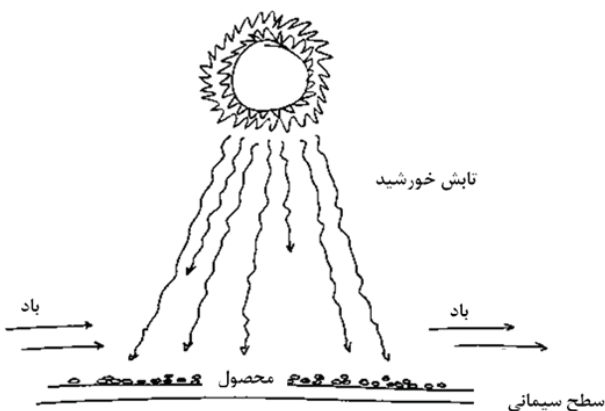
نوع و حجم محصول، انرژی‌های طبیعی، شرایط جغرافیایی و محدودیت‌های هر منطقه، تعیین‌کننده

روش مناسب برای خشک کردن محصولات کشاورزی خواهد بود. معمولاً در مناطقی که آفتاب مناسب، رطوبت هوا کم و زمان کافی در اختیار باشد (شرایط بسیاری از نقاط ایران)، انرژی خورشیدی یکی از مقرون به صرفه‌ترین روش‌ها در خشک کردن محصولات کشاورزی است. اما اگر به دلیل حجم زیاد محصول برداشت شده در مدت زمان کم و محدودیت زمان فراوری و تغییرات جوی، استفاده از انرژی خورشیدی برای خشک کردن امکان‌پذیر نباشد (شرایط بسیاری از کشورهای اروپایی و جنوب شرق آسیا)، آنگاه به کارگیری منابع دیگر انرژی و استفاده از خشک‌کن‌های صنعتی توجیه خواهد داشت. به صورت کلی، روش‌های مختلف خشک کردن محصولات کشاورزی به دو گروه اصلی خشک کردن با انرژی خورشید (نور آفتاب) و خشک کردن با دستگاه تقسیم‌بندی می‌شود.

خشک کردن با آفتاب

آفتاب خشک (روش طبیعی)

یکی از روش های ساده و مناسب برای خشک کردن بسیاری از محصولات زراعی و باغی در مناطق خشک و نیمه خشک استفاده از تابش خورشید است (شکل ۳).



شکل ۳- خشک کردن با آفتاب (روش طبیعی)

در روش خشک کردن با آفتاب، محصول با ضخامت تک لایه در معرض هوای گرم و تابش نور خورشید قرار می گیرد. در صورت نبود مسائلی مانند محدودیت فضا، گرد و غبار و آلودگی محصول توسط حیوانات و

پرندگان، خشک کردن با کمک نور آفتاب از جمله روش هایی است که ضمن خشک کردن محصول، عملیات ضد عفونی و از بین بردن بسیاری از باکتری ها و تخم و لارو حشرات را نیز انجام می دهد. نمونه ای از خشک کردن پسته با نور خورشید در شکل ۴ ارائه شده است.



شکل ۴- خشک کردن پسته با نور مستقیم خورشید

در استان کرمان

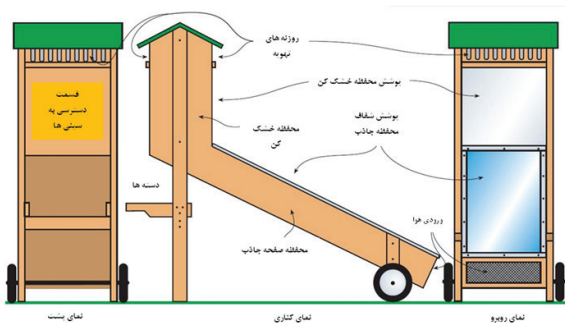
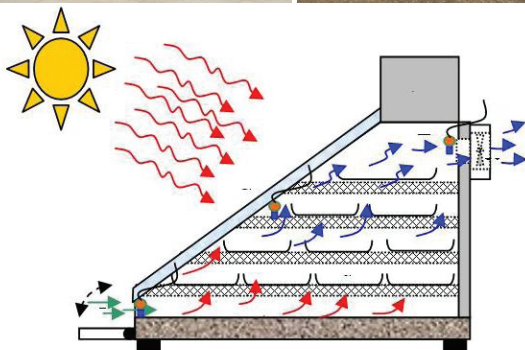
به دلیل کنترل نکردن کافی شرایط محیط، استفاده از این روش خطرهایی از قبیل آلودگی های

محیطی، گرد و غبار، حمله حشرات، جوندگان، پرندگان و حیوانات دیگر دارد. به دلیل استفاده رایگان از انرژی خورشید و حذف هزینه های مصرف انرژی، خشک کردن آفتابی (آفتاب خشک) هنوز در بسیاری از مناطق روستایی استفاده می شود. برای کنترل آلودگی های محیطی و حمله حشرات و حیوانات در این روش بهتر است از محیط های کنترل شده استفاده شود و با استفاده از قاب های فلزی یا چوبی و کشیدن روکش های پلاستیکی شفاف دارای تهویه، آلودگی و تردد دیگر حیوانات را تا حدودی کنترل کرد. علاوه بر مشکلات ذکر شده در فرایند خشک کردن به روش آفتاب خشک، تغییر چشمگیر رنگ و کدر شدن محصول خشک شده از دیگر مواردی است که پذیرش مراجع علمی را در توسعه و به کارگیری این روش برای محصولات کشاورزی و غذایی محدود می کند. با وجود این شایان ذکر است که در برخی محصولات نظیر پسته، برگه های زردآلو و کشمش تغییرات رنگ ایجاد شده ناشی از تابش آفتاب برای مصرف کنندگان مطلوب است.

خشک کردن با استفاده از خشک کن های

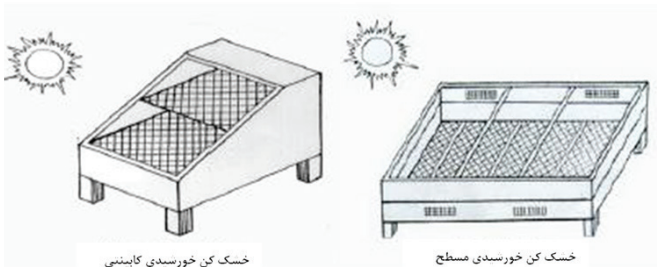
خورشیدی

یکی از روش های مناسب برای استفاده بهینه از انرژی خورشیدی و جلوگیری از ایجاد آلودگی در محصول در زمان فرایند خشک شدن، بهره گیری از خشک کن های خورشیدی است. این خشک کن ها با استفاده از یک صفحه جاذب گرما یا پدیده های گلخانه ای، انرژی حرارتی تابش خورشید را جذب کرده و در محیط خشک کن استفاده می کنند. وجود صفحه جاذب یا پدیده گلخانه ای، دمای محیط بسته خشک کن را در حدود ۱۰ تا ۱۵ درجه سانتی گراد نسبت به دمای بیرون از محفظه افزایش می دهند. این نوع خشک کن ها تنوع زیادی دارند و می توانند به سادگی در مقیاس های مختلف ساخته شوند. خشک کن های خورشیدی را در اکثر مناطق ایران که انرژی تابشی خوب و رطوبت نسبی هوای مناسب دارند، می توان بهره برداری کرد. نمونه هایی از این خشک کن ها در شکل ۵ نشان داده شده است.

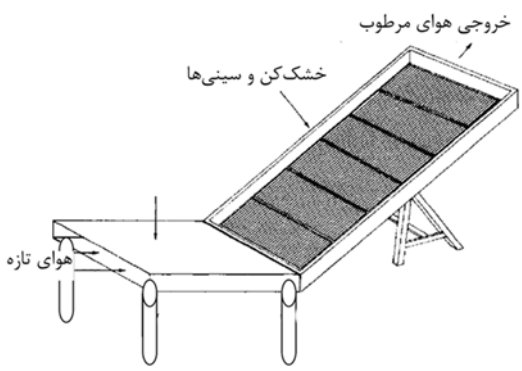
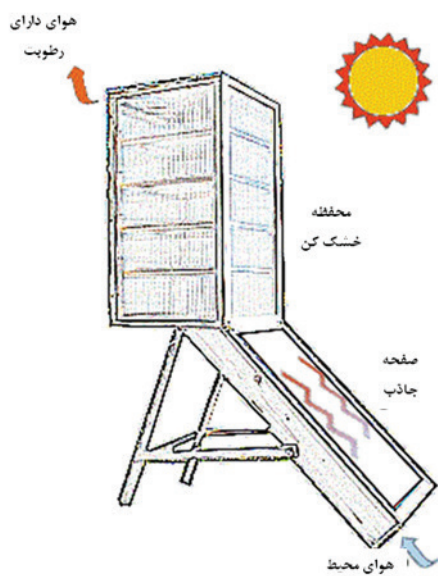


شکل ۵- تصاویری از برخی خشک کن های خورشیدی
مورد استفاده در کشاورزی

در بعضی از خشک کن ها تابش خورشید به صورت مستقیم بر روی محصول داخل محفظه تابیده شده و با استفاده از گرمای ایجاد شده در محفظه رطوبت به همراه هوای گرم از قسمت های فوقانی دستگاه خارج می شوند، نظیر خشک کن خورشیدی مسطح و خشک کن خورشیدی کابینتی (شکل ۶). در برخی دیگر به منظور قرارگیری بهتر محصول نسبت به زاویه تابش خورشید سینی ها در صفحه زاویه دار قرار می گیرد و هوای گرم از پایین وارد شده و پس از جذب رطوبت از قسمت بالای دستگاه خارج می شود. نمونه این نوع از دستگاه ها، دستگاه خشک کن الکلنگی است (شکل ۷).



شکل ۶- نمونه ای از ساختار خشک کن خورشیدی و کابینتی



شکل ۷- نمونه ای از ساختار خشک کن الاکلنگی

خشک کردن با دستگاه (خشک کردن مصنوعی)

در مناطق با رطوبت نسبی زیاد نظیر مناطق شمالی کشور یا مناطقی که در یک مقطع زمانی حجم زیادی از محصول برداشت می شود و امکان خشک کردن با استفاده از نور خورشید وجود نداشته باشد، برای خشک کردن از دستگاه های خشک کن استفاده می شود. دستگاه های خشک کن در کشاورزی انواع مختلفی دارند که در مقیاس های مختلف از آنها استفاده می شود. در این خشک کن ها به دلیل تحت کنترل بودن فرایند خشک کردن، امکان آلودگی محصول کم است و محصول با شرایط بهداشتی بهتری نسبت به روش آفتابی خشک می شود. در عین حال، مصرف انرژی در آنها بسیار زیاد است و هزینه بسیاری دارند. در خشک کردن مصنوعی، در اغلب موارد عامل خشک کننده، هوای گرم است. بسیاری از خشک کن های کشاورزی با استفاده از هوای گرم شده محصولات مختلف زراعی و باغی را خشک می کنند. برای تأمین انرژی در این خشک کن ها معمولاً از گاز، گازوئیل و نفت استفاده

می شود. البته شایان ذکر است که استفاده از گاز برای گرم کردن هوای خشک کن ها به سرعت رو به گسترش است.

