

بررسی اثر دما و دبی هوای ورودی بر انرژی مصرفی و نرخ خشک شدن سه رقم شلتوک در خشک کن بستر سیال

ولی کلیکانلو^۱، محمد هاشم رحمتی^۲، محمدرضا علیزاده^{۳*}

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲. دانشیار، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳. دانشیار، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت

(تاریخ دریافت: ۱۳/۱۱/۱۳۹۴ - تاریخ بازنگری: ۲۳/۹/۱۳۹۵ - تاریخ تصویب: ۲۴/۸/۱۳۹۶)

چکیده

با توسعه خشک کن‌های مدرن شلتوک علاوه بر سرعت بخشیدن به عملیات خشک کردن، می توان میزان ضایعات و به ویژه انرژی مصرفی را به حداقل ممکن کاهش داد. در این تحقیق اثر دمای هوا، دبی هوای ورودی و نوع رقم و همچنین اثر متقابلشان بر انرژی مصرفی و نرخ خشک شدن شلتوک در یک خشک کن بستر سیال بررسی شد. دمای هوای ورودی در چهار سطح ۴۵، ۵۰، ۵۵ و ۶۰ درجه سلسیوس، دبی هوا در سه سطح ۰/۱۲، ۰/۱۴ و ۰/۱۶ متر مکعب بر ثانیه و نوع رقم شلتوک؛ طارم محلی، فجر و شیرودی در نظر گرفته شده و آزمایشات به صورت فاکتوریل سه فاکتوره ۳×۳×۴، در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام شد. نتایج نشان دادند که در هر سه رقم مورد آزمایش، با افزایش دمای هوای ورودی علاوه بر اینکه انرژی مصرفی کاهش یافته، نرخ خشک شدن نیز بطور معنی داری افزایش یافته است. در دمای ۴۵ و ۵۰ درجه سلسیوس، افزایش دبی هوا تاثیر معنی داری بر نرخ خشک شدن شلتوک نداشته ولی در دمای ۵۵ و ۶۰ درجه سلسیوس با افزایش دبی نرخ خشک شدن نیز بطور معنی داری افزایش یافته است. همچنین نتایج نشان دادند که با افزایش دبی هوا، انرژی مصرفی افزایش یافته است.

واژه های کلیدی: برنج، خشک کن بستر سیال، دبی هوا، نرخ خشک کردن، انرژی مصرفی.

مقدمه

برنج یکی از قدیمی ترین و مهم ترین مواد غذایی بشر بوده و هست و تقریباً یک سوم مردم جهان به آن وابسته اند همچنین پس از گندم پر مصرف ترین محصول کشاورزی در ایران است. مرحله خشک کردن در چرخه تولید برنج مرحله ای بحرانی است. زیرا مهم ترین عامل ضایعات برنج در مرحله پس از برداشت، ناشی از خشک کردن نادرست آنهاست (Omid et al., 2010). به طوری که هدف نهایی از فرآیند خشک کردن محصولات کشاورزی کاهش دادن مقدار ضایعات و افزایش مدت ماندگاری این محصولات است. ولی به علت امکان بروز برخی تغییرات نامطلوب در ماده غذایی خشک شده مانند تغییرات رنگ، طعم، عطر، کاهش مواد مغذی و افزایش وزن مخصوص (به علت چروکیدگی شدید)، کنترل و انجام صحیح عملیات این فرآیند از اهمیت ویژه ای برخوردار است (Feng & Tang, 1998; Sacilik et al., 2006) اهمیت این موضوع از یک طرف و اهمیت

صرفه جویی در مصرف سوخت از طرف دیگر طراحی سیستمی جهت خشک کردن مواد غذایی را اقتصادی و مهم جلوه می دهد. اگرچه خشک کردن مواد غذایی به صورت سنتی و در محوطه باز در معرض نور خورشید یک روش قدیمی کم هزینه و نسبتاً مفید در مناطق روستایی است، ولی این روش نمی تواند از مواد غذایی در برابر حمله پرنده گان، حشرات، خطر باران زدگی، کپک زدگی محافظت نماید. به علاوه اینکه این روش غیر قابل کنترل بوده و به فضا و زمان زیادی جهت خشک کردن مواد غذایی نیاز دارد. بنابراین ممکن است تلفات مواد غذایی خیلی بالا رفته و لذا این نحوه خشک کردن اقتصادی نمی باشد از این رو استفاده از روش های دیگر خشک کردن غیر قابل اجتناب است (Pangavhane et al., 2002).

مشکل اساسی خشک کن های موجود در صنایع وابسته به کشاورزی در ایران، قدیمی بودن روش های خشک کردن، توزیع غیریکنواخت حرارت در خشک کن و در نتیجه غیریکنواخت خشک شدن محصولات کشاورزی است. بنابراین مشکلاتی را در بخش عملیات پس از برداشت به وجود می آورد و سالانه خسارت های زیادی را در این بخش متوجه کشاورزان و بالطبع

* نویسنده مسئول: alizadeh_mohammadreza@yahoo.com

Mc Cabe *et al.* (1988) فواید خشک کردن ذرات مختلف در مقادیر بالای دبی هوا و تحت شرایط سیال‌سازی را گزارش کردند. خشک کردن با استفاده از این روش در دماهای ۲۰ و ۶۵ درجه سلسیوس به ترتیب نرخ خشک شدن را ۱۵ درصد و ۵۴ درصد در مقایسه با خشک کردن در حالت بستر ثابت در شرایط درجه حرارت یکسان، افزایش داد. Uekan & Ulku (1986) نتیجه گرفتند که سیال‌سازی نرخ خشک شدن را به علت افزایش سطح تماس ذرات، افزایش می‌دهد.

Corzo *et al.* (2008) به محاسبه انرژی و اکسرژی در فرایند خشک کردن ورقه‌های کوروا (میوه‌ای در کشور ونزوئلا) پرداختند. آزمایش‌های خشک شدن در سه دمای ۷۱، ۸۲ و ۹۳ درجه سلسیوس، و سرعت هوای ۰/۸۲، ۱ و ۱/۱۸ متر بر ثانیه انجام شد. اثرات دمای هوای ورودی، سرعت و زمان خشک شدن بر انرژی و اکسرژی مورد مطالعه قرار گرفت. انرژی مفید و نسبت آن با افزایش دمای خشک شدن و کاهش بازده اکسرژی، افزایش پیدا کرد. محدوده‌ی انرژی مفید و نسبت آن به ترتیب kJ/s ۰/۰۶۵-۰/۰۰۹ و ۰/۰۰۸-۰/۰۰۰۷ به دست آمد.

