

بررسی خشک شدن شلتوك به روش لایه نازک و تعیین ضخامت بهینه با به کارگیری یک خشک کن خورشیدی آزمایشگاهی با جریان جا به جایی آزاد

علی زمردیان^۱ و علی رضا علامه^۲

چکیده

برنج پس از گندام مهم‌ترین منبع غذایی مردم ایران است. خشک کردن برنج پس از برداشت، به خاطر داشتن رطوبت بیش از حد مجاز در فراوری و یا انبارداری، لازم و ضروری است. در بیشتر مناطق برنج خیز ایران، این غله به صورت سنتی، با پهن کردن شلتوك در سطح گستردۀ و با عمق کم در برابر تابش خورشید خشک می‌شود، که نتیجه آن افزایش افت کمی و کیفی محصول می‌باشد. زیرا شلتوك بدون هیچ گونه حفاظت و به مدت نسبتاً طولانی رها می‌شود، که سبب هدر رفتن محصول در اثر حمله پرنده‌گان و جوندگان، آلوده شدن به گرد و غبار، خطر باران‌های موسمی، و ایجاد تنفس‌های حرارتی و رطوبتی می‌گردد. در این آزمایش خشک کردن شلتوك به روش لایه‌های نازک، با استفاده از یک خشک کن خورشیدی از نوع غیر فعال مختلط، که جریان هوا در آن به صورت جا به جایی آزاد (در اثر نیروهای محرک شناوری) برقرار می‌شود، با بهره‌گیری از معادلات نیوتون و پیچ بررسی گردید. هدف اصلی این آزمایش بررسی شرایط خشک شدن برنج به روش لایه‌های نازک و تعیین ضخامت بهینه لایه بود.

داده‌های آزمایشگاهی گویای این است که ضخامت دو سانتی‌متری همگونی قابل قبولی با مدل‌های ریاضی حاکم بر خشک شدن به روش لایه‌های نازک دارد. بنابراین، می‌توان عمق دو سانتی‌متری را لایه نازک به حساب آورد، در صورتی که عمق‌های بیشتر از دو سانتی‌متر چنین نتیجه‌ای را به دست نمی‌دهند.

واژه‌های کلیدی: خشک کن خورشیدی، لایه نازک، شلتوك

۱. استادیار مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
۲. کارشناس ارشد مؤسسه تحقیقات برنج کشور

مقدمه

فسیلی و انرژی الکتریسیته) باعث حفظ مؤثر محیط زیست می‌گردد. حفاظت از محیط زیست و به کارگیری منابع انرژی تجدیدپذیر (انرژی خورشیدی) از وظایف اجتماع کنونی است، که از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مهار یا اباشت ن انرژی خورشید عموماً توسط دستگاه‌هایی به نام گیرنده (جمع کننده)‌های خورشیدی (Solar collectors) صورت می‌گیرد. برای خشک کردن فراورده‌های کشاورزی که به دمای نسبتاً کم (۴۰-۷۰ درجه سانتی‌گراد) نیاز است، استفاده از گیرنده‌های تخت تجویز می‌گردد، که از فناوری ساده‌ای نیز برخوردارند (۸).

نخستین بار امکان استفاده علمی از انرژی خورشیدی به منظور خشک کردن فراورده‌های کشاورزی توسط بوئلو (۶) بررسی گردید. در ابتدای دهه ۱۹۶۰، سابل و بوئلو (۱۴) طرح‌هایی در باره گیرنده‌های خورشیدی برای گرم کردن هوا به منظور استفاده در خشک کردن فراورده‌های کشاورزی و بهبود دما در محلهای نگهداری دام و طیور ارائه دادند. هال (۹) در گزارشی به پیش‌گرم کردن هواهای تهويه یا گذراندن آن از زیر سقف اصطبل دام، و نیز به وسیله‌ای اشاره کرده است که با آن خشک گردد گرفته می‌شد. ولی تا پیش از سال ۱۹۷۳ به سیستم‌های خشک کننده واقعی که انرژی خورشیدی را به خدمت می‌گرفتند کمتر اشاره می‌شد. در سال ۱۹۷۶ پیترسون و هلیکسون (۱۳) سیستمی کارآمد ارائه و معرفی کردند که سبب برانگیخته شدن و توجه پژوهندگان به استفاده از انرژی خورشیدی برای خشک کردن فراورده‌های کشاورزی گردید.

