دانشگاه گیلان
دانشکده علوم کشاورزی

تحقیقات غلات

دوره ششم/ شماره سوم/ پاییز ۱۳۹۵ (۳۹۵-۳۸۵)

اثر دبی و دمای هوای ورودی بر ویژگی‌های تبدیل و زمان خشک شدن سه رقم شلتوک در خشک‌کن بسترسیال با چرخه بسته

ولی کلیکانلو[۱]، محمد هاشم رحمتی[۲]، محمد رضا علیزاده[۳*] و رقیه پورباقر[۱]

تاریخ دریافت: ۹۴/۷/۲۸ تاریخ پذیرش: ۹۴/۹/۱۱

چکیده

در این تحقیق، اثر دبی و دمای هوای ورودی به خشک‌کن بر درصد شکستگی دانه، راندمان تبدیل و زمان خشک شدن سه رقم برنج خشک شده در یک خشک‌کن بستر سیال بررسی شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد و فاکتورهای آزمایش شامل دبی هوای ورودی به خشک‌کن در سه سطح ۰/۱۲، ۰/۱۴ و ۰/۱۶ متر مکعب بر ثانیه، دمای هوا در چهار سطح ۴۵، ۵۰، ۵۵ و ۶۰ درجه سلسیوس و سه رقم برنج طارم محلی، فجر و شیرودی بودند. نتایج نشان داد که افزایش دما از ۵۵ به ۶۰ درجه سلسیوس باعث افزایش درصد دانه‌های شکسته در سه رقم شیرودی، فجر و طارم به‌ترتیب از ۱۹/۱۰ به ۳۵/۹۷ درصد، ۴۳/۳۰ به ۵۱/۳۶ درصد و ۱۹/۸۲ به ۲۹/۰۶ درصد شد. کمترین درصد شکستگی در دبی ۰/۱۲ متر مکعب بر ثانیه و دمای ۴۵ درجه سلسیوس (۱۷/۱۷درصد) و بیشترین مقدار آن در دبی ۰/۱۶ متر مکعب بر ثانیه و دمای ۶۰ درجه سلسیوس (۴۰/۵۴ درصد) بود. راندمان تبدیل رقم شیرودی در دبی ۰/۱۲ تا ۰/۱۶ از ۷۲/۳۷ درصد به ۷۱/۷۴ درصد کاهش یافت، ولی در رقم فجر و طارم تغییر معنی‌داری در راندمان تبدیل مشاهده نشد. همچنین نتایج نشان داد که تغییرات دما تأثیر بیشتری بر زمان خشک شدن نسبت به تغییرات دبی هوا دارد، به‌طوری‌که با افزایش دمای هوا از ۴۵ تا ۶۰ درجه سلسیوس در دبی ۰/۱۶ متر مکعب بر ثانیه زمان خشک شدن از ۱۳/۴۵ به ۵/۳۷ ساعت و در دبی ۰/۱۲ تا ۰/۱۶ متر مکعب بر ثانیه و دمای ۶۰ درجه سلسیوس از ۶/۳۷ به ۵/۳۷ ساعت کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: خشک‌کن بستر سیال، دبی هوا، دمای خشک کردن، تبدیل شلتوک

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۲- دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۳- دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران
* نویسنده مسئول: alizadeh_mohammadreza@yahoo.com

مقدمه

برنج یکی از گیاهان مهم تیره غلات و غذای اصلی اغلب کشورهای جهان است. این محصول زراعی بخش زیادی از انرژی غذایی حدود نیمی از جمعیت جهان را تأمین می‌کند که اغلب آن‌ها در آسیا زندگی می‌کنند. با توجه به رشد زیاد جمعیت در آسیا که حدود ۹۰ درصد برنج دنیا در آن تولید و مصرف می‌شود، تولید سالیانه برنج باید حدود ۱/۷ درصد افزایش یابد تا نیاز آینده مصرف کنندگان را تأمین کند (Mohadesi *et al.*, 2013).

شلتوک در زنجیره تبدیل باید از مراحل مختلفی عبور کند تا قابل استفاده گردد. یکی از مسائل مهم در تولید برنج، کاهش ضایعات آن است. این ضایعات شامل برنج ترک خورده یا شکسته می‌باشد. با توجه به بروز تنش های حرارتی در فرایند خشک کردن شلتوک و اثرات آن بر کیفیت تبدیل، عملیات خشک کردن در مقایسه با سایر مراحل تبدیل (پوست‌کنی و سفیدکردن) از حساسیت زیادی برخوردار می باشد. بنابراین رعایت اصول دقیق علمی و فنی در فرایند خشک کردن شلتوک باعث بهبود راندمان تبدیل، افزایش برنج سالم و کیفیت محصول درمرحله‌ی انبارداری می‌شود (Yadollahinia, 2006).