Amiri Chayjan *et al.* (2009) در بررسی اهمیت عوامل مؤثر در فرایند خشک شدن بستر ثابت شلتوک به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی، نشان دادند که دمای هوای ورودی، سرعت هوا، عمق شلتوک و میزان رطوبت نهایی بیشترین تأثیر را بر مقدار مصرف انرژی و اما میزان رطوبت اولیه و رطوبت نسبی هوا کمترین تأثیر را بر مقدار مصرف انرژی دارند. همچنین در مرحله‌ی نزولی خشک شدن شلتوک، دمای هوا و سرعت هوا میزان مصرف انرژی را برای تبخیر وزن واحد آب افزایش می‌دهند. با توجه به اینکه بیشترین زمان خشک شدن شلتوک در مرحله‌ی نزولی رخ می‌دهد عوامل مذکور بر مصرف انرژی تأثیر نامطلوب می‌گذارند و سبب افزایش مصرف انرژی می‌شوند. البته با افزایش عمق شلتوک و میزان رطوبت نهایی این اثر کاهش می‌یابد. نتایج تحقیقات Sutherland & Gholy (1990) نیز اهمیت اعمال دمای بالاتر، بستر عمیق‌تر دانه و سرعت کمتر هوای ورودی را در کاهش هزینه‌ها و کاهش مصرف انرژی نشان می‌دهد. Prasad *et al.* (1994) در بررسی تأثیر عمق شلتوک بر انرژی مصرفی، پس از اجرای آزمایش‌های خشک کردن شلتوک در محدوده‌ی عمق ۱۰ تا ۲۰ cm، عمق ۲۰ cm را توصیه کردند.

از آن جا که نحوه و مدت زمان خشک کردن بر شرایط بازده اقتصادی و میزان مصرف انرژی مورد نیاز برای خشک کردن تأثیر به‌سزایی دارد، لذا بررسی اثر شرایط خشک کردن بر انرژی مصرفی بسیار مهم است. به منظور بهینه‌سازی مصرف انرژی به مدیریت خشک کردن محصولات کشاورزی شامل چگونگی

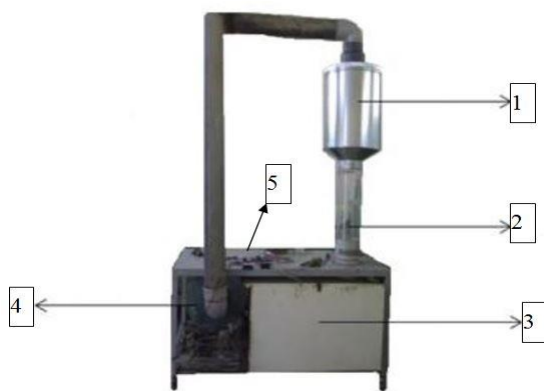
اقتصاد ملی می‌کند. از آن جمله می‌توان به نحوه خشک کردن برنج در شمال ایران اشاره کرد که استفاده از روش‌های سنتی و قدیمی باعث ضایعات و افت کیفیت و فساد زود هنگام محصول تولیدی می‌شود در حالی که با استفاده از روش‌های مدرن خشک کردن می‌توان علاوه بر سرعت بخشیدن به عملیات خشک کردن تلفات ناشی از روش‌های نامناسب خشک کردن را کاهش داد (Mohajeran *et al.*, 2004).

خشک کردن محصولات کشاورزی جزء فرآیندهایی محسوب می‌شود که انرژی زیادی مصرف می‌کند. بنابراین یکی از عوامل بسیار مهم در طراحی و ارزیابی خشک‌کن‌ها میزان انرژی مصرفی است. یکی از سیستم‌های نوین خشک‌کردن شلتوک، خشک‌کن بستر سیال است که یافتن نقطه‌ی بهینه‌ی آن نیز می‌تواند در طراحی، ساخت و کاربرد این سیستم برای بهبود شاخص‌های کیفی خشک‌کردن شلتوک، زمینه‌ی ورود آن را به صنعت برنج کشور فراهم کند. از این روش اصولاً برای خشک کردن مواد دانه‌ای استفاده می‌شود که از جمله مزایای آن می‌توان به یکنواختی توزیع رطوبت در کل بستر، درجه‌ی بالای انتقال جرم و حرارت بین هوای گرم و ذرات، اختلاط مناسب و انتقال آسان ذرات اشاره کرد. روش بستر سیال به عنوان یک روش آرام و یکنواخت خشک‌شدن شناخته شده است که قابلیت کاهش رطوبت مواد را با بازده بالا دارد. در فرایند خشک‌کردن شلتوک، عواملی مانند دمای هوای ورودی، رطوبت نهایی شلتوک، رطوبت اولیه‌ی شلتوک، دبی هوای ورودی، رطوبت نسبی و دمای هوای محیط و عمق شلتوک بر روی ایجاد ضایعات برنج، سینتیک خشک‌شدن و میزان مصرف انرژی مؤثرند (Bonazzi *et al.*, 1997).

وقتی که یک جریان هوا به انتهای یک بستر از ذرات جامد دمیده می‌شود، از بین فضاهای خالی بستر به سمت بالا حرکت می‌کند. در سرعت‌های پایین‌تر هوا نیروهای دراگ آیرودینامیکی بر روی هر ذره کم است و بنابراین بستر در یک حالت ثابت باقی می‌ماند. با افزایش سرعت بستر نیروهای دراگ آیرودینامیکی شروع به تقابل با نیروهای ثقلی می‌کنند که باعث می‌شود که سرعت به یک مقدار بحرانی برسد که در آن نیروهای رو به بالا با نیروهای جاذبه برابر شوند که باعث می‌شود ذرات همراه با سیال معلق شوند. در این مقدار بحرانی بستر، بستر شناور نامیده می‌شود و از خود رفتار سیالی نشان می‌دهد. با افزایش بیشتر سرعت هوا، دانسیته توده‌ای بستر بیشتر کاهش می‌یابد و سیال‌سازی بیشتر می‌شود. این جریان تا زمانی ادامه دارد که ذرات دیگر نتوانند یک بستر را تشکیل دهند و به وسیله جریان هوا به سمت بالا حرکت کنند (Kunii & Levenspiel, 1991).

نام تجاری ELREHA ساخت کشور آلمان مدل GMBH استفاده شد. این کنترل کننده دمای واقعی را با حسگر دما حس می‌کند و مقدار آن را بر روی صفحه دیجیتال نمایش می‌دهد. این مقدار با مقدار تنظیم شده مقایسه می‌شود و با توجه به اختلاف بین این دو مقدار دستور روشن یا خاموش شدن کوره حرارتی را به رله اعلام می‌کند. برای این خشک‌کن از یک دمنده هوای گریز از مرکز از نوع جریان شعاعی با قدرت موتور سه اسب بخار برای تأمین هوای تحت فشار استفاده شد. برای کنترل تغییر دور موتور و تأمین میزان جریان هوای مورد نظر در آزمایش‌ها از یک دستگاه تغییر دهنده دور (اینورتر) موتور سه فاز مدل SVO5ic5.If ساخت شرکت LG کشور کره جنوبی استفاده شد.