موریسون (۱۰) در تلاش به منظور تأمین توان خشک کردن به طور ثابت، گیرنده‌های خورشیدی را با پمپ گرمایی الکتریکی ترکیب کرد. بدین ترتیب که برای گرم کردن هوا خشک کننده در طول روز از انرژی گرمایی خورشید استفاده می‌کرد و در طی شب یا هنگام ناکافی بودن تابش خورشیدی پمپ گرمایی به کار می‌برد. وی در آزمایش خشک کردن ذرت با دمای کم، به این نتیجه رسید که ترکیب پمپ گرمایی و گیرنده خورشیدی به طور مؤثر هزینه انرژی را در مقایسه با

برنج پس از گندم یکی از مهم‌ترین غلاتی است که نقش حساسی را در تغذیه مردم جهان و ایران ایفا می‌کند. بر پایه گزارش سازمان خوار و بار کشاورزی جهانی (F.A.O)، در سال ۱۹۹۸ سطح زیر کشت برنج در دنیا ۱۵۰ میلیون هکتار، مقدار تولید آن ۵۶۸ میلیون تن و میانگین عملکرد آن برابر با ۳۸۰۹ کیلوگرم در هکتار بوده است. در ایران، در فصل زراعی ۱۳۷۶-۷۷ سطح زیر کشت برنج ۶۱۵ هزار هکتار، مقدار تولید آن ۲۷۷ میلیون تن و میانگین عملکرد در هکتار برابر با ۴۰۵ کیلوگرم برآورد شده است (۱). به علت کافی نبودن تولید داخلی، هرساله مقدار زیادی برنج به ارزش میلیون‌ها ریال توسط دولت یا بخش خصوصی، برای تأمین نیاز مصرفی کشور از کشورهای خارج وارد می‌شود (۲).

محصول برنج (شالی) پس از برداشت کوییده شده (به وسیله کمباین، خرمنکوب، و ادوات سنتی دیگر)، و این محصول که شلتوك (Rough rice-paddy) نام دارد، از فرایندهای چندی گذر می‌کند تا آماده استفاده گردد. رطوبت شلتوك حدود ۳۵-۲۵ درصد است و اگر با چنین رطوبت زیادی انبار شود، یا از فرایندهای تکمیلی بگذرد، چهار خسارات زیادی همچون کپکزدگی یا شکستگی دانه‌ها می‌شود (۵). از این رو، با استی محصول شلتوك را پیش از گذشتن از هر فرایندی تا رطوبت حدود ۱۴-۱۳ درصد خشک کرد (۶) و (۱۹). خشک کردن شلتوك در خیلی از مناطق برنج خیز به صورت سنتی، یعنی خشک کردن در هوای آزاد و در برابر تابش مستقیم خورشید انجام می‌گیرد. این روش به دلیل نداشتن کنترل در چگونگی خشک شدن، غیر یکنواختی در فرایند خشک شدن و ایجاد تنشهای حرارتی در حین خشک شدن، گاه بارندگی‌های بی موقع، نیاز به سطح وسیع، نیاز به کارگر فراوان، و هم‌چنین حمله حشرات، پرندگان و جوندگان در سطح مزرعه اقتصادی نیست.

اگر از انرژی پاک خورشید در شرایط کنترل شده‌ای استفاده شود، ضمن صرفه‌جویی در مصرف سوخت (مانند سوخت‌های

عمقی از توده محصول می‌دانند که در آن هیچ اختلافی در رطوبت و دما مشاهده نشود.

در این پژوهش سعی شده است یک خشک‌کن خورشیدی (Mixed-mode passive solar dryer) از نوع غیر فعال مختلط (Mixed-mode passive solar dryer) به کار برده شده و برای خشک کردن یک واریته مهم برنج محلی (واریته چمپا) در عمق‌های مختلف، به قصد یافتن ضخامت لایه نازک بستر بذر استفاده گردد. شایان ذکر است که هیچ پژوهندگی با یک خشک‌کن خورشیدی از نوع به کار برده شده در این پژوهش، در صدد یافتن عمق بهینه که بتوان به آن لایه نازک اطلاق کرد برنیامده است.

یک گیرنده (جمع کننده) خورشیدی ساده هوایی به کار رفت که از یک صفحه سیاه رنگ آلومینیم به ضخامت ۱/۵ میلی‌متر و به ابعاد 150×83 سانتی‌متر به عنوان صفحه جاذب با پوشش تک لایه شیشه‌ای تشکیل شده بود. حرکت هوا در داخل گیرنده تحت نیروی شناوری (جا به جایی آزاد) صورت می‌پذیرد، و تخلیه هوای گرم از گیرنده به طرف ورودی هوا و به داخل محوطه خشک‌کن را مهیا می‌سازد (شکل ۱).