طبقه بندی خشک کن ها از لحاظ

نوع محصول

خشک کن های محصولات کشاورزی را می توان برحسب نوع محصول به دو گروه عمده خشک کن های غلات و دانه های روغنی (با رطوبت دانه کم تر از ۵۰ درصد) و خشک کن های میوه ها و سبزی ها (با رطوبت محصول بیش از ۵۰ درصد) تقسیم بندی کرد. البته برای برخی محصولات خشکباری نظیر پسته، بادام یا فندق از خشک کن های دانه ای استفاده می شود. این خشک کن ها متناسب با حجم و مقدار دانه ها، در اندازه های مختلف ساخته می شوند و در محدوده دمایی ۳۰ تا ۶۵ درجه سانتی گراد استفاده می شوند. شایان ذکر است که خشک کردن بذرهاي مختلف غلات، سبزی ها و دانه های کشاورزی باید در محدوده کاملاً کنترل شده و در دماهای کم تر از ۴۵ درجه سانتی گراد و به صورت چندمرحله ای

با روندی کاهشی انجام شود. تقسیم بندی انواع خشک کن های کشاورزی به صورت های مختلفی انجام می گیرد. رایج ترین آنها تابعی از ابعاد و حجم دستگاه، شرایط عبور هوا و جابه جایی محصول در حین فرایند خشک شدن است. بر این اساس خشک کن های کشاورزی، صرف نظر از نوع محصول، به سه گروه عمده شامل خشک کن های وعده ای (بستر ثابت ایستاده یا خوابیده)، خشک کن های مخزنی و خشک کن های جریان پیوسته تفکیک می شوند. از طرفی برخی محصولات مانند سبزی ها و چپس های میوه و برگه ها باید به صورت تک لایه خشک شوند. برای این محصولات در اغلب مواقع از خشک کن های کابینتی سینی دار استفاده می شود. در صورت افزایش حجم محصول، سینی ها در داخل یک واگن قرار داده شده و عملیات خشک کردن درون خشک کن تونلی انجام می شود. در ادامه، انواع رایج خشک کن های مورد استفاده در بخش کشاورزی برای محصولات مختلف زراعی و باغی ارائه شده و خصوصیات کاربردی هر یک معرفی می شود.

خشک کن های غلات و دانه های روغنی

خشک کن های وعده ای (بستر ثابت ایستاده

یا خوابیده)

در این خشک کن ها، دانه ها با ضخامت حداکثر ۷۰ سانتی متر در داخل یک مخزن ریخته شده و هوای گرم از قسمت زیرین به داخل توده وارد شده و پس از جذب رطوبت محصول از قسمت بالایی به محیط هدایت می شود. به منظور اختلاط بهتر دانه ها و جلوگیری از خشک شدگی بیش از حد لایه های زیرین، نیاز است محصول در طول فرایند بر هم زده شود. نمونه ای از این نوع خشک کن ها در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۸- نمونه ای از خشک کن وعده ای (بستر ثابت خوابیده)

شایان ذکر است حداکثر ارتفاع پذیرفته برای هر نوع محصول متفاوت است و تابعی از مقدار رطوبت، اندازه و جرم حجمی محصول است. برای بیش تر محصولات مختلف دانه ای و غلات، ضخامت ۵۰ تا ۷۰ سانتی متر مناسب است. خشک کردن در ضخامت های بیش تر یکنواخت نبودن در خشک شدن لایه ها را تشدید می کند. ظرفیت های مرسوم این نوع خشک کن در صنایع کشاورزی معمولاً بین ۵۰۰ تا ۵۰۰۰ کیلوگرم متغیر است و به دلیل ساختار فیزیکی آنها امکان تفکیک داخلی محصول در داخل مخزن خشک کن نیز امکان پذیر است. از مزیت هایی که این نوع خشک کن ها دارند، قابلیت خشک کردن محموله های کوچک است. این نوع خشک کن ها در ایران برای خشک کردن پسته (شکل ۹)، ذرت دانه ای (شکل ۱۰) و شلتوک (شکل ۱۱) کاربرد دارند.



شکل ۹- نمونه ای از خشک کن های وعده ای بستر ثابت پسته



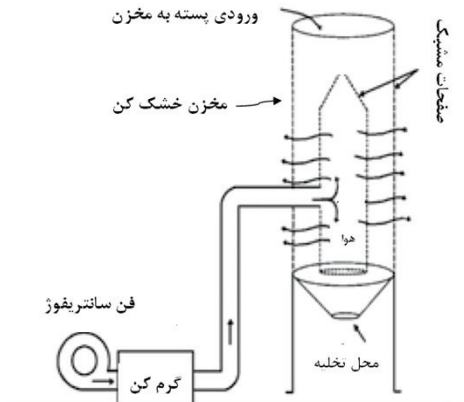
شکل ۱۰- خشک کن های وعده ای ذرت دانه ای مجهز به سیستم همزن



شکل ۱۱- انواع خشک کن های خوابیده وعده ای با بدنه فلزی
(تصویر راست) و سیمانی (تصویر چپ) برای خشک کردن شلتوک

در گروه خشک کن های وعده ای، خشک کن های دیگری نیز هستند که ارتفاع بلندی دارند. مقطع این خشک کن ها معمولاً به صورت یک استوانه با

مقطع دایره یا چهارگوش است. این دستگاه ها با ارتفاع ۳ تا ۱۰ متر ساخته می شوند. هوا به صورت یک کانال مرکزی در وسط استوانه جریان دارد که هوای گرم پس از عبور از لابه لای دانه ها از طریق روزنه های سطحی یا فن مکنده در قسمت بالایی از دستگاه خارج می شود. معمولاً محصولات دانه ای شکل نظیر پسته، فندق، بادام و ذرت دانه ای در این نوع خشک کن ها خشک می شوند. به این نوع دستگاه ها، خشک کن های ایستاده نیز گفته می شود. نمونه هایی از این نوع خشک کن برای خشک کردن پسته در شکل ۱۲ نشان داده شده است.



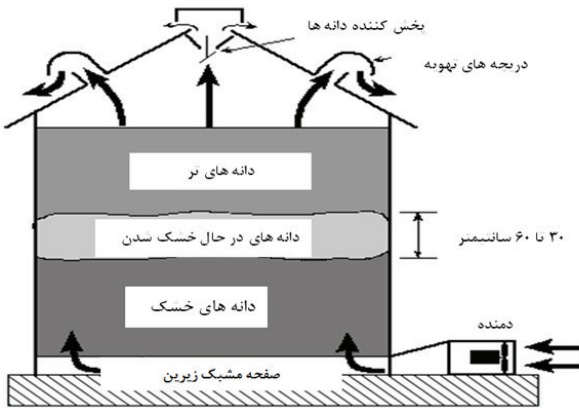
شکل ۱۲- نمایی از اصول کار خشک کن های وعده ای ایستاده برای خشک کردن پسته

خشک کن های مخزنی

نوع دیگری از خشک کن های وعده ای (بستر ثابت) خشک کن های مخزنی هستند که معمولاً برای خشک کردن و نگهداری غلات و دانه های روغنی از آنها استفاده می شود. در این نوع خشک کن ها، محصول با ضخامت بیش از یک متر نگهداری می شود. با توجه به رطوبت نسبی هوا در منطقه و عمق انبایش دانه ها از سیستم های همزن در این نوع مخازن استفاده می شود. نمونه ای از خشک کن های مخزنی در شکل ۱۳ نشان داده شده است.



شکل ۱۳- نمایی از خشک کن های مخزنی مورد استفاده در کشاورزی



ادامه شکل ۱۳- نمایی از خشک کن های مخزنی مورد استفاده در

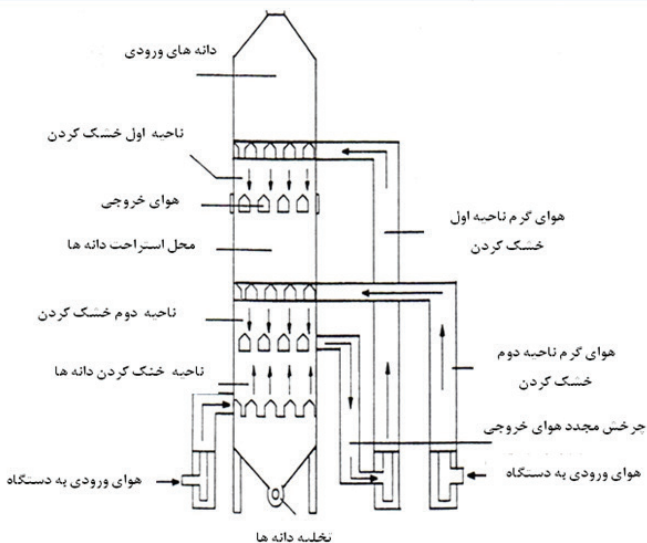
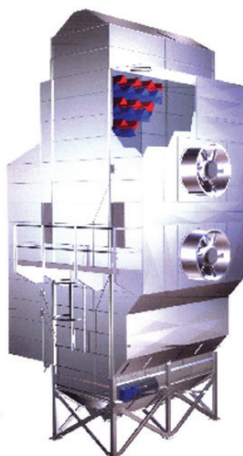
کشاورزی

معمولاً دماهای مورد استفاده در خشک کن های مخزنی در محدوده دمای محیط یا حداکثر ۵ تا ۱۰ درجه سانتی گراد بیش تر از آن است تا در بازه زمانی بلندمدتی (معمولاً بیش تر از یک هفته) بتدریج دانه های داخل خشک کن مخزنی خشک شوند و رطوبت آنها به حدود ۱۰ درصد برسد. پس از آن برای تهویه بهتر و جلوگیری از بازجذب رطوبت توسط دانه ها، گرمکن ها خاموش و تنها فرایند هوادهی تا زمان تخلیه محصول انجام می شود. در برخی مناطق که رطوبت نسبی هوا متوسط یا کم است، با توجه به شرایط و دمای محیط می توان به تناوب از سیستم هوادهی استفاده کرد تا فرایند بازجذب رطوبت در دانه ها انجام نشود.