مشکل اساسی خشک‌کن‌های موجود در صنایع وابسته به کشاورزی در ایران، از آن جمله می‌توان به نحوه خشک کردن شلتوک در شمال ایران، قدیمی بودن روش‌های خشک کردن، توزیع غیر یکنواخت حرارت در خشک‌کن و در نتیجه غیریکنواختی در خشک شدن دانه است. استفاده از روش‌های سنتی و قدیمی باعث ضایعات و افت کیفیت و فساد زودهنگام محصول تولیدی می‌شود، درحالی‌که با استفاده از روش‌های مدرن خشک کردن می‌توان علاوه بر سرعت بخشیدن به عملیات خشک‌کردن، تلفات ناشی از روش‌های نامناسب خشک کردن را کاهش داد (Mohajeran *et al.*, 2004).

در چند سال اخیر نوع جدیدی از خشک‌کن‌ها به نام خشک‌کن بستر سیال برای انواع محصولات کشاورزی به خصوص دانه‌ها وارد صنعت شده است. در خشک کن‌های بستر سیال، دانه‌ها نقش ذرات جامد و هوای داغ نقش سیال را بازی می‌کند. هوای داغ از پایین صفحه مشبک خشک‌کن با شدت زیاد به درون محفظه وارد می‌شود و بر نیروی ناشی از وزن دانه‌ها غلبه می‌کند و دانه‌ها را به جنب و جوش در می‌آورد (Malekjani, 2011). در این خشک‌کن‌ها با استفاده از جابجایی اجباری هوای گرم، سرعت افت رطوبت در محصول افزایش پیدا می‌کند و در زمان خشک شدن صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای صورت می‌گیرد. ولی چنانچه این فرایند به صورت کنترل شده صورت نگیرد، منجر به افزایش ضایعات در مرحله تبدیل و در نتیجه کاهش ارزش اقتصادی محصول می‌شود (Sahayand Singh, 1994).

در آزمایشی فرآیند خشک کردن شلتوک به روش های بستر ثابت و سیال، از نظر راندمان حرارتی، نرخ خشک شدن و میزان ترک خوردگی دانه مورد مقایسه قرار گرفت. آزمایش‌ها به کمک یک دستگاه خشک‌کن بسترسیال آزمایشگاهی که قابلیت کنترل دما و دبی هوای ورودی به محفظه و اعمال شرایط بستر ثابت و سیال را داشت، صورت پذیرفت. خشک کردن شلتوک از رطوبت اولیه ۱۷/۷ درصد تا رطوبت نهایی ۱۱ درصد بر پایه خشک در سه دمای هوای ورودی ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درجه سلسیوس انجام شد. سرعت هوای مورد استفاده در شرایط بستر ثابت، نیمه سیال و سیال به ترتیب ۰/۱، ۱/۱ و ۳/۵ متر بر ثانیه بود. بیشترین زمان خشک شدن (۲۸۰ دقیقه) و بیشترین مقدار ترک دانه (۷۸ درصد) مربوط خشک کن بستر سیال و دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد و کمترین زمان خشک شدن (۴۰ دقیقه) و همچنین کمترین مقدار ترک دانه (۱۷ درصد) نیز مربوط به حالت بستر نیمه سیال به ترتیب با دماهای ۸۰ و ۴۰ درجه سلسیوس تعیین شد (Khoshtaqaza *et al.*, 2007).

خشک کردن با استفاده از روش بستر سیال در دماهای۲۰ و ۶۵ درجه سلسیوس به‌ترتیب نرخ خشک شدن را ۱۵ درصد و ۵۴ درصد در مقایسه با خشک کردن در حالت بستر ثابت در شرایط درجه حرارت یکسان افزایش می‌دهد (McCabe,1985). سیال‌سازی نرخ خشک شدن را به‌علت افزایش سطح تماس خشک کردن دانه‌ها افزایش می‌دهد (Uckanandulku, 1986). دمای هوا اولین و سرعت هوای به‌کار رفته دومین عامل مؤثر در حذف رطوبت از سطح دانه شناخته شده است (ChouwandAthapol, 2001). تحقیقات نشان می‌دهد که دما و زمان خشک کردن محصول نسبت به سایر پارامترها مثل (سرعت هوا، رقم و رطوبت محصول) بیشترین تأثیر را بر ترک‌خوردگی دانه برنج دارد (Mondoza and Rigor, 1983).