عمل اصلی خشک کردن در محفظه خشک‌کن انجام می‌گیرد. هوای گرمی که به روش جا به جایی آزاد از گیرنده خارج می‌شود در این قسمت با گذشتן از بستر دانه (به روش آزاد) رطوبت موجود در آنها را خواهد ربود. این قسمت یک محفظه چوبی به شکل مکعب مستطیل است، که از پایین به خروجی گیرنده متصل است (شکل ۱). چون خشک‌کن از نوع غیر فعال مختلط است، محصول می‌باشد در معرض پرتوهای خورشیدی نیز قرار گیرد. به همین علت، در ناحیه مستقیم خورشیدی نیز قرار داده شود تا پرتوهای خورشیدی از آن گذر چهار میلی‌متر) قرار داده شود تا پرتوهای خورشیدی از بالایی محفظه خشک‌کن باید پوششی شفاف (شیشه به ضخامت کرده و مستقیم بر سطح بستر دانه بتابد.

یکی از قسمت‌هایی که تعیینه آن در یک خشک‌کن خورشیدی لازم است خروجی هوا یا دودکش است، که به دو منظور انجام می‌گیرد:

(الف) هوای مرطوب از ناحیه خشک‌کن خارج شود.

سیستم خشک کردن تنها به وسیله پمپ گرمایی در دمای کم کاوش می‌دهد.

استوین و شریف (۱۱) به بررسی خشک شدن برنج به صورت لایه نازک در خشک‌کن‌های خورشیدی از نوع غیر فعال غیر مستقیم پرداختند.

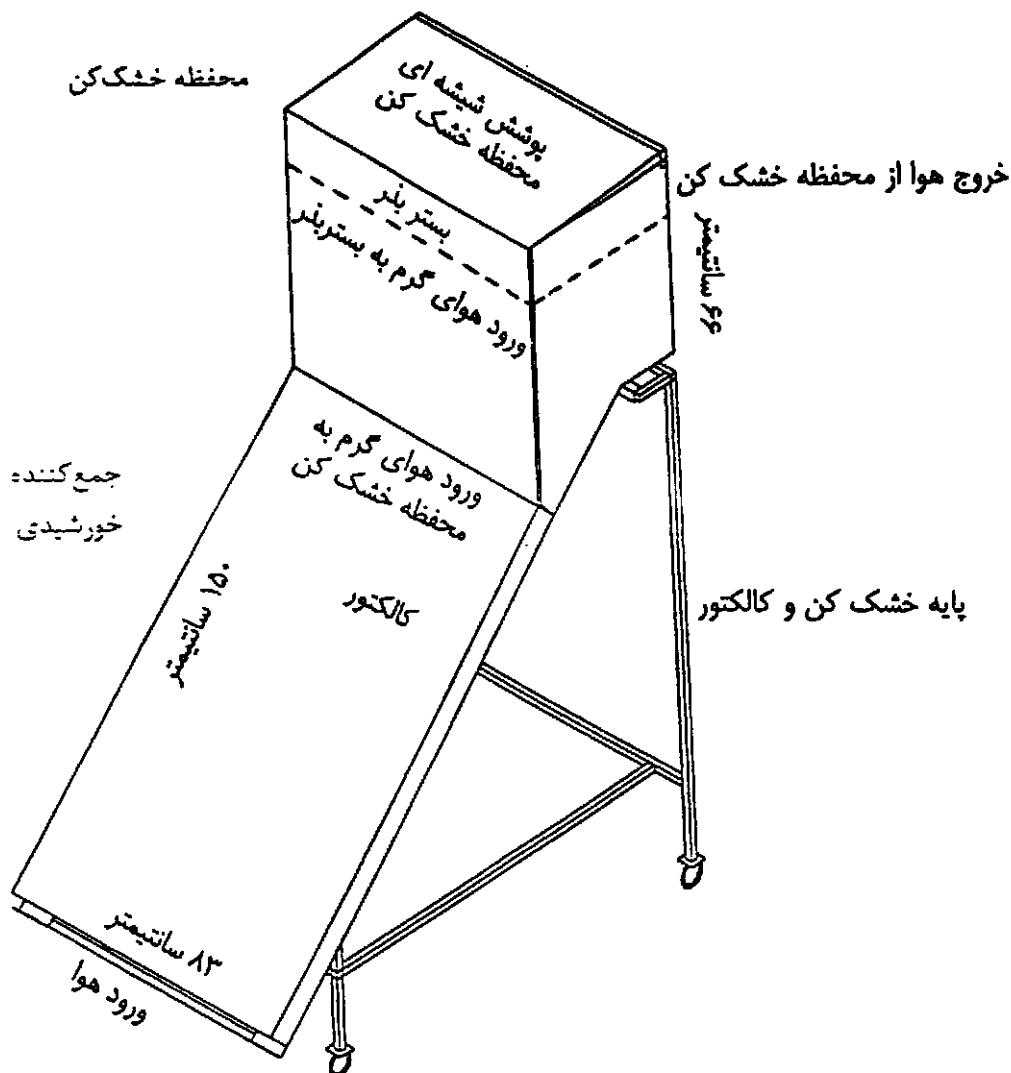
زمان و بالا (۱۸) یک رشته معادلات تجربی برای خشک کردن خورشیدی شلتوك ارائه کردند. آنها از سه روش خشک کردن استفاده کردند، که عبارت بود از: خشک‌کن غیر فعال مختلط، خشک‌کن غیر فعال مستقیم و خشک کردن به روش مستقیم. نتایج نشان داد که بیشترین سرعت خشک شدن با استفاده از خشک‌کن غیر فعال مختلط و کمترین سرعت خشک شدن مربوط به شیوه مستقیم است.