خشک کن های جریان پیوسته

این نوع خشک کن ها برای خشک کردن دانه ها در حجم زیاد (حدود ۱ تا ۵ تن در ساعت) به کار می روند. از خشک کن های جریان پیوسته در مناطق شاخص تولید دانه ها و غلات بسیار استفاده می شود. در این نوع خشک کن ها، مکانیزم کار بدین صورت

است که محصول از قسمت بالا وارد دستگاه می شود و در استوانه ای با مقطع مستطیل شکل که پهنای داخلی ۵۰ تا ۷۰ سانتی متری دارد، قرار می گیرد. هوا از قسمت داخل به توده محصول وارد شده و پس از جذب رطوبت از قسمت بیرونی دستگاه خارج می شود. برای تهویه بهتر و خروج مناسب رطوبت از لابه لای دانه ها از فن های مکنده در قسمت بیرونی استفاده می شود. معمولاً در این خشک کن ها، دستگاه به دو قسمت مجزا تقسیم می شود. قسمت اول، منطقه گرم کننده (با دمای بین ۵۰ تا ۹۰ درجه سانتی گراد) و قسمت دوم، منطقه خنک کننده که دمای آن در حدود دمای محیط است. در منطقه اول عملیات انتقال حرارت و جذب رطوبت انجام شده و در منطقه دوم عملیات استراحت و توزیع یکنواخت رطوبت داخلی در دانه انجام می شود. پس از این مرحله، دانه های هم دما با محیط از قسمت تخلیه خشک کن که معمولاً در زیر دستگاه قرار دارد، خارج می شوند. نمونه هایی از این نوع خشک کن ها در شکل ۱۴ نشان داده شده است.



شکل ۱۴- ساختار نمونه ای از خشک کن های جریان پیوسته مورد استفاده در کشاورزی

در ایران برای خشک کردن ذرت دانه ای در بسیاری از مناطق تولیدکننده این محصول، نظیر استان های فارس و اردبیل، از این نوع خشک کن ها استفاده می شود. در شکل ۱۵ نمونه ای از دستگاه مورد استفاده در پارس آباد مغان (کشت و صنعت پارس) نشان داده شده است. محدوده دمایی این خشک کن ها برای ذرت دانه ای بین ۵۰ تا ۸۰ درجه سانتی گراد و برای ذرت بذری بین ۳۵ تا ۴۰ درجه سانتی گراد است.

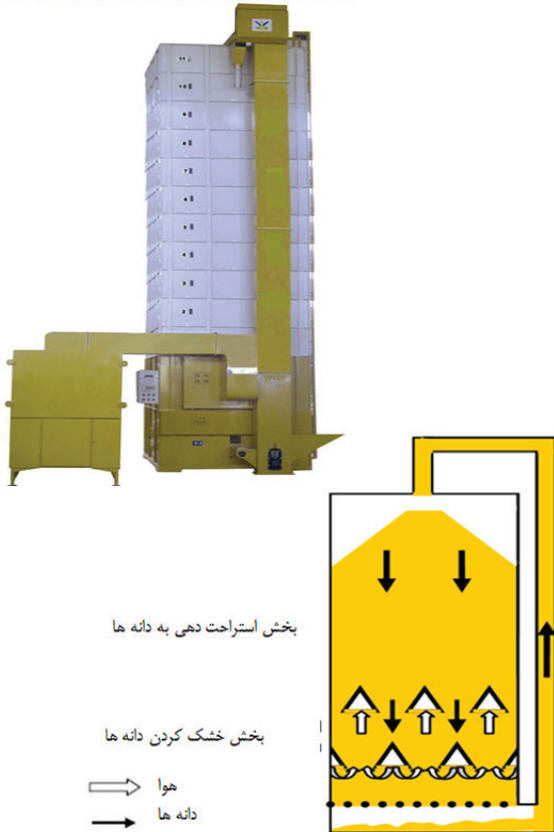


شکل ۱۵- تصاویری از خشک کن های جریان پیوسته مورد استفاده برای خشک کردن بذر ذرت در کشت و صنعت پارس (مغان)

خشک کن های پیوسته جریان گردشی

این نوع خشک کن ها در دنیا برای انواع مختلف غلات از جمله شلتوک کاربرد دارد. تعداد محدودی از شالی کوبی های ایران و عمدتاً کارخانه هایی که سیستم های تبدیل جدید دارند، از این نوع خشک کن ها استفاده می کنند (شکل ۱۶). به دلیل گرانی هزینه های اولیه راه اندازی سیستم، در حال حاضر کم تر از ۵ درصد از خشک کن های صنعت برنج کشور از این نوع هستند. در این نوع خشک کن ها در هر مرحله، یک وعده شالی داخل دستگاه ریخته می شود و در هنگام خشک شدن، مرتب از بالا به پایین و برعکس حرکت می کنند. این خشک کن متشکل از دو قسمت اصلی برای عملیات خشک کردن و استراحت دهی به دانه هاست. با توجه به جابه جایی شلتوک در دستگاه، زمان خشک شدن به طور چشمگیری کم می شود و انرژی مصرفی کاهش می یابد. این دستگاه ها معمولاً ظرفیت های بیش تر از ۳ تن (تا حدود ۸ تن) دارند و شلتوک را در مدت زمان حدود ۲۰ تا ۲۴ ساعت خشک می کنند. محدوده دمایی مورد استفاده برای خشک کردن

شلتوک در این نوع خشک کن ها حدود ۴۰ تا ۴۵ درجه سانتی گراد است.



شکل ۱۶- ساختار نمونه ای از خشک کن های جریان گردشی شلتوک

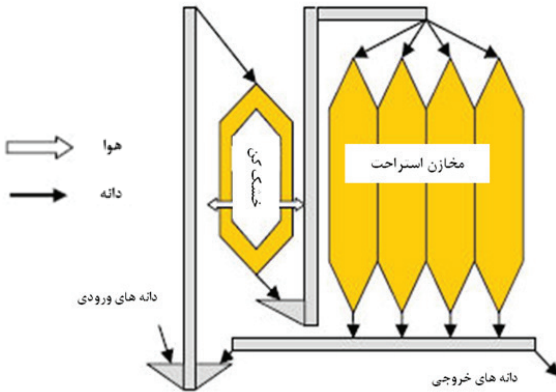
خشک‌کن‌های نوع جریان پیوسته با مخزن استراحت

در دنیا از این خشک‌کن‌ها عموماً برای خشک کردن غلات و ذرت استفاده می‌شود (شکل ۱۷). در ایران از این نوع خشک‌کن برای خشک کردن پسته استفاده می‌شود. در این نوع سیستم معمولاً دانه‌های خشک‌شده در مخازن استراحت‌دهی نگهداری و هوادهی شده و پس از مدت ۱۲ تا ۲۴ ساعت از سیستم تخلیه می‌شوند. در برخی مواقع دانه‌های موجود در مخازن استراحت‌دهی، مجدداً به داخل خشک‌کن بازگشت داده شده و طی چند مرحله خشک می‌شوند.

محدوده دمایی مورد استفاده در این خشک‌کن‌ها بین ۳۰ تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد است. در این خشک‌کن‌ها دانه‌ها با دبی مشخصی وارد دستگاه خشک‌کن می‌شوند و ضمن حرکت بسیار کند به طرف پایین، پس از خشک‌شدن از قسمت زیرین تخلیه شده و محصول وارد مخازن استراحت‌دهی^۱ می‌شود. مکانیزم عملکردی این خشک‌کن‌ها بدین صورت

۱ - Tempering bins

است: دانه ها در سه ناحیه بالایی، میانی و پایینی با جریان های هوای گرم، کم گرما و هم دمای محیط برخورد می کنند؛ سپس دانه ها پس از گرم شدن و تخلیه رطوبتی بتدریج در نزدیک قسمت خروجی به صورت سرد از دستگاه خارج می شوند.

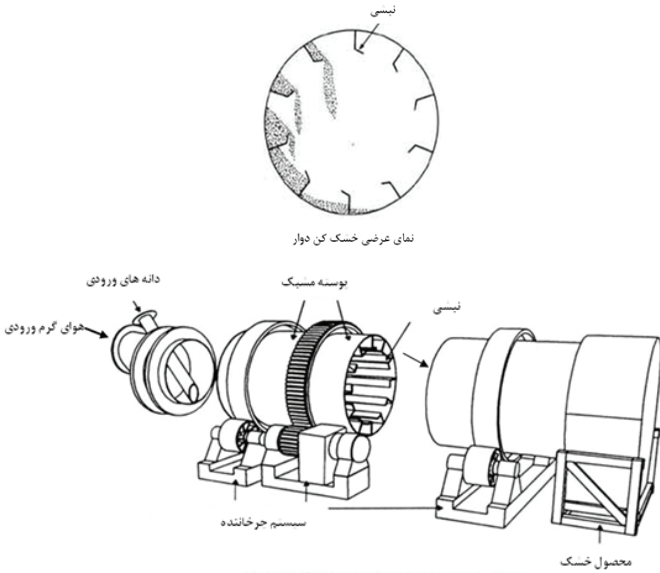


شکل ۱۷- خشک کن های جریان پیوسته با مخازن استراحت

خشک کن های دوار

خشک کن های دوار برای یکنواختی خشک کردن دانه ها کاربرد زیادی دارند و یکی از مهم ترین خشک کن هایی هستند که برای خشک کردن مواد گرانول شکل از جمله دانه ها استفاده می شوند. در این نوع خشک کن، دانه ها ضمن خشک شدن به طور مرتب زیر و رو می شوند تا زمان خشک شدن کاهش یابد و محصول به صورت یکنواخت خشک شود. خشک کن دوار شامل یک پوسته استوانه ای چرخنده به صورت افقی و با کمی شیب به سمت قسمت خروجی دانه ها از دستگاه است. دانه های مرطوب از ابتدای استوانه داخلی وارد شده و از انتهای دیگر محصول خشک شده خارج می شوند. هنگامی که استوانه می چرخد، پره های بالابرنده دانه ها را بالا می برد و در داخل هوای داغ در حال جریان پخش می کند. در نتیجه، سطح مواد جامد به طور کامل در معرض هوای داغ قرار می گیرد و عمل خشک شدن به طور مؤثرتری انجام می شود. معمولاً در محل ورود دانه ها، چند عدد پره مارپیچی هلیس مانند قرار دارد که محصول را به جلو هدایت

می کند تا به استوانه اصلی برسد (شکل ۱۸).



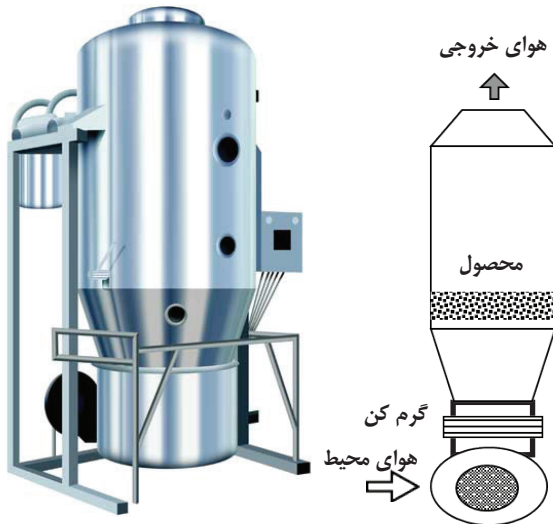
شکل ۱۸- نمونه ای از خشک کن دوار مورد استفاده برای خشک کردن محصولات دانه ای

در ایران معمولاً از این سیستم برای برشته کردن پسته و برخی محصولات خشکباری نظیر تخمه، نخودچی و مغز بادام استفاده می شود و با عنوان دستگاه برشته کن در خطوط فراوری خشکبار از آن استفاده می شود.