در آزمایشی اثر دمای خشک‌کن و رطوبت نهایی شلتوک را بر درصد شکستگی ارقام پر محصول استان

مازندران در چهار سطح فجر، نعمت، ندا و ساحل و دمای خشک‌کن در سه سطح ۴۰، ۴۵ و ۵۰ درجه سلسیوس و رطوبت شلتوک در سه سطح ۱۱-۱۰ ، ۱۲-۱۱ و ۱۳-۱۲ درصد بررسی شد. مناسب‌ترین دما و رطوبت در ارقام فجر، نعمت، ندا و ساحل به ترتیب ۴۰ درجه سلسیوس و رطوبت ۱۰ تا ۱۱ درصد، ۵۰ درجه سلسیوس و ۱۰ تا ۱۱ درصد، ۵۰ درجه سلسیوس و ۱۱ تا ۱۲ درصد و ۴۰ درجه سلسیوس و ۱۰ تا ۱۱ درصد بود (Hedayatipour and Rahati, 2007).

از آنجایی که اکثر تحقیقات در زمینه خشک کردن در خشک‌کن‌های بستر سیال با سیکل باز انجام شده و اثر دبی و دمای هوای ورودی خشک‌کن در خشک‌کن بستر سیال با سیکل بسته در تحقیقات به ندرت به چشم می‌خورد، بنابراین انجام هر گونه تحقیق در این زمینه ضروری و مفید می‌باشد. این تحقیق با هدف بررسی اثر دبی و دمای هوای ورودی به خشک‌کن بستر سیال بر درصد شکستگی برنج، راندمان تبدیل و زمان خشک شدن سه رقم برنج طارم محلی، فجر و شیرودی صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

تهیه نمونه‌ها

برای انجام آزمایش‌ها با توجه به سطح زیر کشت و عملکرد شلتوک در واحد سطح و همچنین بنا به اهمیت تولید در مناطق شمال کشور از ارقام دانه بلند مانند طارم (دانه بلند محلی) ، فجر و شیرودی (دانه بلند پر محصول) که با توجه به دانه بلند بودن نسبت به ارقام دانه متوسط در فرآیند خشک کردن و تبدیل به شکستگی حساس ترند، انتخاب شدند. ارقام مورد آزمایش در مهر ماه سال ۱۳۹۲ از چند مزرعه در نزدیکی شهر گرگان که با کمباین و در رطوبت حدود ۲۰ درصد (بر پایه وزن تر)، برداشت شده بود، تهیه و سعی شد در هنگام حمل و نقل از وارد آمدن صدمات مکانیکی جلوگیری شود.

دستگاه خشک‌کن بستر سیال

برای خشک کردن نمونه‌های مورد مطالعه در این 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 ۹۲-۹۱ ساخته شده بود، استفاده شد. محفظه سیال‌سازی خشک‌کن، استوانه‌ای به قطر ۲۰ و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر از جنس پلکسی گلاس است که به منظور تسهیل در سیال‌سازی دانه‌ها و ایجاد سیال‌سازی یکنواخت یک مخزن کمکی از جنس استیل به قطر سه برابر قطر محفظه پلکسی‌گلاس در بالای آن نصب شد. در قسمت ورودی، وسط و انتهای محفظه حسگرهای دقیق درجه حرارت نصب شده است. 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 تامین میزان جریان هوای مورد نظر در آزمایش‌ها از یک دستگاه تغییر دهنده دور (اینورتر) موتور سه فاز مدل SVO5ic5.lf ساخت شرکت LG کشور کره جنوبی استفاده شد. همچنین سرعت هوای دمیده شده توسط دمنده بوسیله یک سرعت‌سنج پره‌ای با نام تجاری لوترون مدل AM-4216 ساخت کشور تایوان اندازه‌گیری شد که دقت آن ۲± درصد و حساسیت آن ۰/۱ متر بر ثانیه بود. 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 (Malekjani, 2011). خشک‌کن مورد استفاده در شکل ۱ نشان داده شده است.