بالا و ضیاء الدین (۴) مدلی ریاضی برای خشک کردن شلتوك به روش جا به جایی آزاد ارائه دادند. این مدل شامل برآورد تابش خورشیدی، دمای هوا در درون گیرنده صفحه تخت و پیش‌گویی تغییر رطوبت و دما در بستر دانه بود.

بالا و وودز (۳) با استفاده از یک خشک‌کن خورشیدی از نوع غیر فعال غیر مستقیم به بررسی خشک شدن شلتوك پرداختند. نتایج نشان داد که در سرعت‌های کم جریان هوا، به دلیل جا به جایی آزاد، جبهه خشک کننده به کنده حرکت می‌کند، و بستر دانه را به خاطر بیش از حد خشک شدن لایه زیرین نمی‌توان همگن و نازک در نظر گرفت. هم‌چنین، به علت افت دما در سرتاسر بستر، ارتفاع دودکش در توزیع نیروی شناوری اثر کمی دارد.

مواد و روش‌ها

در مورد به کارگیری خشک‌کن‌های خورشیدی برای خشک کردن شلتوك پژوهش‌های بسیاری صورت پذیرفته است، که همگی این خشک‌کن‌ها را برای توده انبوه به صورت لایه عمیق در نظر گرفته‌اند. هم‌چنین، پژوهندگان برای عمق لایه نازک تعاریف مختلفی ارائه داده‌اند. برخی عمق لایه نازک را ضخامت یک دانه می‌دانند، و بعضی عمق لایه نازک را آن



شکل ۱. تصویر شماتیک خشک کن خورشیدی

بتوان آن را به راحتی به صورت کشویی از محوطه خشک کن خارج کرد. خارج کردن ظرف مزبور برای توزین شلتونک، و همچنین تنظیم عمق مناسب انباشتگی محصول در ظرف توری صورت می‌گیرد. تنظیم عمق بذر با دقت زیادی در ۲، ۴ و ۶ سانتی متر انجام پذیرفت.

پس از تکمیل محفظه خشک کن، به منظور جلوگیری از تلف شدن گرما از خشک کن به محیط خارج، بدنه خشک کن با لایه‌هایی از پشم و شیشه به صورت مؤثر پوشانده شد. بستر بذر در فاصله حدود ۶۶ سانتی متری از دهانه خروجی گیرنده در محفظه خشک کن نصب شد. این فاصله بدین علت انتخاب

ب) نیروی محرکه شناوری در داخل سیستم برقرار کند. بر پایه پژوهش‌های انجام شده، ارتفاع دودکش تأثیر چندانی در عملکرد خشک کن ندارد، و تنها ناحیه‌ای برای خروج هوا کفايت می‌کند (۳). از این رو، در وجه پشتی محفظه خشک کن شیاری به ابعاد $2/5 \times 36/5$ سانتی متر تعییه شده است تا هوا مرطوب از این قسمت خارج شود. برای ساختن بستر مخصوص نگهداری شلتونک در داخل خشک کن از یک سازه چوبی به ابعاد 49×89 سانتی متر استفاده شد. کف و لبه‌های این سازه تا ارتفاع ۱۲ سانتی متر با توری ریز آلومینیمی پوشانده شد. این قاب به گونه‌ای در داخل محفظه خشک کن نصب گردید که

۳. بستر بذر با استفاده از ترازوی دقیق توزین، و در زمان معین درون خشک کن قرار داده می شد.

۴. پس از سپری شدن تقریباً هر ۳۰ دقیقه، بستر بذر خارج و توزین می گردید. این کار تا پایان آزمایش به طور دقیق انجام گرفت.

۵. در پایان هر دوره آزمایش، و برای هر عمق و هر تکرار، پنج نمونه از مکانهای مختلف بستر نمونه برداری و تعیین رطوبت می شد.

۶. بیست و چهار ساعت پس از هر آزمایش، میانگین نتایج رطوبتی تعیین و ثبت می گردید. چون این نتایج رطوبت اولیه و انتهایی را مشخص می کرد، و در حین آزمایش هر ۳۰ دقیقه مقدار کاهش وزن اندازه گیری شده بود، نرخ خشک شدن در شرایط حاکم بر آزمایش قابل آزمون بود.