خشک کن های بستر سیال

خشک کن های بستر سیال یکی از مناسب ترین دستگاه های مورد استفاده برای خشک کردن دانه های گرانول شکل محصولات کشاورزی و غذایی است. با استفاده از این خشک کن ها، عملیات خشک کردن محصولات کشاورزی به صورت یکنواخت و در مدت زمان کوتاه تری نسبت به خشک کن های مرسوم انجام می شود. در خشک کن های بستر سیال، دانه ها در اثر فشار باد کمی بالاتر از بستر ثابت خود قرار می گیرند و تبادل رطوبتی بهتری را با هوای پیرامون خود انجام می دهد. بنابراین دانه ها با آهنگی سریع و یکنواخت در مدت زمانی اندک خشک می شوند. ضخامت بستر در این خشک کن ها معمولاً بین ۱۰ تا ۲۰ سانتی متر است.

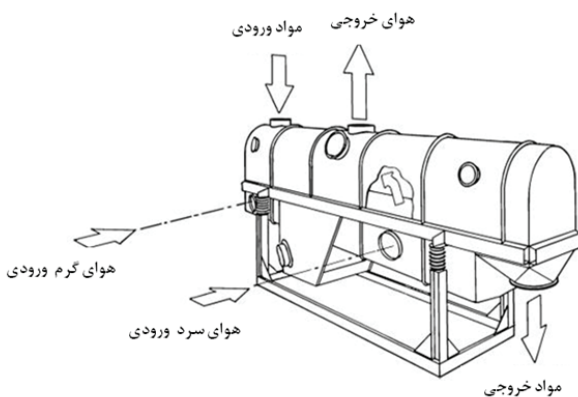
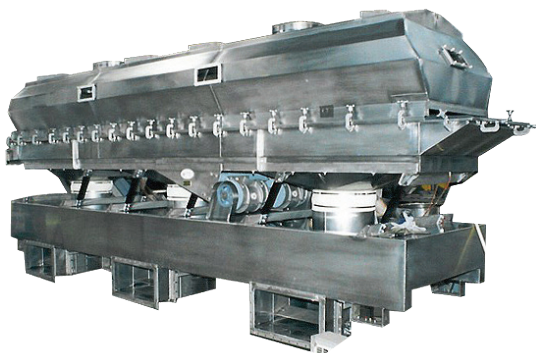
خشک کن های بستر سیال به دو صورت وعده ای^۱ و جریان پیوسته^۲ وجود دارند (شکل های ۱۹ و ۲۰). غالباً در خشک کردن محصولات غذایی به صورت بستر سیال، برای ورود هوای گرم به محفظه دانه ها از روزنه های صفحه فلزی مشبک استفاده می شود. هوای گرم از قسمت زیرین وارد توده محصول شده و پس از شناور ساختن و برهم زدن آن به همراه رطوبت از قسمت بالای محفظه خارج می شود.



شکل ۱۹- خشک کن بستر سیال وعده ای

۱ -Batch fluidized bed dryer

۲ -Continuous fluidized bed dryer



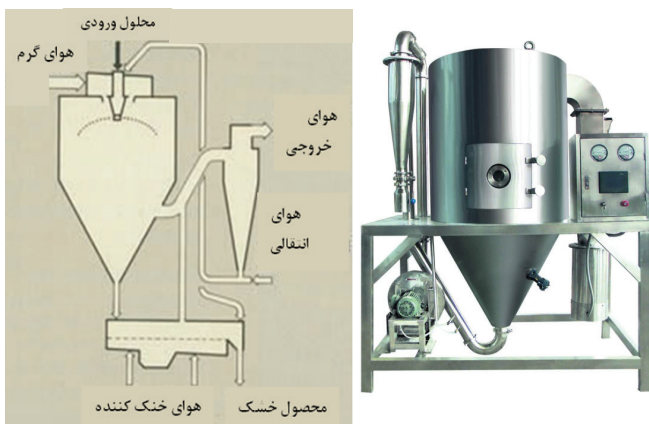
شکل ۲۰- ساختار خشک کن بستر سیال جریان پیوسته

خشک کن های پاششی

این سیستم، فرایندی مداوم و پیوسته است و خوراک مدنظر می تواند محلول، مخلوط جامد در مایع (دوغاب) یا حتی خمیر باشد. بر اساس خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خوراک، محصول به دست آمده پودری متشکل از ذرات منفرد و ذرات به هم چسبیده است. مهم ترین ویژگی پودر به دست آمده، یکنواختی ذرات آن است که باعث به وجود آمدن خصوصیات می شود نظیر روان بودن، حل شدن سریع، آسانی در مخلوط شدن با مواد دیگر و همچنین سهولت انجام عملیات بعدی بر روی آن.

از خشک کن های پاششی عموماً برای خشک کردن مایعات و تولید پودر از آنها استفاده می شود. بیش ترین استفاده از روش خشک کردن پاششی و دستگاه های آن، تولید پودر شیر خشک و انواع کنستانتتره و پودرهای آب میوه است که در صنایع غذایی و کشاورزی کاربرد فراوانی دارد. در این خشک کن ها، آهنگ خشک کردن سریع است و قطرات کوچک مایع ورودی با سرعت زیادی در محیطی استوانه ای تحت تأثیر جریان هوای گرم،

رطوبت خود را از دست می‌دهند و به صورت ذرات خشک از دستگاه خارج می‌شوند (شکل ۲۱). فرایند خشک کردن توسط خشک‌کن پاششی عبارت است از تبدیل محصول از حالت محلول به ذرات خشک جامد به وسیله اسپری کردن آن در محیطی که دمای لازم برای خشک کردن با استفاده از هوای گرم تأمین شده است.



شکل ۲۱- ساختار یک خشک‌کن پاششی

به طور کلی در سیستم خشک کن پاششی چهار مرحله زیر به ترتیب صورت می گیرد:

(الف) اسپری کردن خوراک؛

(ب) تماس بین فاز هوای داغ و مایع اسپری شده؛

(ج) خشک شدن قطرات اسپری شده؛

(د) جداسازی محصول خشک شده از هوا.

هر یک از مراحل فوق بر اساس خصوصیات محصول مدنظر و خواص فیزیکی شیمیایی خوراک بررسی و طراحی می شود. همچنین چگونگی قرار گرفتن دستگاه ها و تجهیزات لازم نسبت به یکدیگر به عوامل مذکور بستگی دارد. اسپری کردن مایع و تبخیر سریع رطوبت از قطرات اسپری شده باعث می شود که دمای محصول خشک شده به طور درخور توجهی از دمای هوای ورودی محفظه خشک کن کم تر باشد. بنابراین محصول تحت تأثیر دماهای زیاد قرار نمی گیرد و به هنگام جداسدن از هوای گرم، هیچ گونه آسیب حرارتی نمی بیند. از این رو، استفاده از این روش برای محصولات حساس به دما نظیر شیر و آب میوه توصیه می شود.

دمای دستگاه خشک کن پاششی تابعی از نوع محلول ورودی و برخی خصوصیات آن نظیر جرم، حجم و چگالی است. قطر ذرات محلول نیز معمولاً بین ۱۰ الی ۲۵۰ میکرون است. از این رو عمل خشک کردن فقط در چند ثانیه صورت می گیرد. اصول کار در این دستگاه بدین صورت است که مایع ورودی مدنظر در مخزن اولیه قرار می گیرد و به وسیله یک پمپ و لوله انتقال به قسمت بالایی دستگاه خشک کن پاششی هدایت می شود. در آنجا از طریق یک افشانک تحت فشار زیاد به صورت ذرات ریز در فضای استوانه ای مخروطی پاشیده می شود و با هوای گرم که از قسمت جانبی یا پایین استوانه به سمت ذرات هدایت می شود، برخورد می کند. در اثر برخورد ذرات مایع با هوای گرم رطوبت آن تبخیر شده و تبدیل به پودر خشک می شود. پودر خشک شده از طریق یک هلیس یا مارپیچ از پایین دستگاه خارج می شود. به علت ماهیت خشک کردن مایعات، بزرگ ترین مشکل استفاده از خشک کن های پاششی، گرفتگی افشانک، ایجاد کلوخه در ذرات خشک شده و چسبندگی قطرات مایع به دیواره و قسمت های داخلی خشک کن

است. برای رفع این مشکل متناسب با نوع مایع از فیلترهای مخصوص قبل از ورودی افشانک و افزودن برخی مواد کمکی (مثل فروکتوز و ساکارز برای مواد قندی) به مایع اصلی برای جلوگیری از چسبندگی استفاده می شود. همچنین سطح داخلی دستگاه باید به صورت دوجداره با پوشش های داخلی مخصوص ساخته شود تا از چسبندگی جلوگیری به عمل آید.

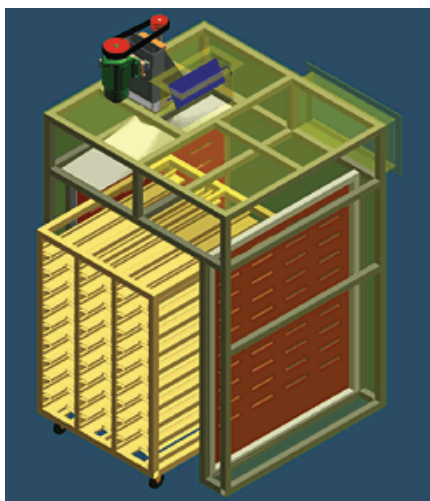
خشک کن های میوه و سبزی

خشک کردن میوه ها و سبزی ها باید به صورت تک لایه انجام شود؛ زیرا در صورت انباشته شدن محصول روی هم، امکان فساد و خرابی در حین فرایند خشک کردن وجود دارد و عملیات خشک کردن بخوبی انجام نمی شود. برای این منظور از خشک کن های کابینتی سینی دار به صورت های مختلفی در کشاورزی و صنایع تبدیلی استفاده می شوند. خشک کن های میوه و سبزی می توانند هم به صورت خورشیدی و هم با سوخت های فسیلی به کار گرفته شوند. در صنایع روستایی و برای مصارف محدود به کارگیری خشک کن های خورشیدی نوع کابینتی بسیار مفید است؛ زیرا با استفاده از انرژی خورشیدی و صرف هزینه ای محدود، می توان در محیطی کنترل شده و عاری از آلودگی های محیطی، میوه و سبزی های خشک تولید کرد. در خصوص خشک کردن سبزی این نکته حائز اهمیت است که اغلب سبزی ها به اشعه ماوراءبنفش (UV) خورشید حساس هستند، تغییر رنگ می دهند و کیفیت خود را از دست می دهند. بنابراین بهتر است برای این محصولات