برای اندازه‌گیری سرعت هوای دمیده شده توسط دمنده از یک سرعت سنج پره‌ای با نام تجاری لوترون مدل AM-4216 ساخت کشور تایوان که دقت آن ± 1 درصد و حساسیت آن 0.1 متر بر ثانیه بود، استفاده شد. نحوه اندازه‌گیری بدین صورت بود که دهانه پره‌ای شکل سرعت‌سنج در نقاط مختلف کانال ورودی هوا قرار داده شده و سرعت‌ها قرائت گردید و سرعت متوسط منظور شد. برای ایجاد حرارت مناسب برای خشک کردن نمونه‌ها و به منظور سهولت کاربرد و کنترل بهتر دما و استفاده بهینه از فضای مورد استفاده، از المنت‌های الکتریکی حرارتی استفاده شد. این المنت‌ها در محفظه آرامش دستگاه قرار دارند که هوای خروجی از دمنده در این محفظه به دمای مورد نظر رسیده و از طریق مجرای هوا به مخزن خشک‌کن وارد می‌شود. همچنین برای اندازه‌گیری دمای هوای محیط از دماسنج دیجیتالی لوترون مدل TM-9.5 ساخت کشور تایوان با دقت ± 1 درجه سلسیوس استفاده شد. شکل ۱ خشک‌کن مورد استفاده را نشان می‌دهد.



شکل ۱- خشک‌کن بستر سیال (۱- مخزن کمکی از جنس استیل، ۲- محفظه سیال سازی از جنس پلکسی گلاس، ۳- محفظه آرامش جریان هوای گرم، ۴- دمنده گریز از مرکز، ۵- نمایشگر دما)

خشک کردن محصولات، مراحل خشک کردن، کنترل دقیق عوامل مؤثر بر زمان خشک کردن و غیره نیاز است (Amer et al., 2003).

مواد و روش‌ها

نحوه تهیه و آماده سازی نمونه‌ها

در این تحقیق برای انجام آزمایش‌ها با توجه به سطح زیر کشت و عملکرد شلتوک در واحد سطح، ارقام طارم (دانه بلند محلی)، فجر و شیروودی (دانه بلند پر محصول) به عنوان ارقام غالب استان گلستان استفاده شد. این ارقام در مهر ماه سال ۱۳۹۲ از مزرعه‌ای در نزدیکی شهر گرگان تهیه گردید. برای تعیین رطوبت اولیه از استاندارد انجمن مهندسان کشاورزی آمریکا استفاده شد (ASAE, 2000). نمونه‌های ۵۰ گرمی تهیه و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۳۰ درجه سلسیوس قرار گرفت و رطوبت اولیه نمونه‌های شلتوک مورد آزمایش برای رقم طارم، فجر و شیروودی به ترتیب ۲۱/۷۱، ۲۱/۶۸ و ۲۰/۵۱ درصد بر مبنای وزن خشک اندازه‌گیری شد. در طول عملیات خشک کردن، توزین نمونه‌ها با استفاده از یک ترازوی دیجیتال با نام تجاری Satorius ساخت کشور آلمان با دقت ± 0.1 گرم انجام شد که با توجه به رطوبت اولیه شلتوک، رطوبت دانه در زمان‌های مختلف با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید (Abdelmotalieb, 2009):

$$M_d = \frac{W_w - W_d}{W_d} \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن: M_d : میزان رطوبت بر پایه خشک (درصد)، W_w : وزن دانه تر (گرم) و W_d : وزن دانه خشک (گرم) است.

دستگاه خشک‌کن بستر سیال

برای خشک کردن نمونه‌های مورد آزمایش از یک دستگاه خشک‌کن بستر سیال مجهز به سامانه کنترل دما و سرعت هوای خشک کردن که در گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در سال تحصیلی ۹۱-۹۲ ساخته شده بود، استفاده گردید (Malekjani, 2011). محفظه سیال سازی خشک‌کن، استوانه‌ای به قطر ۲۰ و ارتفاع ۶۰ سانتیمتر از جنس پلکسی گلاس است که به منظور تسهیل در سیال سازی دانه‌ها و ایجاد سیال سازی یکنواخت یک مخزن کمکی از جنس استیل به قطر سه برابر قطر محفظه پلکسی گلاس در بالای آن نصب شد. در قسمت ورودی، وسط و انتهای محفظه حسگرهای دقیق درجه حرارت نصب شده است. برای اندازه‌گیری دمای محفظه خشک‌کن از یک کنترل کننده دما با

آماده سازی دستگاه خشک کن برای آزمایش

برای آماده سازی دستگاه در شروع هر آزمایش ابتدا تمامی پارامترهای مربوط به هر آزمایش شامل دمای المنتها، دور دمنده و سرعت هوای عبوری از بستر تنظیم شد. قبل از آغاز هر آزمایش، برای اطمینان از یکنواختی و ثبات وضعیت آزمایش نظیر دمای خشک کن و سرعت جریان هوا، ۳۰ دقیقه قبل از آزمایش، دستگاه روشن شد تا به شرایط پایدار برسد، سپس نمونه های ۲۲۰ گرمی از سه رقم در چهار سطح دمای ۴۵، ۵۰، ۵۵ و ۶۰ درجه سلسیوس و در سه سطح دبی ۰/۱۲، ۰/۱۴ و ۰/۱۶ متر مکعب بر ثانیه، تا رسیدن به سطح رطوبتی نهایی ۹-۱۰ درصد بر پایه خشک و در سه تکرار خشک شدند. نرخ خشک شدن شلتوک با استفاده از داده های حاصل از درصد محتوای رطوبتی خارج شده از شلتوک در هر زمان، تقسیم بر فواصل زمانی مربوطه از طریق رابطه ۲ محاسبه شد (آکپینار و همکاران، ۲۰۰۳).

$$R = \frac{M_{t+\Delta t} - M_t}{\Delta t} \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در آن، R : نرخ خشک شدن شلتوک (بر حسب درصد کاهش رطوبت بر ساعت)، $M_{t+\Delta t}$ = محتوای رطوبتی شلتوک در لحظه $t + \Delta t$ (درصد)، M_t = محتوای رطوبتی شلتوک در لحظه t (درصد) و Δt = مدت زمان صرف شده جهت کاهش رطوبت شلتوک (بر حسب ساعت)، می باشد.

محاسبه انرژی مصرفی خشک کن

(Prasad et al., 1994) در بررسی تأثیر عمق شلتوک بر انرژی مصرفی، انرژی حرارتی لازم برای خشک کردن نمونه ها را با استفاده از حاصل ضرب کل توان حرارتی اعمال شده (E) در مدت زمان خشک شدن برای هر مرحله از آزمایش محاسبه کرد.

$$E = \frac{Q(C_{Pa} + C_{Pv}h_a)(T_{in} - T_a)}{V_h} \quad (\text{رابطه ۳})$$

در رابطه فوق Q دبی هوای ورودی به محفظه (m^3/s)، C_{Pa} و C_{Pv} به ترتیب ظرفیت گرمای ویژه هوا و بخار ($J/kg^\circ C$)، h_a رطوبت مطلق هوا (هوای خشک kg/kg)، T_{in} دمای هوای ورودی به محفظه ($^\circ C$)، T_a دمای هوای محیط ($^\circ C$) و V_h حجم ویژه هوا (m^3/kg) است. مقادیر گرمای ویژه هوا و بخار بترتیب برابر با ۱۰۰۴/۱۶ و ۱۸۲۸/۸ ($J/kg^\circ C$) است.