آگاهی از درصد رطوبت تعادلی شلتونک، در به کارگیری معادلات مختلف خشک کردن به طریق لایه نازک لازم است. از این رو، روابط ریاضی به کار برد شده در محاسبه رطوبت تعادلی و نرخ خشک شدن به روش لایه های نازک به صورت زیر به کار رفت (۱۵):

$$RH = \exp [-K(t+C)(100M_c)^N] \quad [۱]$$

که در آن RH برابر با رطوبت نسبی محیط (اعشاری)، M_c رطوبت تعادلی (درصد)، t دما ($^{\circ}C$)، K و C و N ثابت هایی هستند که برای محصولات مختلف متفاوت است. این ضرایب ثابت برای شلتونک به صورت زیر گزارش گردیده است (۵):

$$K=1.9187 \times 10^{-5} \quad [۲]$$

$$C=51.161 \quad [۳]$$

$$N=2.4451 \quad [۴]$$

معادله چانگ و فاست (۷):

$$M_c = E - F \ln[-(t+C) \ln(RH)] \quad [۵]$$

که در آن ضرایب ثابت برای شلتونک به قرار زیر است (۵):

$$E=0.29394 \quad [۶]$$

$$F=0.046015 \quad [۷]$$

$$C=35.703 \quad [۸]$$

گردید که هوای گرم شده توسط گیرنده و تحت نیروی شناوری به طور یکنواخت به بستر بذر وارد شود. برای توزین محصول در بستر خشک کن از یک ترازوی دقیق (± 0.1 گرم) استفاده گردید. به منظور به حداقل رساندن خطای آزمایش، خروج، توزین و ورود دوباره بستر بذر به داخل خشک کن طوری انجام می شد که کلا "کمتر از ۲۰ ثانیه طول بکشد.

گیرنده ساخته شده که به صورت سری به محفظه خشک کن نصب شده است، تحت زاویه ۴۵ درجه روی شاسی شیبدار نصب گردید (۸) و همراه خشک کن طوری رو به جنوب قرار داده می شد که در ظهر شرعی حداقل سایه را از خود به جا گذارد. با این کار، حداقل انرژی خورشیدی در طول روز توسط گیرنده دریافت می گردید.

برای اندازه گیری دمای هوا در گیرنده و خشک کن از ترموکوپل های Type-T ($\pm 1^{\circ}C$) استفاده شد. مناطق معینی از عبور هوا در گیرنده و بستر محصول (ورود و خروج هوا) در نظر گرفته شد که با قرار دادن ترموکوپل ها در مناطق یاد شده، استفاده از تقویت کننده ولتاژ (Amplifier) و کارت واسط داده برداری (Data logger) با کمک یک کامپیوتر، در فواصل معین زمانی دما در آن مناطق ثبت گردد. لازم به یادآوری است که تمام ترموکوپل ها پیش از استفاده به طور دقیق و اسننجی گردیدند و برای ثبت دما توسط آنها از منحنی های رگرسیون مربوطه استفاده شد. دمای تر با استفاده از ترمومتر معمولی، که انتهایش با فتیله مروطوبی پوشیده شده بود، اندازه گیری گردید.

آزمایش های روزانه به روش زیر انجام گرفت:
۱. میانگین رطوبت اولیه بذر در آغاز هر آزمایش با استفاده از حداقل سه نمونه، و قرار دادن در کوره حرارتی به مدت ۲۴ ساعت و دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد ثبت گردید.

۲. از همان توده محصول تا عمق دقیق ۲، ۴ و ۶ سانتی متر (هر روز یک عمق و هر عمق سه بار تکرار) روی توری بستر بذر ریخته می شد. با استفاده از یک کاردک، بذر درون بستر در عمق های معین به صورت یکنواخت پهن می گردید.

بعد از ظهر پایان می‌گرفت.

نتایج و بحث

برای هر کدام از مدل‌های خشک شدن (مدل نیوتون و مدل پیج) به روش لایه‌های نازک، با در نظر گرفتن سه معادله مهم مربوط به محاسبه درصد رطوبت تعادلی شلتوك (معادلات ۱، ۵ و ۹) با استفاده از روش رگرسیون (به کارگیری نرم افزار SPSS)، معادلات معینی برای پیش‌بینی روند خشک کردن شلتوك ارائه گردید، که در جداول ۱ و ۲ آمده است.