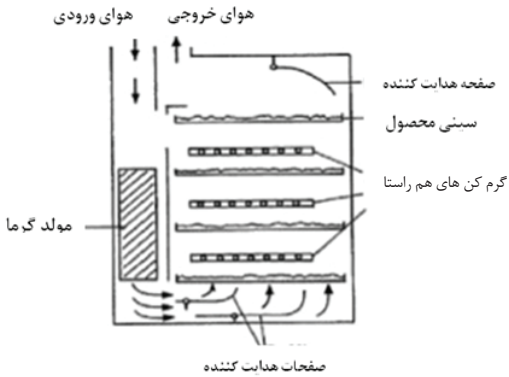
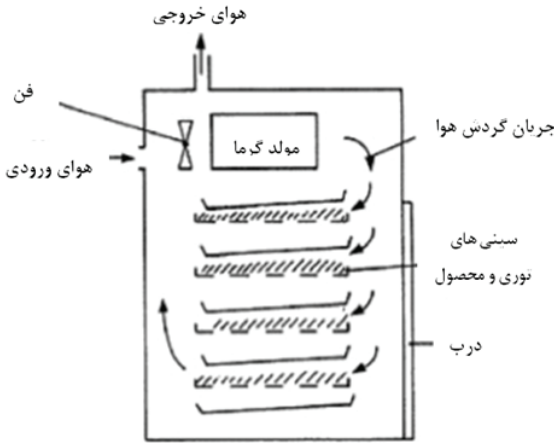
از گرمای غیرمستقیم خورشید بهره گرفته شود و در معرض تابش مستقیم نور آفتاب قرار نگیرند. در ادامه ویژگی های خشک کن های مختلف مورد استفاده برای خشک کردن میوه و سبزی بررسی می شود.

خشک کن های کابینتی سینی دار

این نوع خشک کن ها عمدتاً برای خشک کردن سبزی ها، گیاهان دارویی و محصولات با رطوبت زیاد مانند انگور و محصولاتی که در حین فرایند امکان انباشتگی محصول روی هم وجود نداشته باشد، استفاده می شوند. در این خشک کن ها محصول در داخل دستگاه روی سینی های توری با ضخامت تک لایه قرار می گیرند و با استفاده از جریان هوای گرم در پیرامون دانه ها و گرمای داخل دستگاه خشک می شود. محصول در این خشک کن ها به صورت ثابت قرار می گیرد و پس از خشک شدن به صورت یک جا از دستگاه خارج می شود. نمونه ای از خشک کن های سینی دار در شکل ۲۲ نشان داده شده است.



شکل ۲۲- ساختار نمونه ای از خشک کن های کابینتی سینی دار برای خشک کردن میوه و سبزی ها (ادامه در صفحه بعد)



ادامه شکل ۲۲- ساختار نمونه ای از خشک کن های کابینتی

سینی دار برای خشک کردن میوه و سبزی ها

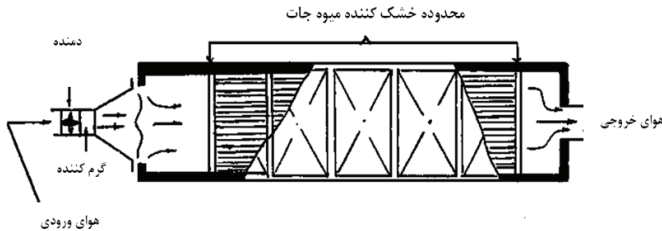
خشک‌کن‌های تونلی (واگنی)

خشک‌کن‌های تونلی یا واگنی نیز از انواع خشک‌کن‌های سینی‌دار هستند که در آن انواع سبزی‌ها و دانه‌ها در مقیاس بزرگ خشک می‌شوند. نحوه عملکرد دستگاه بدین صورت است که محصول بر روی قفسه‌های متحرک یا اصطلاحاً واگن وارد دستگاه شده و پس از خشک شدن در زمانی مشخص از دستگاه خارج می‌شود. اصول فرایند این خشک‌کن‌ها همانند خشک‌کن‌های کابینتی است. نمونه‌ای از این نوع خشک‌کن در شکل ۲۳ نشان داده شده است.



شکل ۲۳- ساختار نمونه‌ای از خشک‌کن تونلی مورد استفاده

در کشاورزی



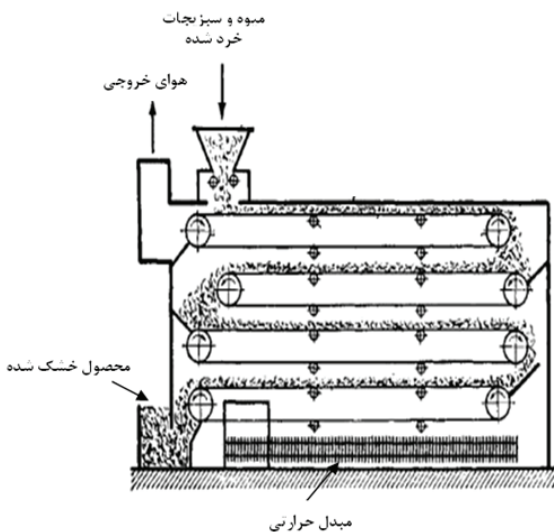
ادامه شکل ۲۳- ساختار نمونه ای از خشک کن تونلی مورد استفاده در کشاورزی

خشک کن های جریان پیوسته نواری

در زمانی که حجم محصول اولیه زیاد باشد، به نوعی سیستم پیوسته نیاز است تا در بازه زمانی مشخصی (معمولاً کم تر از ۱۰ ساعت) حجم معینی از میوه ها یا سبزی های خلال شده، برش خورده یا خرد شده را در محدوده دمایی تعریف شده خشک کند و به رطوبت مجاز برساند. برای این منظور در مقیاس های صنعتی از خشک کن های جریان پیوسته نواری استفاده می شود (شکل ۲۴). خشک کن های پیوسته نواری معمولاً برای موادی به کار می روند که زمان خشک شدن آنها طولانی نباشد. برتری این خشک کن ها نسبت به انواع تونلی و کابینتی عبارت است از:

- پیوستگی کامل خط تولید؛
 - یکنواختی مناسب کیفیت محصول نهایی؛
 - نیاز بسیار کم به نیروی انسانی.
- این خشک کن ها در طرح های مختلف یک، دو، سه یا چهار و پنج طبقه با ابعاد و ظرفیت های مختلف طراحی و ساخته می شوند (شکل ۲۴). در خشک کن های پیوسته نواری نیز عموماً نواحی حرارتی مستقلی تعریف می شود تا بر اساس آن بتوان منحنی دقیق کاهش رطوبت برحسب زمان را دنبال کرد و از افزایش غیرمجاز دمای محصول که می تواند کیفیت آن را تحت تأثیر قرار دهد، جلوگیری کرد. بستر حرکت ماده مرطوب می تواند صفحه مشبک، توری بافته شده استیل، توری پلیمری یا گالوانیزه باشد. جریان هوای موردنیاز را مولدهای هوای گرم با دمای کنترل شده تأمین می کنند. انرژی مولدهای حرارتی از گاز طبیعی یا گازوئیل و گاهی برق تأمین می شود. در برخی مواقع نیز از مبدل های گرم کننده که در داخل آنها بخار داغ وجود دارد، به عنوان منبع حرارتی استفاده می شود. مکانیزم عملکرد دستگاه خشک کن جریان پیوسته نواری بدین صورت است

که محصول از دریچه ورودی دستگاه که در قسمت بالایی قرار دارد، وارد دستگاه می شود و بر روی یک تسمه مشبک نقاله با سرعت بسیار کم قرار می گیرد. با حرکت نقاله محصول به سمت جلو پس از اینکه به انتهای تسمه نقاله اول رسید، بر روی تسمه دوم که در جهت عکس تسمه اول حرکت می کند، ریخته می شود. محصول به همین صورت از طریق آخرین تسمه نقاله از دستگاه خارج می شود. این نکته شایان ذکر است که دستگاه های خشک کن جریان پیوسته نواری دو تا سه ناحیه دمایی دارند. در ناحیه اول که نزدیک به محل ورودی محصول است، دما بیش تر است و بتدریج در ناحیه های بعدی دما کم تر می شود. از همین رو، در نزدیکی محل خروجی، دمای هوای دستگاه در کم ترین مقدار، تعریف شده است. معمولاً تعداد تسمه های انتقال در خشک کن جریان پیوسته نواری بین چهار تا پنج تسمه نقاله است.



شکل ۲۴- ساختار خشک‌کن جریان پیوسته نواری برای خشک کردن میوه و سبزی‌های خردشده

روش انتخاب خشک کن مناسب

برای انتخاب خشک کن مناسب ابتدا باید بدانیم که بهترین روش اجرایی برای خشک کردن هر محصول چه روشی است تا بر مبنای آن محصول نهایی خشک شده از کیفیت مناسبی برخوردار باشد و در حداقل زمان لازم با مصرف کم ترین انرژی خشک شود. بنابراین بر اساس سه عامل اصلی زمان، کیفیت محصول نهایی و انرژی مصرفی، ابتدا روش خشک کردن و سپس دستگاه خشک کن مناسب انتخاب می شود.

بهترین روش خشک کردن تابعی از چند عامل مختلف است: نوع محصول، مقدار محصول، زمان مورد نیاز برای خشک کردن، کاربرد و خواص کیفی مهم محصول خشک شده. مثلاً برای خشک کردن محصولات دانه ای شکل در مناطق دارای آفتاب مناسب و در صورت داشتن زمان کافی و کاربرد خوراکی، اولویت با خشک کردن با روش آفتاب خشک و به کارگیری خشک کن های خورشیدی است. مصداق این انتخاب، خشک کردن عمده محصولات خشکباری نظیر پسته، کشمش، بادام، فندق و برگه ها در

بسیاری از نقاط کشور است. برای خشک کردن گیاهان دارویی به دلیل تأثیر شرایط تابش و اشعه ماوراءبنفش، محدودیت استفاده از خشک کن های خورشیدی پیش بینی پذیر است. بنابراین استفاده از خشک کن های صنعتی با حجم کوچک توصیه می شود. در این خشک کن ها می توان دمای هوای ورودی را کنترل کرد و در محدوده مدنظر نگه داشت. برای حجم زیاد محصولات دانه ای و تولید خلال ها و سبزی های خشک پیشنهاد می شود از خشک کن های پیوسته استفاده کرد. در زیر جدولی برای طبقه بندی خشک کن های رایج محصولات کشاورزی در ایران به تفکیک نوع محصول و محدوده دمای مورد استفاده ارائه شده است (جدول ۱).