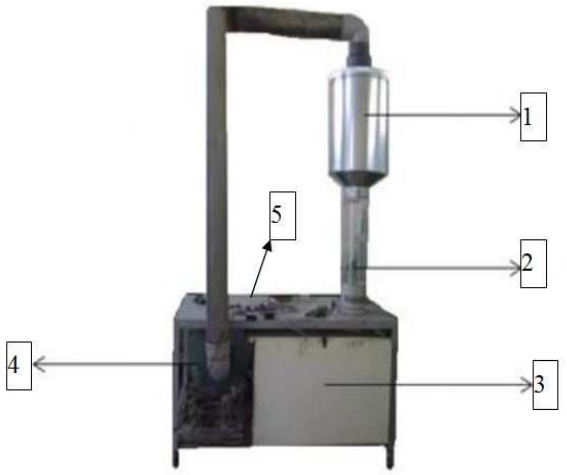
تعیین رطوبت نمونه‌ها

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 شیرودی به‌ترتیب 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 ۰/۱± گرم انجام شد که با توجه به رطوبت اولیه شلتوک، رطوبت دانه در زمان‌های مختلف با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد (Abdelmotaleb, 2009):

$$M_d = \frac{W_w - W_d}{W_d} \qquad (۱)$$

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

نمونه‌های 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 ۹-۸ درصد بر پایه خشک و در سه تکرار خشک شدند.



شکل ۱- خشک‌کن بستر سیال. ۱- مخزن کمکی، ۲- محفظه سیال‌سازی، ۳- محفظه آرامش جریان هوای گرم، ۴- دمنده گریز از مرکز، ۵- نمایشگر دما

Figure 1. Fluidized bed dryer. 1. Auxiliary, 2. Fluidized chamber, 3. Heater chamber, 4. Centrifugal blower, 5. Temperature control unit)

آماده سازی دستگاه خشک‌کن 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. بعد از تنظیم پارامترها و قبل از آغاز هر آزمایش برای اطمینان از یکنواختی و ثبات وضعیت آزمایش نظیر دمای خشک‌کن و سرعت جریان هوا، ۳۰ دقیقه قبل از آزمایش، دستگاه روشن شد تا به شرایط پایدار برسد، سپس نمونه‌ها در محفظه خشک‌کن قرار داده شدند. برای جلوگیری از جذب مجدد رطوبت در اثر عوامل محیطی، نمونه های خشک شده را در داخل کیسه های پلاستیکی زیپ دار ریخته و سپس همه آنها در کیسه های پلاستیکی بزرگ‌تر قرار داده و درب آنها را محکم بسته و با نهایت دقت برای تبدیل به مؤسسه تحقیقات برنج کشور (رشت) منتقل شد. سپس عملیات تبدیل شلتوک خشک شده به برنج سفید در بخش تحقیقات فنی و مهندسی مؤسسه تحقیقات برنج کشور واقع در رشت انجام شد. برای این منظور از هر نمونه خشک شده ۱۵۰ گرم برای انجام عملیات تبدیل انتخاب شد. عملیات پوست‌کنی نمونه‌ها توسط دستگاه پوست‌کن شلتوک با نام تجاری SATAKE مدل THU ساخت کشور ژاپن صورت گرفت. به‌منظور سفیدکردن دانه‌های برنج قهوه‌ای حاصل از خروجی پوست‌کن یک سفیدکن مالشی (اصطکاکی) با نام تجاری BALDOR ساخت کشور آمریکا مورد استفاده قرار گرفت. مدت زمان سفید کردن هر نمونه در محفظه سفیدکن ۴۵ ثانیه در نظر گرفته شد. پس از سفید کردن برنج، خروجی حاصل از ماشین سفیدکن داخل الک دوار با نام تجاری SATAKE ساخت کشور ژاپن ریخته شد و برنج‌های سالم و شکسته از یکدیگر جدا شدند.