همان گونه که نتایج جداول ۱ و ۲ گواهی می‌دهد، با در نظر گرفتن سه معادله معروف برای محاسبه رطوبت تعادلی (معادلات ۱، ۵ و ۹) و تعیین مقادیر آنها، و قرار دادن ارقام فوق در معادلات مربوط به خشک شدن به روش لایه‌های نازک، بهترین ضرایب مربوط به معادلات حاکم بر لایه‌های نازک برنج با استفاده از نرم افزار SPSS تعیین گردید. با داشتن مقادیر آزمایشی (مقدار رطوبت و زمان پیشرفت خشک شدن) و قرار دادن این مقادیر در معادلات فوق (معادلات ۱۴ و ۱۵) نتیجه گرفته شد که ارقام به دست آمده برای عمق بستر دو سانتی‌متری با مقادیر تئوری حاصل از معادلات خشک شدن به روش لایه‌های نازک برای هر سه معادله درصد رطوبت تعادلی همگونی خاصی دارد (منحنی‌های ۱ و ۴)، در صورتی که داده‌های آزمایشی برای عمق‌های ۴ و ۶ سانتی‌متری فاصله زیادی با آنچه توسط معادلات تئوری به دست می‌دهد دارد (منحنی‌های ۲، ۳، ۵ و ۶). این مطلب برای معادلات نیوتون و پیج صحت دارد. ولی خطای استاندارد در محاسبات (استخراج شده از به کار گیری نرم افزار SPSS) معادله نیوتون به مراتب کمتر از خطای محاسبه شده از معادله پیج است. هم‌چنین، می‌توان نتیجه گرفت که چون داده‌های مربوط به ضخامت‌های ۴ و ۶ سانتی‌متری از معادلات لایه‌های نازک پیروی نمی‌کنند، خشک شدن محصول با این ضخامت عمق بستر دیگر رفتار خشک شدن لایه‌های نازک را ندارد، و توصیه می‌گردد برای بررسی روند خشک شدن در این ضخامت‌ها از معادلات مربوط

معادله زوریتس و سینگ (۵):

$$-\ln(RH) = -C_0 T^{C_1} \exp(C_2 T^{C_3} M_e) \quad [9]$$

که در آن T درجه حرارت مطلق (K)، C_0 ، C_1 و C_3 ضرایب ثابت هستند که برای محصول شلتوك این ضرایب به صورت زیر گزارش گردیده است (۳):

$$C_0 = 3.88368 \times 10^9 \quad [10]$$

$$C_1 = -3.52486 \quad [11]$$

$$C_2 = -1.1205 \times 10^{-2} \quad [12]$$

$$C_3 = 1.30047 \quad [13]$$

برای بررسی خشک شدن شلتوك به روش لایه‌های نازک از معادله‌های معروف زیر استفاده گردید (۵):

۱. معادله نیوتون

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = a \exp(-k\theta) \quad [14]$$

که در آن :

MR = نسبت رطوبتی

M_e = درصد رطوبت تعادلی

M_0 = درصد رطوبت اولیه

M = درصد رطوبت در زمان

k = ثابت خشک شدن

a = ثابت تجربی

۲. معادله پیج (۱۲) و وانگ و سینگ (۱۷)

$$MR = \exp(-X\theta^Y) \quad [15]$$

X و Y ثابت‌هایی هستند که به ویژگی ماده مورد نظر بستگی دارند.

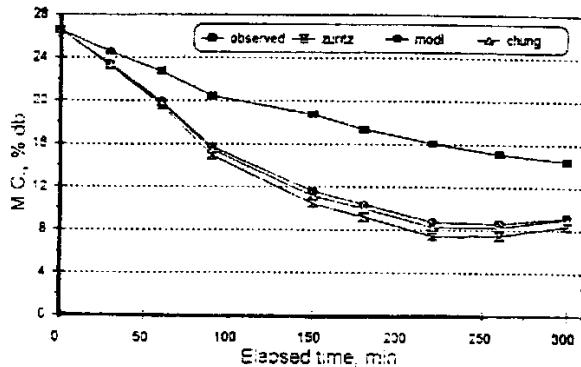
خشک کن همراه با گیرنده در کارگاه‌های بخش مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه شیراز ساخته و تجهیز شد، و در محوطه باز بخش (واقع در باجگاه)، در ماه‌های مهر و آذر سال ۱۳۷۷ برای تعیین عمق بهینه خشک شدن به روش لایه‌های نازک با استفاده از انرژی خورشید آزمایش گردید. آزمایش‌ها در سه ضخامت بستر (۲، ۴ و ۶ سانتی‌متری) انجام گردید تا حالت یا حالات‌ای که به روش لایه نازک نزدیک‌تر است تعیین شود. آزمایش‌ها هر روز ساعت ده صبح آغاز، و حدود ساعت سه

جدول ۱. روابط به دست آمده برای خشک شدن لایه نازک با استفاده از مدل‌های مختلف رطوبت تعادلی ویژه معادله نیوتون