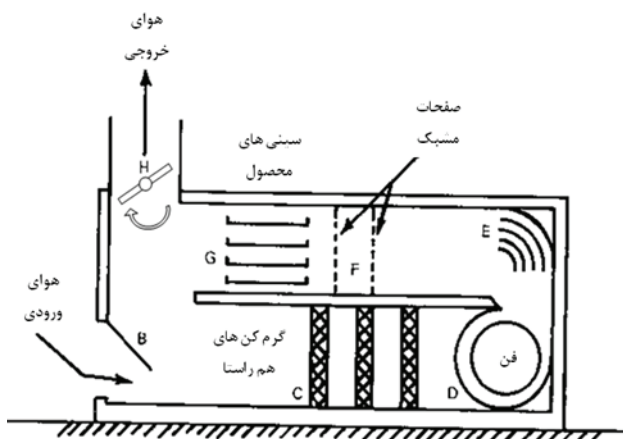
جدول ۱- طبقه بندی خشک کن های رایج محصولات کشاورزی به تفکیک نوع محصول و محدوده دمایی

محدوده دمایی مورد استفاده (°C)	مورد کاربرد برای خشک کردن	نوع دستگاه خشک کن
۵۰ تا ۳۰	شلتوک	خشک کن وعده ای (خوابیده)
۸۵ تا ۷۰	ذرت دانه ای	
۴۰ تا ۳۰	ذرت بذری	
۶۵ تا ۵۰	پسته	
۵۰ تا ۳۰	شلتوک	خشک کن وعده ای (ایستاده)
۶۵ تا ۵۰	پسته	
۸۵ تا ۷۰	ذرت بذری	خشک کن ایستاده جریان پیوسته
۴۰ تا ۳۰	ذرت دانه ای	
۴۵ تا ۳۰	شلتوک	خشک کن ایستاده گردشی
۴۰ تا ۳۰	خشک کردن بلال ذرت	خشک کن مخزنی
۶۰ تا ۴۰	سبزی ها	خشک کن کابینتی
۷۰ تا ۶۰	برگه های خشکباری	
۷۰ تا ۶۰	برش های میوه	
۶۰ تا ۵۰	انگور	
۶۰ تا ۵۰	قارچ	
۴۰ تا ۳۰	گیاهان دارویی	
۴۰ تا ۳۰	بذر سبزی ها	
۶۰ تا ۴۰	سبزی ها	خشک کن واگنی
۷۰ تا ۶۰	برگه های خشکباری	
۷۰ تا ۶۰	برش های میوه	
۶۰ تا ۵۰	انگور	
۳۰۰ تا ۱۰۰	تولید پودر از آب میوه، آب پنیر و شیر	خشک کن پاششی
۷۰ تا ۶۰	برش های میوه ها	خشک کن نواری پیوسته
۶۰ تا ۴۰	سبزی های خردشده	

مدیریت مصرف انرژی در خشک کن ها

یکی از مهم ترین شاخص ها در به کارگیری صحیح هر خشک کن کشاورزی، آگاهی از رفتار محصول در حین خشک شدن است. بر مبنای این آگاهی می توان انرژی واقعی مورد نیاز را تخمین زد و از اتلاف آن جلوگیری کرد. یکی از عوامل مؤثر در کنترل مصرف انرژی در فرایند خشک شدن، دانستن نقطه تعادل رطوبتی ماده در حین فرایند خشک شدن است. بدین معنی که ماده در شرایط مختلف رطوبت نسبی هوا (در مناطق و استان های مختلف) تا چه حد قابلیت دفع یا جذب رطوبت با محیط را دارد. برای مثال شلتوک در شرایط آب و هوایی و رطوبت شمال کشور در چه حدی از رطوبت می تواند خشک شود؟ یا در این منطقه، شلتوک برای رسیدن به رطوبت حدود ۷ تا ۹ درصد برای عملیات تبدیل، به چه محدوده دمایی و چه مدت زمانی نیاز دارد؟ پژوهش ها نشان می دهد که در مناطق نیمه خشک با رطوبت نسبی هوای پایین، کاهش دمای خشک کن در مراحل آخر، می تواند مصرف انرژی را تا حدود ۴۰ درصد کاهش دهد. همان گونه که در

تئوری خشک کردن محصولات کشاورزی ذکر شد، در مراحل اولیه، رطوبت سطحی به سرعت از ماده خارج و تبخیر می شود. در این مرحله می توان از دماهای بالاتر برای خشک کردن استفاده کرد. با گذشت زمان، رطوبت داخل دانه ها باید از قسمت های داخلی به سمت سطح حرکت کند و از روزه های سطحی خارج شود. به دلیل اینکه حرکت رطوبت در لایه های داخلی کند است و به زمان زیادی نیاز دارد، می توان در این مرحله دمای خشک کن را در دو یا سه مرحله کاهش داد و در مراحل آخر به دمای محیط نزدیک کرد. این مکانیزم از ائتلاف انرژی جلوگیری می کند. یکی دیگر از روش های مدیریت انرژی در فرایند خشک کردن، ایجاد سیکل بسته در خشک کن های کابینتی و تعبیه دریچه خروجی تحت کنترل در دستگاه است. این دریچه در مواقع لزوم و متناسب با فرایند خشک کردن و رطوبت داخل محفظه باز می شود و اجازه تخلیه رطوبت را می دهد. در بقیه موارد تا پایان فرایند خشک شدن، این دریچه در خشک کن بسته خواهد بود (شکل ۲۵).

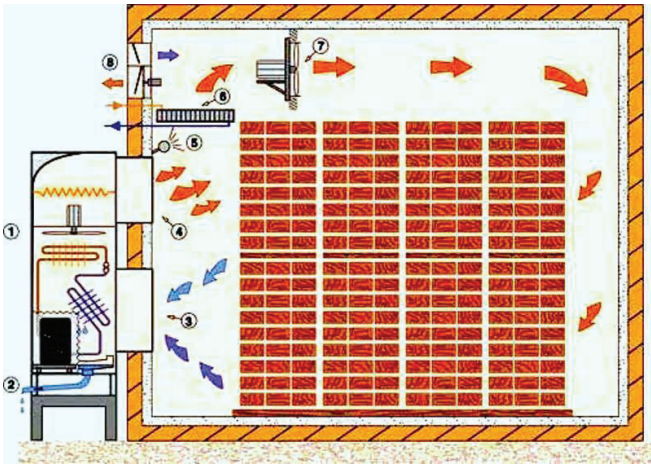


شکل ۲۵- ساختار خشک کن کابینتی دارای سیکل بسته برای خشک کردن میوه و سبزیجات

باید توجه کرد که در خشک کن، اعمال سرعت جابه جایی هوای بیش تر و استفاده از دماهای بالاتر تا حد معینی در کاهش زمان خشک شدن تأثیر بهینه دارد. به عبارت دیگر افزایش دما یا سرعت هوای خشک کن همیشه با کاهش زمان خشک شدن رابطه خطی ندارد. لذا پیدا کردن نقطه بهینه در خشک کردن هر محصول نیاز به تحقیق دارد. برای مثال در فرایند خشک شدن پسته افزایش دما از ۵۰ به ۶۰ درجه سانتی گراد موجب کاهش ۲۵ درصدی زمان خشک شدن می شود، در حالی که تغییر دما از ۶۰ به ۷۰ درجه سانتی گراد حدود ۲۰ درصد زمان خشک شدن را کم می کند. در خصوص تغییرات سرعت هوا در خشک کن، افزایش سرعت هوا از ۰/۵ به ۱ متر بر ثانیه نسبت به افزایش از ۱ به ۱/۵ متر بر ثانیه سرعت هوا در خشک کن تأثیر بیش تری بر کاهش زمان فرایند دارد. این ها مسائلی است که تأثیر بسیار زیادی بر مدیریت مصرف انرژی در خشک کن های کشاورزی و کیفیت محصول نهایی دارد.

خشک کردن بذرها

بذرهای کشاورزی از جمله نهاده های تولیدی هستند که باید دقت بسیار زیادی درخصوص آن اعمال کرد. شناخت ناقص و توجه نکردن کافی به فرایند تولید و فراوری بذرها، در برخی مواقع صدمات جبران ناپذیری به عرصه تولید وارد می کند و موجب جوانه نزدن، بدسبزی در مزرعه، گسترش و افزایش بیماری های گیاهی و مشکلات زراعی در سطح وسیع شده است. یکی از مراحل مهم در فراوری بذر برخی محصولات کشاورزی نظیر ذرت، مرحله خشک کردن و رعایت الزامات آن است. اجرای روش نادرست، انباشته شدن بذرها روی یکدیگر، نبود تهویه مناسب و استفاده از دماهای بالا تأثیر چشمگیری بر کاهش قوه نامیه (درصد جوانه زنی) و سایر خصوصیات زراعی بذر دارد. پژوهش ها نشان می دهد که مناسب ترین روش برای خشک کردن مصنوعی (دستگاهی) بذر، خشک کردن لایه نازک و ایجاد تهویه مناسب در دانه ها به هنگام خشک کردن است. به همین دلیل، به کارگیری از خشک کن های سینی دار یا واگنی برای خشک کردن بذر با رطوبت بیش از ۳۰ درصد توصیه می شود (شکل ۲۶).



شکل ۲۶ - ساختار نوعی خشک کن واگنی برای خشک کردن بذر

در مواردی که رطوبت دانه‌ها هنگام برداشت کم‌تر از ۲۰ درصد باشد (مانند بذرهای غلات) می‌توان از خشک‌کردن با ضخامت لایه‌های بیش‌تر نیز استفاده کرد. برای نمونه معمولاً برای خشک‌کردن و نگهداری بذر غلات از خشک‌کن‌های مخزنی به صورت وعده‌ای یا جریان پیوسته استفاده می‌شود. هر قدر محدوده دمای مورد استفاده برای بذر به دمای محیط نزدیک‌تر باشد و تنش حرارتی کم‌تری به بذر وارد شود، سلامت بذر بیش‌تر تضمین می‌شود. معمولاً منابع مختلف، استفاده از دمای بالاتر از ۴۵ درجه سانتی‌گراد را برای روش‌های مرسوم خشک‌کردن بذرهای کشاورزی توصیه نمی‌کنند. رطوبت مجاز بذرهای کشاورزی برای نگهداری بلندمدت در حدود ۱۰ درصد بر پایه وزن تر است. بنابراین، عملیات خشک‌کردن بذرهای کشاورزی و نگهداری آنها باید به گونه‌ای باشد که تغییرات رطوبت دانه‌ها از حدود تعریف‌شده خارج نشود و قوه نامیه بذر اُفت نکند. شایان ذکر است هرچه رطوبت اولیه بذر برداشت‌شده کم‌تر باشد، ضخامت بذر داخل خشک‌کن در مرحله اول فرایند

می تواند تا حدودی افزایش یابد. البته این افزایش در ضخامت نباید بیش تر از ۷۰ سانتی متر باشد؛ چرا که موجب خشکیدگی بیش از حد در لایه های پایین تر می شود. نمونه هایی از خشک کن های بذر در شکل های ۲۷ و ۲۸ نشان داده شده است.