دستگاه خشک کن مورد استفاده شامل یک دمنده گریز از مرکز برای تأمین جریان هوای ورودی به خشک کن به قدرت ۲/۲۴ کیلو وات و المنتهای برقی (۴ المنت جمعاً به توان ۴kW)

برای گرم کردن هوای ورودی به محفظه خشک کن است. برای محاسبه میزان مصرف انرژی خشک کن بستر سیال، ابتدا برای هر آزمایش مدت زمانی را که گرمکن ها و دمنده گریز از مرکز روشن بودند و یا به عبارت دیگر دستگاه مشغول داده برداری بوده است، یادداشت شده، سپس میزان مصرف انرژی هیترها برای شرایط مختلف (از نظر دبی حجمی هوا و دما) با استفاده از فرمول 4 اندازه گیری شده (Prasad et al., 1994; Sharifi et al., 2010) و مقدار حاصله با میزان مصرف انرژی فن دمنده جمع گردید تا مقدار کل مصرف انرژی سیستم به دست آید (فن دمنده ای مورد استفاده در این پژوهش مصرف ثابتی دارد چون تغییر دبی حجمی هوا صرفاً به وسیله تغییر دریچه خروجی فن صورت پذیرفته و دور فن دمنده همواره ثابت می باشد).

$$E = P \times t \quad (\text{رابطه ۴})$$

که در آن، E = انرژی مصرفی بر حسب کیلووات - ساعت (kW.h)، P = کل توان حرارتی اعمال شده بر حسب کیلووات (kW) و t = مدت زمان لازم خشک شدن برای هر مرحله از آزمایش بر حسب ساعت (h) می باشد. کل توان حرارتی اعمال شده (P) از طریق رابطه ترمودینامیکی زیر (فرمول ۴) قابل محاسبه است:

$$P = Q \times \rho_{air} \times C_p \times \Delta t \quad (\text{رابطه ۵})$$

در رابطه فوق، Q = دبی هوای ورودی به محفظه (m^3/s)، C_p = ظرفیت گرمای ویژه هوا ($kJ/kg^\circ C$)، Δt = اختلاف دمای هوای محیط با دمای هوای ورودی به محفظه ($^\circ C$) و ρ_{air} = چگالی هوا (kg/m^3) است (Zandi et al., 2013).

با توجه به مقادیر به دست آمده برای نرخ خشک شدن و انرژی مصرفی در دماها و دبی های مختلف برای ارقام مختلف آزمایش، تجزیه آماری آزمایش ها با استفاده از نرم افزار آماری SPSS STATISTICA 18.0، در قالب آزمایش فاکتوریل سه فاکتوره $3 \times 3 \times 4$ (چهار سطح دمای هوای ورودی (۴۵، ۵۰، ۵۵ و ۶۰ درجه سلسیوس)، سه سطح دبی هوا (۰/۱۲، ۰/۱۴ و ۰/۱۶ متر مکعب بر ثانیه) و سه رقم برنج (طارم، فجر و شیرودی)، بر پایه ی طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام شد. برای مقایسه بین میانگین ها هم از آزمون دانکن استفاده شد.

نتایج و بحث

اثر دما و دبی هوای ورودی بر نرخ خشک شدن سه رقم شلتوک مورد آزمایش در خشک کن بستر سیال در جدول ۱ نتایج آنالیز واریانس اثر رقم (طارم، فجر و شیرودی)، دما (۴۵، ۵۰، ۵۵ و ۶۰ درجه سلسیوس) و دبی

شدن در سطح خطای یک درصد معنی دار می باشد. بنابراین، مقایسه میانگین های نرخ خشک شدن حاصل از ترکیب این تیمارها (برش دهی اثرات متقابل) انجام می شود (Soltani, 2007).

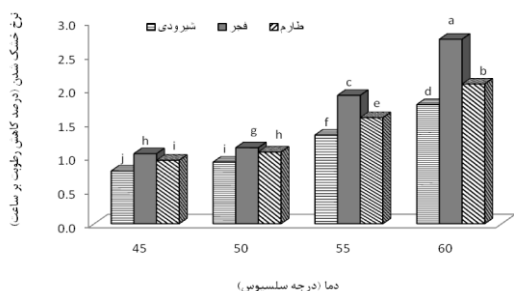
هوای ورودی (۰/۱۲، ۰/۱۴ و ۰/۱۶ متر مکعب بر ثانیه) بر نرخ خشک شدن نشان داده شده است. نتایج بیانگر آن است که اثرات اصلی رقم، دما و دبی هوای ورودی و همچنین اثر متقابل رقم در دما، دما در دبی و رقم در دما در دبی بر نرخ خشک

جدول ۱- نتایج آنالیز واریانس مربوط به اثر رقم، دما و دبی هوای ورودی بر نرخ خشک شدن شلتوک در خشک کن بستر سیال

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات (SS)	میانگین مربعات (MS)	F
رقم	۲	۴/۶۵۵	۲/۳۲۸	۵۰۵/۴۳۱**
دما	۳	۲۷/۶۲۱	۹/۲۰۷	۱۹۹۹/۲۲۳**
دبی	۲	۰/۷۳۰	۰/۳۶۵	۷۹/۲۱۳**
رقم × دما	۶	۱/۸۴۳	۰/۳۰۷	۶۶/۷۰۱**
رقم × دبی	۴	۰/۰۲۹	۰/۰۰۷	۱/۵۹۳ ^{ns}
دما × دبی	۶	۰/۴۵۷	۰/۰۷۶	۱۶/۵۴۲**
رقم × دما × دبی	۱۲	۰/۱۶۳	۰/۰۱۴	۲/۹۴۵**
خطا	۷۲	۰/۳۳۲	۰/۰۰۵	
کل	۱۰۸	۲۵۸/۲۵۰		

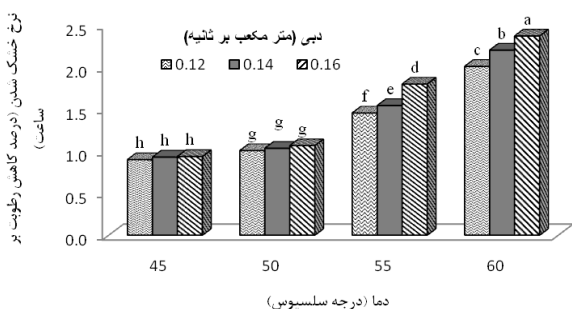
** تفاوت معنی داری در سطح یک درصد ($P < 0.01$), ns عدم معنی داری

کننده فرآیند خشک شدن است، کاهش می یابد. (Akpınar et al., 2003) نیز در تحقیقی نشان دادند که افزایش دما سرعت خروج رطوبت از شلتوک را افزایش داده و موجب روند کاهشی قابل ملاحظه ای در منحنی های به دست آمده از تغییرات نسبت رطوبت به زمان می شود و یک رابطه معکوس بین دمای خشک شدن و زمان خشک کردن وجود دارد. در ساعات اولیه خشک شدن کاهش رطوبت سریع تر است (Yaldiz et al., 2001) ولی در ساعات بعدی به سبب اینکه رطوبت باید از قسمت های داخلی دانه به سطح بیرونی دانه برسد و سپس تبخیر گردد، کاهش رطوبت کند می شود. همچنین با توجه به شکل ۲ در هر سطح از دمای هوای ورودی، بیشترین نرخ خشک شدن شلتوک در رقم فجر و کمترین مقدار آن در رقم شیرودی می باشد که علت آن به خصوصیات فیزیکی و خواص ذاتی (ژنتیکی) ارقام و محتوای رطوبت اولیه آن ها مربوط می شود.