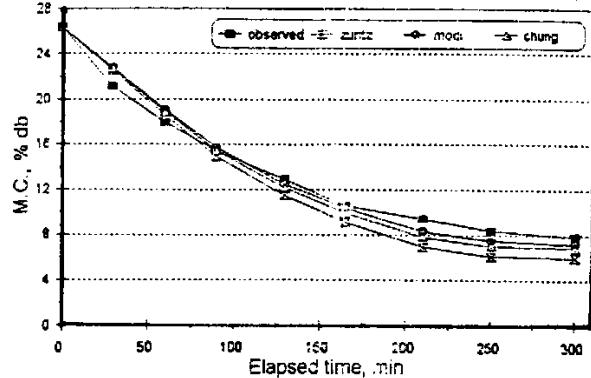
	مدل رطوبت تعادلی	خطای استاندارد
	زوریتس و سینگ (۵) هندرسون (تصحیح شده) (۷)	R^2
۱	$MR=0.8617\exp(-0.006110t)$	۰/۹۷۲۳ ۰/۰۰۰۳۹
۲	$MR=0.8807\exp(-0.007580t)$	۰/۹۷۹۵ ۰/۰۰۰۴۱
۳	$MR=0.8751\exp(-0.007030t)$	۰/۹۷۹۶ ۰/۰۰۰۳۸

جدول ۲. روابط به دست آمده برای خشک شدن لایه نازک با استفاده از مدل‌های مختلف رطوبت تعادلی ویژه معادله پیج

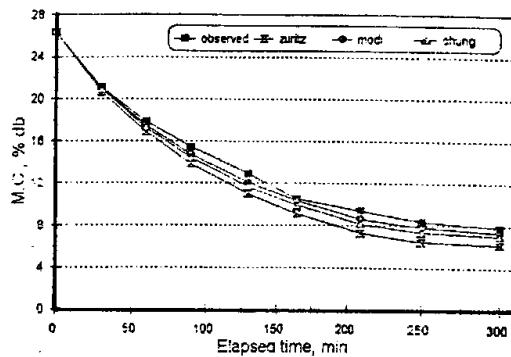
	مدل رطوبت تعادلی	خطای استاندارد
	زوریتس و سینگ (۵) هندرسون (تصحیح شده) (۷)	R^2
۱	$MR=\exp(-0.0203950^{0.799552}t)$	۰/۹۹۴۵ ۰/۰۲۴۲
۲	$MR=\exp(-0.0176510^{0.859807}t)$	۰/۹۹۴۷ ۰/۰۲۵۷
۳	$MR=\exp(-0.0186450^{0.83748}t)$	۰/۹۹۵۴ ۰/۰۲۳۳



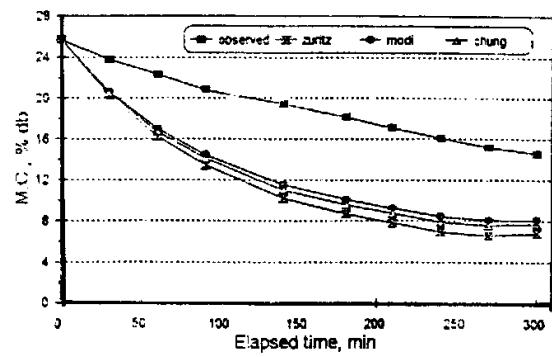
منحنی ۲. تغییرات رطوبت بر حسب زمان داده‌های آزمایشی و مقادیر پیش‌بینی شده توسط معادله نیوتون برای بستر چهار سانتی‌متری



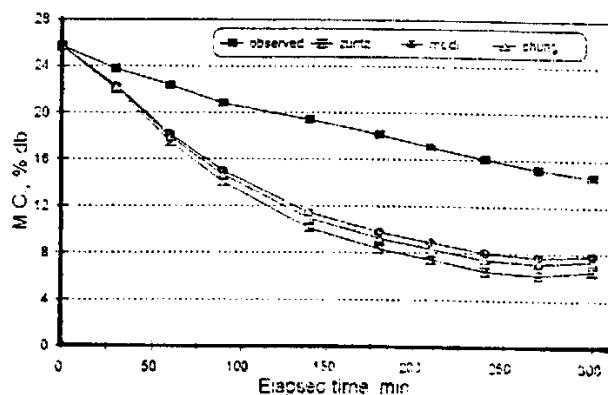
منحنی ۱. تغییرات رطوبت بر حسب زمان داده‌های آزمایشی و مقادیر پیش‌بینی شده توسط معادله نیوتون برای بستر دو سانتی‌متری



منحنی ۴. تغییرات رطوبت بر حسب زمان داده‌های آزمایشی و مقادیر پیش‌بینی شده توسط معادله پیج برای بستر دو سانتی‌متری