شکل ۲۷ - نوعی خشک کن کابینتی برای خشک کردن بذر



شکل ۲۸- تصویری از خشک کن ایستاده برای خشک کردن بذر

خشک کردن گیاهان دارویی

برای خشک کردن گیاهان دارویی باید به حفظ ماده مؤثره و کیفیت محصول نهایی توجه ویژه کرد. معمولاً، گیاه جمع آوری شده باید هرچه سریع تر در معرض خشک شدن قرار گیرد تا از آسیب دیدگی در هنگام پژمردگی جلوگیری شود. در اکثر موارد، نباید از روش خشک کردن گیاه زیر نور مستقیم خورشید استفاده شود؛ زیرا نور خورشید باعث از بین رفتن مواد اولیه شده و گیاه به سرعت زرد و قهوه‌ای می شود. گیاهانی که برای اسانس گیری جمع آوری می شوند، با عمل خشک کردن در نور خورشید یک سوم از مواد اولیه خود را از دست می دهند. این مقدار برای گیاه گل گندم و نعناع در اثر تابش مستقیم آفتاب یک پنجم وزن اولیه مواد مؤثره است. البته باید یادآوری کرد که در برخی موارد خاص برای تبخیر رطوبت سطحی، باید گیاه برای مدت کوتاهی در نور آفتاب قرار گیرد. سپس برای مراحل تکمیلی فرایند خشک شدن، باید گیاه در محل سرپوشیده‌ای که جریان هوای مناسب دارد، نگهداری شود (شکل ۲۹).



شکل ۲۹- قرار گرفتن گیاهان دارویی در جریان هوا در مکان مناسب

اغلب قبل از خشک کردن یک گیاه، برای از بین بردن گرد و خاک و آشغال ها و خاک چسبیده به آن لازم است برای مدت کوتاهی محصول را در جریان آب شست و شو داد. خشک کردن برگ ها

کار نسبتاً آسانی است؛ ولی در خصوص ساقه ها و سرشاخه ها وضع به صورت دیگری است. بنابراین، عمل خشک کردن باید آنقدر ادامه یابد تا بتوان گیاه را کوبید و پودر کرد. همچنین قسمت های سخت نیز باید در صورت خم شدن به آسانی بشکنند. اگر گیاه بیش از حد خشک شود، ضمن جذب گرد و غبار مقداری از مواد مؤثره موجود در آن نیز از بین می رود. برعکس اگر گیاه به مقدار کافی خشک نشود و کمی مرطوب باقی بماند، در مدت نگهداری گندیده و خراب می شود. در تابستان در محلی سرپوشیده معمولاً گل ها در مدت ۳ تا ۸ روز و برگ ها در مدت ۴ تا ۶ روز خشک می شوند؛ اما در پاییز و بهار می باید وقت بیش تری برای آن صرف شود. برخی گیاهان دارویی را نظیر انیسون، زیره و رازیانه که به دلیل استفاده از میوه شان یا مانند مرزنگوش و آویشن که برای سرشاخه هایشان کشت می شوند می توان ابتدا برای مدتی به حال خود رها کرد. البته به شرطی که زیر باران یا نور آفتاب قرار نداشته باشند. در کارخانه های صنعتی باید از خشک کن هایی استفاده شود که دما و رطوبت را بتوان در آن اندازه گیری و تنظیم کرد و

جریان هوای مناسبی در دستگاه وجود داشته باشد. برای خشک کردن گیاه دارویی، نباید آن را روی منبع حرارتی قرار داد و از طریق انتقال گرمای تماسی گیاه را خشک کرد. بهتر است گرما از طریق نوعی سیال واسط (هوا) به محصول منتقل شده و رطوبت از گیاه خارج شود. پیشنهاد می شود که در مقیاس کوچک برای این کار از خشک کن برقی با قابلیت کنترل خودکار گرما استفاده شود. برای خشک کردن در مقیاس بزرگ به کارگیری منابع سوخت فسیلی نظیر گاز برای استفاده در خشک کن های صنعتی گیاهان دارویی توصیه می شود. در مجموع بررسی ها نشان می دهد که به کارگیری شرایط طبیعی و استفاده از حداقل گرمای طبیعی ممکن (شرایط دمای محیطی) مناسب ترین گزینه برای خشک کردن گیاهان دارویی است. بدین صورت که در زمستان باید گیاهان را در اتاقی گرم و در تابستان در یک انباری در سایه و در محلی که هوا جریان داشته باشد، قرار داد. سپس قسمت های گیاه را به صورت لایه ای نازک روی سبدهای چوبی که قبلاً میوه یا سبزی ها در آن بوده است، پهن کرد. در این حالت به دلیل مشبک بودن

کف سبدها جریان هوا در آن بهتر انجام می‌شود و به نوعی امتیاز به شمار می‌رود. این سبدها می‌توانند روی هم نیز قرار گیرند. برای خشک کردن به مقدار بیش‌تر می‌توان از روش قفسه‌بندی استفاده کرد و الگویی شبیه خشک‌کن‌های واگنی سینی‌دار در داخل اتاقک‌های هوای گرم با تهویه مناسب ایجاد کرد. نمونه‌ای از اتاقک‌های هوای گرم در شکل ۳۰ نشان داده شده است.



شکل ۳۰- خشک کردن گیاهان دارویی با استفاده از اتاقک‌های هوای گرم

جدول خشک‌کردن برخی محصولات

شاخص باغی و زراعی، بذرها و گیاهان دارویی

با توجه به عوامل متفاوت مثل ویژگی‌های محصول، مقدار رطوبت اولیه، سرعت مورد نیاز خشک‌شدن، رطوبت نهایی محصول خشک‌شده و کاربرد آن می‌توان از خشک‌کن‌های مختلفی استفاده کرد. در جدول ۲ به ارتباط نوع خشک‌کن و محصول اشاره شده است. این جدول نشان می‌دهد که برای خشک‌کردن یک خانواده از محصولات کشاورزی مانند غلات یا میوه‌های خشک‌باری از چه نوع خشک‌کن‌هایی می‌توان استفاده کرد. همچنین ویژگی‌های روش‌های خشک‌کردن و دستگاه‌های مربوطه برای محصولات مختلف کشاورزی در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۲- ویژگی های کاربردی برخی خشک کن های مورد استفاده برای محصولات کشاورزی مختلف

نوع خشک کن	ویژگی های محصول کشاورزی											
	رطوبت نهایی		نیاز به سرعت خشک شدن		استحکام مکانیکی	اندازه		حساس به دما	رطوبت اولیه		مابع	جامد
	متوسط	کم	آرام	متوسط و سریع		متوسط و بزرگ	کوچک		کم	متوسط و زیاد		
خورشیدی	*		*		*	*	*	*	*	-	*	*
مخزن	*		*		*	*	*	*	*	-	*	*
کابینتی	*	*	*	*					*	*	-	*
نواری	*	*	*	*					*	*	-	*
بستر سیال	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
دوار	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
پاششی	*	*	*	*	-	-	*	*	*	*	*	-

* قابل استفاده

- مصداق کاربردی ندارد.

جدول ۳- ویژگی های روش های خشک کردن مورداستفاده برای محصولات کشاورزی مختلف

مدت زمان احتمالی خشک کردن	دستگاه خشک کن	محدوده دمای مورد استفاده (°C)	روش خشک کردن	محدوده رطوبت نهایی محصول (%w.b)		محصول
				محدوده رطوبت اولیه محصول (%w.b)	محدوده رطوبت نهایی محصول (%w.b)	
۲ تا ۳ روز	خشک کردن در محیط آزاد با آفتاب مستقیم	۲۰ تا ۴۵ (محدوده دمای منطقه)	آفتاب خشک	۵ تا ۷	۳۰ تا ۴۰	محصولات دانه ای نظیر پسته، بادام، فندق
۱۰ تا ۲۴ ساعت	خشک کن های وعده ای	۵۰ تا ۷۵	خشک کردن با هوای گرم			
۱ تا ۲ روز	خشک کردن در محیط آزاد با آفتاب مستقیم	۲۰ تا ۴۵ (محدوده دمای منطقه)	آفتاب خشک	۷ تا ۹	۱۶ تا ۲۰	شلوک
۲۴ تا ۴۸ ساعت	خشک کن های وعده ای	۳۰ تا ۵۰	خشک کردن با هوای گرم			
۸ تا ۱۰ ساعت	خشک کن های ایستاده	۷۰ تا ۸۵	خشک کردن با هوای گرم	۱۲ تا ۱۴	۱۷ تا ۲۰	ذرت دانه ای

ادامه جدول ۳- ویژگی های روش های خشک کردن مورد استفاده برای محصولات کشاورزی مختلف

مدت زمان احتمالی خشک کردن	دستگاه خشک کن	محدوده دمای مورد استفاده (°C)	روش خشک کردن	محدوده رطوبت نهایی محصول (%w/w)	محدوده رطوبت اولیه محصول (%w/w)	محصول
	خشک کن های سینی دار کابینتی	۷۰ تا ۵۰	خشک کردن با هوای گرم	۱۷ تا ۱۴	۹۵ تا ۸۰	برش های میوه (چنیس میوه)
۳ تا ۵ روز	خشک کردن در محیط آزاد با آفتاب مستقیم	۲۰ تا ۴۵ (محدوده دمای منطقه)	تیزاب زنی + آفتاب خشک	۱۵ تا ۱۴	حدود ۹۰	انگور
۲۰ تا ۴۰ ساعت	خشک کن های اتاقکی	۷۰ تا ۵۰	تیزاب زنی + هوای گرم			
۳ تا ۵ روز	خشک کردن در محیط آزاد با آفتاب مستقیم	۲۰ تا ۴۵ (محدوده دمای منطقه)	پیش تیمار اولیه + آفتاب خشک			
۱ تا ۳ روز	خشک کن های سینی دار کابینتی	۷۰ تا ۵۰	پیش تیمار اولیه + هوای گرم	۱۷ تا ۱۴	۸۵ تا ۷۵	برگه ها

ادامه جدول ۳- ویژگی های روش های خشک کردن مورد استفاده برای محصولات کشاورزی مختلف

مدت زمان احتمالی خشک کردن	دستگاه خشک کن	محدوده دمای مورد استفاده (°C)	روش خشک کردن	محدوده رطوبت نهایی محصول (%w.b)	محدوده رطوبت اولیه محصول (%w.b)	محصول
۶ تا ۲۰ ساعت	خشک کن های سبزی دار کابینتی	۵۰ تا ۶۰	هوای گرم	۵ تا ۷	۸۰ تا ۸۵	سبزی های خشک
۲۴ تا ۴۸ ساعت	خشک کن های اتاقکی با صفحات مشبک	حد اکثر ۴۰	خشک کردن با هوای گرم محیط یا گرمای کم	۸ تا ۱۰	۷۰ تا ۸۵	گیاهان دارویی
۱۵ تا ۲۴ ساعت	خشک کن های وعده ای برای بذرهایی غلات و خشک کن های کابینتی سبزی دار برای خشک کردن بذرهایی ریز و سبزی ها	۳۰ تا ۴۰	خشک کردن با هوای گرم	۱۰ تا ۱۲	۴۰ تا ۶۰	بذرها

جدول مشکلات و راه حل های پیشنهادی در خشک کردن محصولات کشاورزی

در کاربرد خشک کن های کشاورزی مشکلات و موارد خاصی اتفاق می افتد که به اصلاح سیستم یا روش به کارگیری دستگاه نیاز دارد. البته مشکلات پیش آمده می تواند روی محصول نهایی یا مصرف انرژی و زمان خشک شدن تأثیر بگذارد. مشکلات هر کدام از انواع دستگاه های خشک کن راه حل خاص خود را می طلبد. در جدول ۴ بعضی از مشکلات رایج در خشک کن های کشاورزی ارائه شده و روش اصلاح هر کدام از آنها توضیح داده شده است.