شکل ۲. بررسی اثر متقابل دمای هوای ورودی و رقم بر نرخ خشک شدن شلتوک در خشک کن بستر سیال

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل رقم در دما بر نرخ خشک شدن (شکل ۲) نشان داد که در هر سه رقم مورد آزمایش با افزایش دمای هوای ورودی نرخ خشک شدن بطور معنی داری افزایش یافته است به طوری که بیشترین نرخ خشک شدن در هر سه رقم مربوط به دمای ۶۰ درجه سلسیوس می باشد. این افزایش به سبب افزایش پتانسیل انتقال حرارت (تامین حرارتی که باید برای تبخیر آب به محصول داده شود) بین هوا و شلتوک است که گرمای نهان تبخیر لازم برای تبخیر آب از شلتوک را تأمین می کند. تأثیر دما بر نرخ خشک شدن توسط محققان مختلف نیز گزارش شده است (Pangavhane et al., 2003; Akpınar et al., 1999). نرخ خشک شدن همچنین به مقدار محتوی رطوبتی دانه نیز بستگی دارد، به طوری که هر چه محتوی رطوبتی بالاتر باشد، فرآیند خشک شدن با نرخ زیادتری انجام می شود (Yaldiz et al., 2001; Akpınar et al., 2003). هنگامی که محتوی رطوبتی دانه کمتر از محتوی رطوبت بحرانی (رطوبت بحرانی شاخصی برای تغییر از مرحله خشک شدن با شدت ثابت به مرحله خشک شدن با شدت نزولی می باشد) باشد، نرخ انتقال رطوبت از داخل دانه کمتر از نرخ انتقال بخار آب به هوای اطراف خواهد شد و در نتیجه از فشار جزئی بخار بالای سطح ماده نیز کاسته شده و نرخ خشک شدن نسبت به زمان به آهستگی کاهش می یابد (Fellows, 2000). چون نرخ انتقال جرم داخلی (مقاومت داخلی برای انتقال رطوبت) به سطح دانه که بستگی به تغییرات غلظت رطوبت دارد و عامل کنترل



شکل ۳. نتایج اثر متقابل دما و دبی هوای ورودی بر نرخ خشک شدن شلتوک در خشک‌کن بستر سیال

اثر دما و دبی هوای ورودی بر انرژی مصرفی خشک کردن سه رقم شلتوک مورد آزمایش در خشک‌کن بستر سیال نتایج تجزیه واریانس اثر رقم (طارم، فجر و شیرودی)، دما (۴۵، ۵۰، ۵۵ و ۶۰ درجه سلسیوس) و دبی هوای ورودی (۰/۱۲، ۰/۱۴ و ۰/۱۶ مترمکعب بر ثانیه) بر انرژی مصرفی خشک کردن شلتوک در خشک‌کن بستر سیال در جدول ۲ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، اثرات اصلی رقم، دما و دبی هوای ورودی و همچنین اثر متقابل رقم در دما و دما در دبی بر انرژی مصرفی در سطح خطای یک درصد معنی‌دار می‌باشد. بنابراین، مقایسه میانگین‌های انرژی مصرفی حاصل از ترکیب این تیمارها (برش‌دهی اثرات متقابل) انجام می‌شود (Soltani, 2007).

نتایج اثر متقابل دمای هوای ورودی در دبی هوای ورودی بر نرخ خشک شدن شلتوک در شکل ۳ نشان داده شده است. در دمای ۴۵ و ۵۰ درجه سلسیوس، افزایش دبی تاثیر معنی-داری بر نرخ خشک شدن شلتوک نداشته ولی در دمای ۵۵ و ۶۰ درجه سلسیوس با افزایش دبی هوای ورودی، نرخ خشک شدن نیز بطور معنی‌داری افزایش یافته است، زیرا با افزایش دبی هوای ورودی، از یک سو به دلیل افزایش سطح تماس ذرات با هوا، سرعت تبخیر افزایش یافته و از سوی دیگر نرخ انتقال حرارت از هوا به دانه‌های شلتوک به واسطه‌ی افزایش در ضریب انتقال حرارت جابجایی، افزایش پیدا می‌کند که خود باعث افزایش نرخ انتقال جرم می‌شود. نتایج مشابه در مطالعات انجام شده در طول فرآیند خشک کردن شلتوک گزارش شده است (Doymaz, 2004; Khoshtaqaza et al., 2007). همچنین با توجه به مقادیر به دست آمده در شکل ۳ می‌توان گفت که اگر چه اثر دبی هوا بر نرخ خشک شدن شلتوک معنی‌دار می‌باشد، اما دمای هوای ورودی در مقایسه با دبی تاثیر بیشتری بر نرخ خشک شدن شلتوک دارد. (Karim & Hawlader 2005) نیز در تحقیقات خود به نتایج مشابهی دست یافتند.

جدول ۲- نتایج آنالیز واریانس مربوط به اثر رقم، دما و دبی هوای ورودی بر میزان انرژی مصرفی

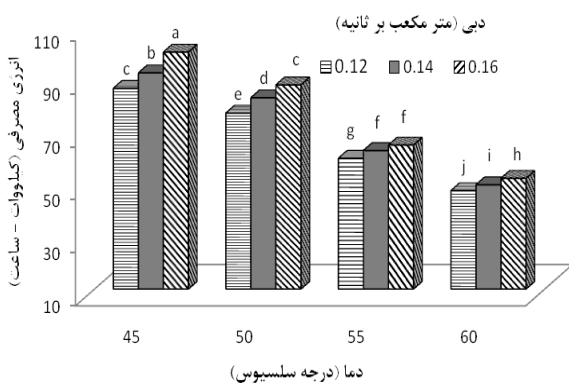
F	میانگین مربعات (MS)	مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی	منابع تغییرات
۲۴۵/۷۵۹**	۱۳۱۰/۵۰۵	۲۶۲۱/۰۱۰	۲	رقم
۱۸۸۵/۷۰۰۱**	۱۰۰۵۵/۴۷۱	۳۰۱۶۶/۴۱۱	۳	دما
۱۲۱/۵۳۱**	۶۴۸/۰۶۰	۱۲۹۶/۱۲۰	۲	دبی
۴/۷۳۹**	۲۵/۲۷۲	۱۵۱/۶۳۱	۶	رقم × دما
۰/۵۱۱ ^{ns}	۲/۷۲۴	۱۰/۸۹۸	۴	رقم × دبی
۸/۴۹۳**	۴۵/۲۹۱	۲۷۱/۷۴۵	۶	دما × دبی
۱/۱۸۱ ^{ns}	۶/۳۰۰	۷۵/۶۰۱	۱۲	رقم × دما × دبی
	۵/۳۳۲	۳۸۳/۹۳۹	۷۲	خطا
	۵۸۵۶۹۲/۷۱۳		۱۰۸	کل

** تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد ($P < 0.01$). ns عدم معنی‌داری

مورد نیاز به ازای حذف واحد رطوبت از محصول کاهش پیدا می‌کند. (Khoshtaqaza et al. 2007) نیز در بررسی فرآیند خشک کردن شلتوک در شرایط بستر ثابت و سیال به نتایج مشابهی دست یافته است. همچنین شکل ۴ نشان می‌دهد که در بین سه رقم مورد آزمایش در هر سه سطح دمای هوای ورودی به خشک‌کن، بیشترین انرژی مصرفی برای خشک

با توجه به شکل ۴، در هر سه رقم مورد آزمایش با افزایش دمای هوای ورودی به محفظه خشک‌کن، انرژی مصرفی خشک کردن شلتوک بطور معنی‌داری کاهش یافته است. به عبارت دیگر، هر چند با افزایش دمای هوای ورودی، توان حرارتی اعمال شده با توجه به رابطه ۴ افزایش پیدا می‌کند، اما با توجه به کاهش مدت زمان خشک شدن، مقدار انرژی حرارتی

نتایج اثر متقابل دما در دبی هوای ورودی بر انرژی مصرفی خشک کردن شلتوک در خشک‌کن بستر سیال در شکل ۵ نشان داده شده است، همان‌طور که مشاهده می‌شود، در تمام سطوح دمایی مورد آزمایش، با افزایش دبی هوای ورودی، انرژی مصرفی نیز افزایش یافته است. Rostami & Mirdamadiha (2003) نیز در بررسی انواع خشک‌کن‌های پسته و مصرف انرژی در آن‌ها، نشان دادند که استفاده از سرعت‌های بالای هوادهی فقط باعث افزایش مصرف انرژی می‌شوند و تاثیر چندانی در سرعت بخشیدن به فرایند خشک شدن ندارند. Treybal (1980) بیان می‌کند که به منظور جلوگیری از غیریکنواختی توزیع رطوبت در محصول خشک شده، باید حجم بالایی از هوا در سرعت‌های بالای ۳ تا ۴ متر بر ثانیه بکار گرفته شود. با توجه به نتایج گرفته شده، افزایش دبی هوای ورودی تاثیر معنی‌داری بر افزایش انرژی مصرفی داشته است، پس از لحاظ اقتصادی کمترین دبی هوای ورودی به صرفه است. اما از آنجایی که یکی از مشخصه‌ها و مزایای روش بستر سیال نسبت به خشک‌کن‌های بستر ثابت استفاده از دبی هوا جهت سیال-سازی شلتوک و غیر یکنواختی توزیع رطوبت در کل بستر می‌باشد پس بایستی دبی هوا را در محدوده‌ای تنظیم کرد تا ضمن کمینه کردن مصرف انرژی، بستری سیال و شناور نیز فراهم کرد. بنابراین طبق آزمایشات صورت گرفته، سطح دبی هوای ۰/۱۴ متر مکعب بر ثانیه، ضمن شناورسازی شلتوک و یکنواختی توزیع رطوبت در کل بستر و اختلاط مناسب ذرات، هم باعث افزایش نرخ خشک شدن شده و هم در اتلاف انرژی صرفه جویی شده است.

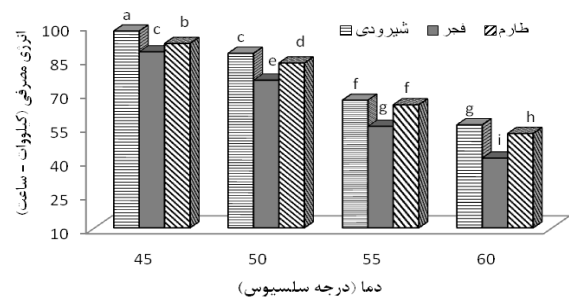


شکل ۵- نتایج اثر متقابل دبی و هوای ورودی بر مقدار انرژی مصرفی خشک کردن شلتوک در خشک‌کن بستر سیال

روند تغییرات انرژی مصرفی در سطوح مختلف دما و دبی هوای ورودی بر میزان انرژی مصرفی در سه رقم مورد آزمایش در نمودارهای شکل های ۶، ۷ و ۸ نشان داده شده است. همان

کردن شلتوک مربوط به رقم شیروودی و کمترین آن در رقم فجر می‌باشد و با توجه به اینکه در هر سه رقم، شلتوک‌ها تا سطح رطوبتی یکسانی (حدود ۹ درصد) خشک شدند، و از طرفی دارای رطوبت اولیه نسبتاً یکسانی بودند، بنابراین علت اختلاف بین ارقام در مقدار انرژی مصرفی، به خصوصیات فیزیکی و مکانیکی آنها مربوط می‌شود.

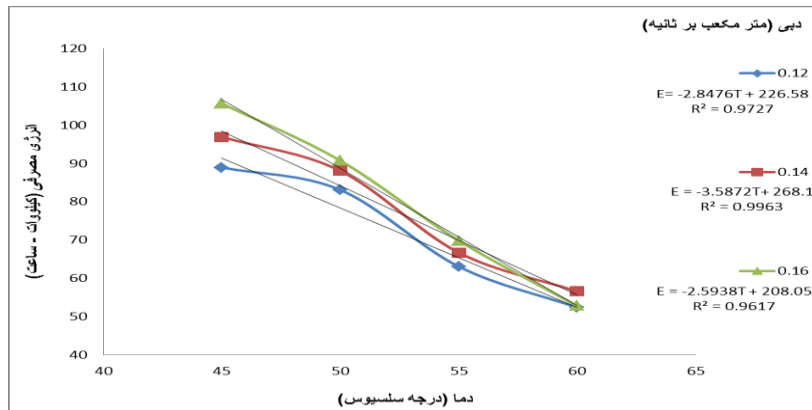
در درجه حرارت پایین، مدت زمان خشک شدن و همچنین میزان مصرف انرژی افزایش می‌یابد و این درحالی است که استفاده از درجه حرارت‌های خیلی بالا بر روی کیفیت تبدیل شلتوک (خرده برنج، درصد شکستگی و ...) تاثیر نامطلوب می‌گذارد. زیرا افزایش دما باعث ایجاد تنش‌های حرارتی در داخل دانه شده و زمینه ایجاد شکستگی در مراحل تبدیل شلتوک به برنج سفید را ایجاد می‌کند (Sun, 1995; Hagh- & Maghsoudlou, 2006)، بنابراین باید درجه حرارتی را انتخاب نمود تا ضمن کمینه کردن مصرف انرژی روی کیفیت تبدیل برنج نیز تاثیر نامطلوب نداشته باشد. بنابراین با توجه به نتایج آزمایشات برای این نوع خشک‌کن مورد استفاده، سطح دمایی ۵۵ درجه سلسیوس هم باعث کاهش مصرف انرژی شده و هم تاثیر نامطلوبی بر کیفیت تبدیلی شلتوک نمی‌گذارد. البته در روش خشک کردن دو مرحله ای که در آن رطوبت اولیه شلتوک در ابتدای خشک کردن زیاد است استفاده از دماهای بالاتر ممکن خواهد بود. اما به علت گوناگونی ارقام شلتوک موجود در کشور که هر یک دارای خواص فیزیکی و مکانیکی متفاوتی هستند نمی‌توان روش واحدی را برای خشک کردن همه ارقام پیشنهاد داد اما یک روش مرسوم در سایر کشورها اینست که با استفاده از روش دو مرحله‌ای ابتدا شلتوک با مقدار رطوبت اولیه بالا وارد خشک‌کن می‌شوند و در مدتی معین با دمای بالا تا حدود ۸۰ درجه سلسیوس خشک شده سپس با کاهش یافتن مقدار رطوبت شلتوک فرایند خشک شدن را با درجه حرارت پایین (حدود ۵۰ درجه سانتی گراد) تا رسیدن به رطوبت نهایی مورد نظر ادامه می‌دهند (Jia et al., 2000; Aquerreta et al., 2007).