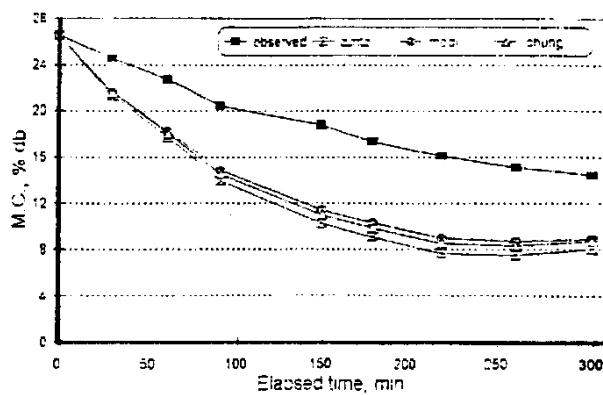


منحنی ۳. تغییرات رطوبت بر حسب زمان داده‌های آزمایشی و مقادیر پیش‌بینی شده توسط معادله پیج برای بستر شش سانتی‌متری



منحنی ۶. تغییرات رطوبت بر حسب زمان داده‌های آزمایشی و مقادیر پیش‌بینی شده توسط معادله نیوتن برای بستر شش سانتی‌متری

گیرنده به محفظه آرام کننده خشک‌کن در موقعیتی قرار داشت که هوا گرم به طور یکنواخت از بستر بذر عبور می‌کرده است.



منحنی ۵. تغییرات رطوبت بر حسب زمان داده‌های آزمایشی و مقادیر پیش‌بینی شده توسط معادله پیج برای بستر چهار سانتی‌متری

به لایه‌های ضخیم استفاده کرد. هم‌چنین، از نتایج آزمایش می‌آید که در بستر خشک‌کن، یکنواختی در عمل خشک شدن وجود دارد و بستر بذر نسبت به ورود هوا گرم شده از

منابع مورد استفاده

۱. بی‌نام. ۱۳۷۷. بانک اطلاعات کشاورزی جهان. اداره کل آمار و اطلاعات وزارت کشاورزی.
۲. بی‌نام. ۱۳۷۸. آمارنامه کشاورزی سال زراعی ۱۳۷۶-۷۷. اداره کل آمار و اطلاعات وزارت کشاورزی.
3. Bala, B. K. and J. L. Woods. 1994. Simulation of the indirect natural convection solar drying of rough rice. Solar Energy 53: 259-266.
4. Bala, B. K. and A. T. M. Ziauddin. 1990. Simulation of solar drying of rough rice. Proc. of the 1st World Renewable Energy Congress, Reading, UK.
5. Brooker, D. B., F. W. Bakker-Arkema and C. W. Hall. 1992. Drying and Storage of Grains and Oilseeds. The AVI Pub. Co., New York.
6. Buelow, F. H. 1958. Drying grain with solar energy. Mich. State Univ., Agric. Exp. Stn. Q. Bull. 41: 421-429.
7. Chung, D. S. and H. B. Pfost. 1967. Adsorption and desorption of water vapor by cereal grains and their products. Trans. ASAE 10: 549-557.
8. Duffie, J. A. and W. A. Beckman. 1991. Solar Engineering of Thermal Processes. 2nd ed., John Wiley & Sons, Inc., New York.
9. Hall, C. W. 1980. Drying and Storage of Agricultural Crops. The AVI Pub. Co., Inc., Westport.
10. Morrison, D. W. 1977. Solar energy heat pump low temperature grain drying. Unpublished MSc. Thesis, Univ. Illinois.
11. Oosthuizen, P. H. and A. Y. Sheriff. 1988. Development of an improved indirect natural convective solar rice dryer. Proc. of the 14th Annual Conf. of the Solar Energy, Society of Canada, Inc., Ottawa, Ontario, Canada.
12. Page, C. 1949. Factors influencing the maximum rate of drying shelled corn in layers. Unpublished MSc. Thesis, Purdue Univ., West Lafayette, IN.
13. Peterson, W. H. and M. A. Hellickson. 1976. Solar electric drying of corn in south Dakota. Trans. ASAE 19: 349-353.

14. Sobel, A. T. and F. H. Buelow. 1963. Galvanized steel roof construction for solar heating. Agric. Eng. 44: 312-313, 316-317.
15. Thompson, T. L. 1967. Predicted performances and optimal designs of convection grain dryers. Unpublished Ph. D. Thesis, Purdue Univ., West Lafayette, IN.
16. Verma, L. R., R. A. Bucklin, J. B. Endan and F. T. Wratten. 1985. Effects of drying air parameters on rice drying models. Trans. ASAE 28: 226-230.
17. Wang, C. Y. and R. P. Singh. 1978. A single layer drying equation for rough rice. Paper No. 78- 3001, Am. Soc. Agric. Eng., St. Joseph, Michigan.
18. Zaman, M. A. and B. K. Bala. 1989. Thin layer solar drying of rough rice. Solar Energy 42: 167-171.
19. Zomorodian, A. 1979. Thin and thick layer drying characteristics for Iranian rough rice varieties . Unpublished MSc. Thesis, Farm Machinery Dept., Shiraz Univ., Shiraz, Iran.