جدول ۴- مشکلات رایج در خشک کن های کشاورزی و راه حل اصلاح آن ها

راه حل پیشنهادی		نوع خشک کن		اشکال یا ایراد فنی	
اصلاح دما و هوای در گردش خشک کن	تهامی خشک کن ها	طولانی بودن زمان فرایند	اصلاح دما و هوای در گردش خشک کن	کاهش ضخامت لایه محصول در دستگاه، کاهش سرعت حرکت دانه ها در داخل خشک کن های جریان پیوسته، افزایش دمای خشک کن	زیادبودن رطوبت در محصول نهایی
کاهش ضخامت لایه محصول در دستگاه، کاهش سرعت حرکت دانه ها در داخل خشک کن های جریان پیوسته، افزایش دمای خشک کن	خشک کن های غلات	زیادبودن رطوبت در محصول نهایی	اصلاح جریان هوای داخل خشک کن، کاربرد تیغه های هدایت جریان هوا در خشک کن های کابینتی	کاهش ضخامت لایه محصول در دستگاه، کاربرد همزن در خشک کن های خوابیده	غیر یکواختی رطوبت در محصول نهایی
اصلاح جریان هوای داخل خشک کن، کاربرد تیغه های هدایت جریان هوا در خشک کن های کابینتی	خشک کن های میوه	غیر یکواختی رطوبت در محصول نهایی	کاهش دما و ایجاد تهویه مناسب در خشک کن	اصلاح جریان هوای داخل خشک کن، کاربرد تیغه های هدایت جریان هوا در خشک کن های کابینتی	تغییر رنگ و طعم محصول نهایی
کاهش دما و ایجاد تهویه مناسب در خشک کن	خشک کن های میوه	تغییر رنگ و طعم محصول نهایی	کنترل و درزبندی قسمت هایی که انرژی از آنها هدر می رود، عایق بندی جدارهای ورودی هوای خشک کن، انجام خشک کردن چند مرحله ای و کاربرد دماهای مختلف در طول فرایند	کاهش دما و ایجاد تهویه مناسب در خشک کن	مصرف زیاد انرژی در خشک کن
کنترل و درزبندی قسمت هایی که انرژی از آنها هدر می رود، عایق بندی جدارهای ورودی هوای خشک کن، انجام خشک کردن چند مرحله ای و کاربرد دماهای مختلف در طول فرایند	تهامی خشک کن ها	مصرف زیاد انرژی در خشک کن			

ادامه جدول ۴- مشکلات رایج در خشک کن های کشاورزی و راه حل اصلاح آن ها

راه حل پیشنهادی	نوع خشک کن	اشکال یا ایراد فنی
کاهش دمای خشک کن و تعدیل مدت زمان اقامت سلولوک در خشک کن	خشک کن های برنج	شکستگی و ترک خوردگی برنج
کاهش ضخامت پسته ها در دستگاه خشک کن و ایجاد تهویه مناسب در دستگاه	خشک کن های پسته	تغییر رنگ پوست، ایجاد بوی نامطبوع و کاهش خندانی پسته های دهان باز
کاهش دمای خشک کن و اصلاح گردش هوا در آن	خشک کن بذر	جوانه بزدن بذر
افزایش دمای خشک کن و افزایش شدت گردش هوا در آن	خشک کن بذر	جوانه زنی بذر در حین فرایند خشک کردن
افزایش دما و شدت هوادهی و ایجاد تهویه مناسب در فرایند خشک کردن	خشک کن های میوه	بروز تخمیر و کپک زدگی میوه در حین فرایند خشک کردن

ادامه جدول ۴- مشکلات رایج در خشک کن های کشاورزی و راه حل اصلاح آن ها

راه حل پیشنهادی		اشکال یا ایراد فنی	
نوع خشک کن		نوع خشک کن	
افزایش دما و شدت هوادهی و ایجاد تهویه مناسب در خشک کن	خشک کن های غلات	بروز تخمیر و کپک زدگی دانه ها در حین فرایند خشک کردن	
کاهش دما و ایجاد تهویه مناسب در خشک کن	خشک کن های گیاهان دارویی	سوخنگی و تغییر رنگ شدید سطحی و از دست رفتن ماده مؤثره محصول	
افزایش دما، افزودن ارتفاع استوانه خشک کن	خشک کن های پاششی	رطوبت زیاد در پودر آب میوه	
افزودن ماده جدا ساز به محلول و کاربرد جداره های پوشش دار در خشک کن	خشک کن های پاششی	چسبندگی پودر خشک شده	
نصب سیستم های اندازه گیری دما در قسمت های مهم در خشک کن و کاربرد دستگاه اندازه گیری رطوبت محصول در ابتدا و انتهای فرایند	تمامی خشک کن ها	اندازه نگر رفتن دمای خشک کن و رطوبت محصول	

منابع

- آرون اس مجومدار، س. ۱۳۹۰. راهنمای فرایندهای خشک کردن صنعتی، اصول تجهیزات و نوآوری ها (مترجم بعنونی). انتشارات دانشگاه شهید چمران، اهواز.
- استرامیلو کودرا، ج. ۱۳۷۷. خشک کردن، اصول، کاربرد و طراحی (مترجم پهلوان زاده)، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- چاجی، ج. ۱۳۹۱. تعیین منحنی های هم دمای دفع رطوبت زعفران، زرشک و عناب به منظور بهینه سازی فرایند خشک کردن آنها. گزارش پژوهشی شماره ۴۵۴۹۲، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.
- حیبی اصل، ج. ۱۳۹۲. ساخت و ارزیابی خشک کن خورشیدی و تعیین مناسب ترین مدل ریاضی نسبت رطوبتی برای خشک کردن سبزی ها در شرایط خوزستان. گزارش پژوهشی شماره ۴۲۸۴۴. مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.
- دهقان شعار، م. آ. حمیدی و ص. مبصر. ۱۳۸۴. شیوه های ارزیابی قدرت بذر، مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال. کرج

زمردی، ش. ۱۳۸۶. تکنولوژی فراوری میوه های خشک و کنترل آنها. انتشارات جهاد کشاورزی واحد آذربایجان غربی. ارومیه

زمردیان، ع. ۱۳۸۳. خشک کردن دانه ها، اصول نظری و عملی. نشر علوم کشاورزی.

رستمی، م. ع. ۱۳۸۲. ارزیابی و مقایسه خشک کن های رایج پسته در استان کرمان. گزارش پژوهشی شماره ۸۲/۱۹۵، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.

روستاپور، ا. ر. ۱۳۹۳. دستیابی به تکنیک تولید پودر آب انار در خشک کن پاششی نیمه صنعتی و بررسی تأثیر فاکتورهای دمای هوا و میزان تغذیه بر عملکرد خشک کن و ابعاد ذرات پودر. گزارش پژوهشی شماره ۴۵۵۲۰، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.

سالک زمانی، ع. ۱۳۹۰. ساخت و ارزیابی خشک کن انگور. گزارش پژوهشی شماره ۴۲۰۱۱. مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.

شاکر، م. ۱۳۸۲. ارزیابی و مقایسه دو روش خشک کردن شلتوک در استان فارس. گزارش پژوهشی شماره ۸۲/۱۹۵، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.

عبادی، م. ت.، م. رحمتی، م. عزیزی و م. حسن زاده
 خیاط. ۱۳۸۹. بررسی تأثیر روش های مختلف
 خشک کردن (طبیعی، آون و میکروویو) بر زمان
 خشک کردن، درصد و اجزای اسانس گیاه دارویی
 مرزه (*Satureja hortensis L.*). فصلنامه علمی-پژوهشی
 تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، جلد ۲۶،
 شماره ۴، صفحه ۴۷۷-۴۸۹.

کرمانی، ع. ۱۳۹۲. بررسی و ارزیابی خشک کردن
 پسته به روش میکروویو. گزارش پژوهشی شماره ۴۳۲۰۰.
 مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.

گازر، ح. ر. ۱۳۸۱. بررسی پارامترهای مؤثر در طراحی
 خشک کن های پسته ایرانی. رساله دکتری، واحد
 علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی.

گازر، ح. ر و ر. حسین خواه. ۱۳۸۵. بررسی فرایند
 خشک کردن کلزا توسط خشک بستر سیال و تأثیر آن
 خواص روغن استحصالی. گزارش پژوهشی شماره ۸۵/۷۹۲،
 مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.

گازر، ح. ر. ۱۳۸۸. ارزیابی فنی سیستم های
 خشک کن ذرت بذری در مغان به منظور بهبود

سیستم ها. گزارش پژوهشی شماره ۸۸/۱۱۳۱، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.

گازر، ح. ر و ا. ح. شیرانی راد. ۱۳۸۸. بررسی اثر سیال سازی دانه در فرایند خشک کردن بر جوانه زنی بذر کلزا. گزارش پژوهشی شماره: ۸۸/۱۱۳۲، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.

گازر، ح. ر. ۱۳۹۳. بررسی و مقایسه میزان ضایعات و مصرف انرژی در سامانه های تبدیل شلتوک متداول و جدید (گزارش استان مازندران) گزارش پژوهشی شماره ۴۵۹۲۲، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.

محمدی مزرعه، ح و ح. احمدی. ۱۳۸۶. بارگاه های خورشیدی. نشریه ترویجی. حوزه ترویج و نظام های بهره برداری، سازمان جهاد کشاورزی استان آذربایجان غربی.

محمدی مزرعه، ح. ۱۳۸۷. ساخت و ارزیابی خشک کن خورشید کمکی برای تهیه کشمش و مقایسه آن با بارگاه های خورشیدی و سنتی. گزارش پژوهشی شماره ۸۷/۱۵۹۲. مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.

محمدی مزرعه، ج. ۱۳۸۸. بررسی اثرات دما و سرعت جریان هوا و روش های آماده سازی انگور بر زمان خشک شدن و کیفیت کشمش. گزارش پژوهشی شماره ۸۸/۱۵۱۹. مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.

نجفی، ف.، م.ت. عبادی، ج. عباسیان. ۱۳۹۱. فرایندهای برداشت، خشک کردن و فراوری گیاهان دارویی. انتشارات شهید بهشتی. تهران.

یادداشت