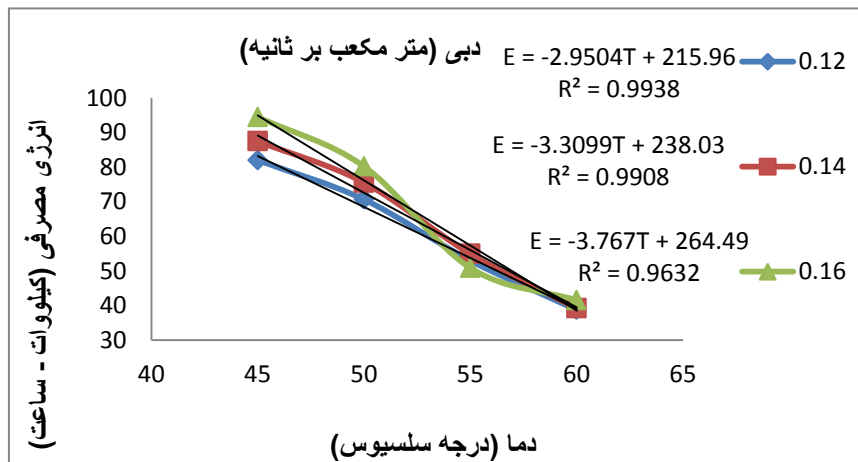
شکل ۴- نتایج اثر متقابل رقم در دمای هوای ورودی بر انرژی مصرفی خشک کردن شلتوک در خشک‌کن بستر سیال

دبی، انرژی مصرفی افزایش یافته است. پیش بینی می گردید که با افزایش دبی میزان انرژی مصرفی کاهش یابد، اما از آن جایی که اثر افزایش دبی هوا کمتر از اثر افزایش دمای هوای ورودی بر نرخ خشک کردن شلتوک است، از این رو با افزایش دبی هوای ورودی نمی توان کاهش نرخ خشک کردن و در نهایت کاهش انرژی مصرفی را انتظار داشت.

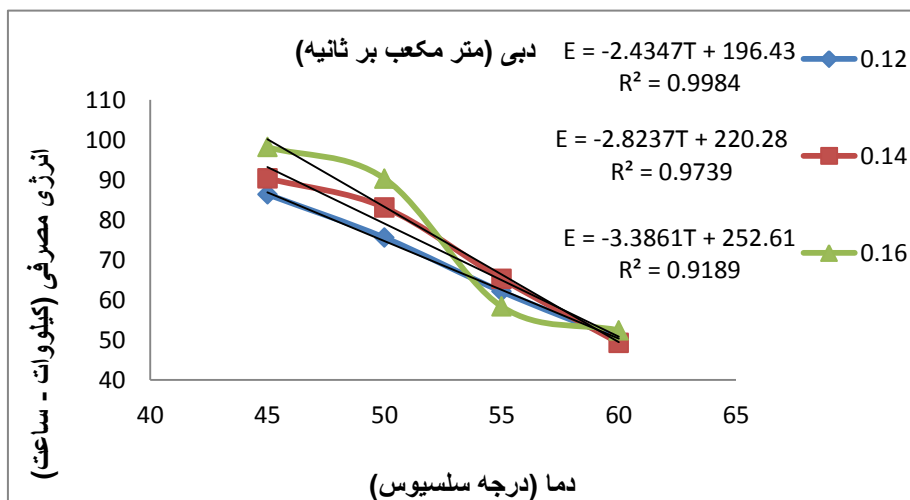
گونه که مشاهده می شود، در هر سطح از رقم و دبی هوای ورودی، با افزایش دمای هوای ورودی، مقدار انرژی مصرفی کاهش معنی داری را نشان داده است که علت آن افزایش قابل توجه نرخ خشک کردن در سطوح بالاتر دمای هوای ورودی است. این موضوع با ضریب تبیین بالای روابط موجود تعیین شده است. همچنین در هر رقم و دمای هوای ورودی، با افزایش



شکل ۶- تغییرات انرژی مصرفی نسبت به دما و دبی های مختلف در رقم شیرودی



شکل ۷- تغییرات انرژی مصرفی نسبت به دما و دبی های مختلف در رقم فجر



شکل ۸- تغییرات انرژی مصرفی نسبت به دما و دبی های مختلف در رقم طارم

معنی‌داری افزایش یافته است.

در هر چهار سطح دمای هوای ورودی، با افزایش دبی هوای ورودی، انرژی مصرفی نیز بطور معنی‌داری افزایش یافته است. بنابراین، استفاده از سرعت‌های بالای هوادهی در خشک‌کن بستر سیال مورد آزمایش باعث افزایش مصرف انرژی شده است. در هر سه رقم مورد آزمایش با افزایش دمای هوای ورودی به محفظه خشک‌کن، انرژی مصرفی خشک کردن شلتوک بطور معنی‌داری کاهش یافته است. به عبارت دیگر، هر چند با افزایش دمای هوای ورودی، توان حرارتی اعمال شده با توجه به رابطه ۴ افزایش پیدا می‌کند، اما با توجه به کاهش مدت زمان خشک شدن، مقدار انرژی حرارتی مورد نیاز به ازای حذف واحد رطوبت از محصول کاهش پیدا می‌کند.

نتیجه‌گیری کلی

با افزایش دمای هوای ورودی در خشک‌کن بستر سیال در هر یک از ارقام مورد آزمایش، نرخ خشک کردن شلتوک افزایش یافته به طوری که بیشترین نرخ خشک شدن در هر سه رقم مربوط به دمای ۶۰ درجه سلسیوس می‌باشد. این افزایش به سبب افزایش پتانسیل انتقال حرارت بین هوا و شلتوک است. همچنین بیشترین نرخ خشک شدن مربوط به رقم فجر و کمترین مقدار آن در رقم شیروودی می‌باشد که علت آن به خصوصیات فیزیکی و خواص ذاتی (ژنتیکی) ارقام مربوط می‌شود.

در دمای ۴۵ و ۵۰ درجه سلسیوس، افزایش دبی تاثیر معنی‌داری بر نرخ خشک شدن شلتوک نداشته ولی در دمای ۵۵ و ۶۰ درجه سلسیوس با افزایش دبی نرخ خشک شدن نیز بطور

REFERENCES

- Abdelmotaleb, A., El-Kholy, M. M., Abou-El-Hana, H. & Younis, M. A. (2009). Thin layer drying garlic slices using convection and (convection- infrared) heating modes. *Journal of Agricultural Engineering*, 29(1), 181-251
- Akpinar, E., Midilii, A. & Bicer, Y. (2003). Single layer drying behavior of potato slices in a convective cyclone dryer and mathematical modeling. *Energy Convection and Management*, 44, 1689-1705.
- Amer, B. M. A., Morcos, M. A. & Sabbah, M. A. (2003). New method for the determination of drying rates of fig fruits depending on empirical data under conditions suiting solar drying. *The International Conference Institute of Agricultural Engineering*, 18-19 Sep., LUA Raudondvaris, Lithuania.
- Amiri Chayjan, R., Khoshtahaza, M. H. & Amiri Parian, J. (2009). Variables estimation and important order determination of effective factors in fixed bed drying of rough rice by using artificial neural networks. *Journal of Food Technology Research*, 19(1), 55-73. (In Farsi)
- Aquerreta, J., Iguaz, A., Arroqui, C. & Virseda, P. (2007). Effect of high temperature drying and tempering on rough rice quality. *Journal of Food Engineering*, 80, 611-918.
- ASAE (2000). ASAE Standard S352.2: moisture measurement-unground grain and seeds in ASAE standards 2000, St. Joseph, MI.
- Bonazzi, C., Du Peuty, M. A. & Themelin, A. (1997). Influence of drying conditions on the processing quality of rough rice. *Drying Technology*, 3&4(15), 1141-1157.
- Corzo, O., Bracho, N., Vasquez, A. & Pereira, A. (2008). Energy and exergy analyses of thin layer drying of coroba slices. *Journal of Food Engineering*, 86(2), 151-161.
- Doymaz, I. (2004). Convective air drying characteristics of thin layer carrots. *Journal of Food Engineering*, 61, 359-364.
- Fellows, P. (2000). Food processing technology: principles and practice. *Second edition*. Published by CRC press.
- Feng, H. & Tang, J. (1998). Microwave finish drying of diced apples in a spouted bed. *Journal of Food Science*, 63, 238-251.
- Hagh-Khah, A. & Maghsoudlou, E. (2006). Study of the paddy height on dryer and the effect of drying temperature on fracture grain of rice in Gorgan Shalikoubi. In: *Proceedings of 16th National Congress of Iran Food Industry (1st Regional Congress)*, 12-13 Apr., Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. (In Farsi)
- Jia, C. C., Sun, D. W. & Cao, C. W. (2000). Mathematical simulation of stresses within a corn kernel during drying. *Drying Technology*, 18, 887-906.
- Karim, M. A. & Hawlader, M. N. A. (2005). Drying characteristics of banana: theoretical modelling and experimental validation. *Journal of Food Engineering*, 70, 35-45.
- Khoshtaqaza, M. H., Sadeghi, M. & Amiri-Chayjan, R. (2007). Study the rough rice drying process in fixed and fluidized bed conditions. *Journal of Agriculture Science and Natural Research*, 14(2), 127-136. (In Farsi)
- Kunii, D. & Levenspiel, O. (1991). *Fluidization Engineering*. New York: Butterworth Heinemann, USA.
- Malekjani, N. (2011). *Design and modeling of a laboratory scale fluidized bed canola dryer and evaluation of oilseeds quality attributes*. M. Sc. thesis. Faculty of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and

- Natural Resources. Gorgan, Iran. (In Farsi)
- McCabe, L. W., Smith, J. C. & Harriot, P. (1988). *Unit Operation of Chemical Engineering*. New York: McGraw Hill Book Company, USA.
- Mohajeran, S. H., Khoshtaghaza, M. H. & Moazami Gudarzi, A. (2004). Effect of temperature and air velocity on cracking of seed paddy in drying by infrared radiation. *Journal of Food Industry*, 2, 57-65. (In Farsi)
- Omid, M., Yadollahinia, A. & Rafiee, S.H. (2010). Extraction kinetics model Drying of paddy of Fajr variety in The thin layer dryer. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 41(2), 153-160. (In Farsi)
- Pangavhane, D. R., Sawhney, R. L. & Sarvahandia, P. N. (1999). Effect of various dipping pretreatment on drying kinetics of Thompson Seedless Grapes. *Journal of Food Engineering*, 39, 211-216.
- Pangavhane, D. R., Sawhney, R. L. & Sarsavadia, L. (2002). Design, development and performance testing of a new natural convection solar dryer. *Energy*, 27, 579-590.
- Prasad, B. V. S., Chandra. P. K. & Bal, S. (1994). Drying parboiled rough rice in stationary, semi-fluidized and fluidized conditions. *Transactions of The ASAE*, 37(2), 589-594.
- Rostami, M. A. & Mirdamadiha, F. (2003). Evaluation and comparison of pistachio common dryers in Kerman province. *Journal of Agricultural Engineering*, 18(5), 1-17. (In Farsi)
- Sacilik, K., Keskin, R. & Elicin, A. (2006). Mathematical modeling of solar tunnel drying of thin layer organic tomato. *Journal of Food Engineering*, 73, 231-238.
- Sharifi, M., Rafiee, S.H., Keyhani, A. R. & Omid, M. (2010). Effects of drying conditions of sliced orange on energy consumption. *Journal of Food Science and Technology*, 7(3), 109-116. (In Farsi)
- Soltani, A. (2007). *Application of SAS software in statistical analysis*. Jihad Daneshgahi Mashhad Press. (In Farsi)
- Sun, Z. (1995). The mechanism of brown rice kernel cracking rate and rice broken rate. *Transactions of The Chinese Society of Agricultural Engineering*, 11(3), 173-178.
- Sutherland, J. W. & Gholy, T. F. (1990). Rapid fluid bed drying of paddy rice in the humid tropics. *Proceedings of ASEAN Seminar on Post harvest Technology*. Brunei Darussalam, 19-30.
- Treybal, R. E. (1980). *Mass transfer operations* (3th ed.). Tokyo: McGraw-Hill International Book Co.
- Uckan, G. & Ulku, S. (1986). *Drying of grains in a batch fluidized bed dryer*. In Drying of Solids-Recent International Developments, ed. Majumdar, A. S. New Dehli, India: Wiley Eastern Ltd.
- Yaldiz, O., Ertekin, C. & Uzun, H. I. (2001). Mathematical modeling of thin layer drying of sultana grapes. *Energy*, 26, 457-465.
- Zandi, M., Niakousari, M., Eskandari, M. H. & Sarshar, M. (2013). Design, construction and evaluation performance of spouted bed dryer. *Journal of Food Science and Technology Research and innovation*, 2(3), 243-252. (In Farsi)