پس از عملیات تبدیل، مقدار وزنی برنج قهوه‌ای، برنج سفید سالم و برنج سفید شکسته به‌دست آمد و راندمان تبدیل و درصد شکستگی برنج محاسبه شد. درصد (وزنی) شکستگی برنج سفید از نسبت وزن برنج شکسته به وزن کل برنج سفید شده (Sabouri and Roufighari-

Haghighat, 2012) و راندمان تبدیل از نسبت وزن کل برنج سفید شده به وزن اولیه شلتوک به‌دست آمد (Faraji *et al.*, 2011).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

به‌منظور بررسی اثر پارامترهای مختلف بر راندمان تبدیل، زمان خشک شدن و درصد شکستگی برنج، تجزیه آماری آزمایش‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای آماری SPSS و STATISTICA 18.0 در قالب آزمایش فاکتوریل سه فاکتوره ۳×۳×۴؛ چهار سطح دمای هوای ورودی (۴۵، ۵۰، ۵۵ و ۶۰ درجه سلسیوس)، سه سطح دبی (۰/۱۲، ۰/۱۴ و ۰/۱۶ متر مکعب بر ثانیه) و سه رقم برنج (طارم، فجر و شیرودی)، بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها هم از آزمون چنددامنه‌ای دانکن استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثر رقم (طارم، فجر و شیرودی)، دما (۴۵، ۵۰، ۵۵ و۶۰ درجه سلسیوس) و دبی هوای ورودی (۰/۱۲، ۰/۱۴ و ۰/۱۶ مترمکعب بر ثانیه) بر خصوصیات تبدیل و زمان خشک شدن شلتوک در جدول ۱ ارایه شده است. نتایج نشان داد که برهمکنش رقم × دما و دما × دبی بر درصد شکستگی در سطح خطای پنج درصد و بر زمان خشک شدن در سطح احتمال یک درصد و برهمکنش رقم × دبی بر راندمان تبدیل در سطح خطای یک درصد معنی‌دار است. با توجه به معنی‌داری برهمکنش‌ها، مقایسه میانگین‌های حاصل از ترکیب این تیمارها (برش‌دهی برهمکنش) بر درصد شکستگی و راندمان تبدیل صورت گرفت (Soltani, 2007). نتایج مقایسه میانگین‌های برهمکنش رقم × دما (جدول ۲) نشان داد که درصد شکستگی ارقام شیرودی و طارم در دماهای ۴۵، ۵۰ و ۵۵ درجه سلسیوس اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند، اما هر دو رقم در دمای ۶۰ درجه سلسیوس نسبت به سایر دماها بیشترین درصد شکستگی را دارند. درصد شکستگی رقم فجر اختلاف معنی‌داری در دماهای ۴۵ و ۵۰ درجه سلسیوس نداشت، اما نسبت به درصد شکستگی در دو دمای ۵۵ و ۶۰ درجه سلسیوس به‌طور معنی‌داری کمتر بود، زیرا افزایش دما باعث ایجاد تنش‌های حرارتی در داخل دانه شده و زمینه ایجاد شکستگی در مراحل بعدی را ایجاد می‌کند. از جمله عواملی که برخرد شدن برنج مؤثراست، تنش‌هایی است که در نتیجه دفع رطوبت در آن ایجاد می‌گردد. چون در خشک‌کن بستر ثابت، دمای حدود ۴۰ درجه سلسیوس برای خشک کردن شلتوک استفاده می‌شود و با توجه به اینکه یکی از مزایای خشک‌کن‌های بستر سیال استفاده از دمای بالا است (Khoshtaqaza *et al.*, 2007)، بنابراین استفاده از دماهای بالا تا یک محدوده معین در خشک‌کن بستر سیال تأثیر معنی‌داری بر درصد شکستگی ندارد، اما با بالا بردن بیش از حد دما درصد شکستگی افزایش می‌یابد. حق‌خواه و مقصودلو (Haghkhah and Maghsoudlou, 2006) نیز در بررسی ارتفاع شلتوک در خشک‌کن و تأثیر دمای خشک‌کن در شکستگی دانه‌های برنج در شالیکوبی‌های گرگان، به نتایج مشابه‌ای دست یافتند. همچنین در بین هر سه رقم مورد آزمایش، رقم فجر در هر چهار سطح دمایی بیشترین میزان شکستگی را داشت که این موضوع به احتمال زیاد به ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی این رقم مربوط می‌شود.

نتایج برهمکنش دما × دبی هوای ورودی بر درصد شکستگی برنج در جدول ۳ ارایه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، درصد شکستگی برنج در هر سه سطح دبی هوای ورودی، در دمای۶۰ درجه سلسیوس اختلاف معنی‌داری با سایر دماها داشته و مقدار بیشتری دارد. چون در دماهای بالاتر خشک کردن در ابتدا خیلی سریع بوده بنابراین تنش‌های گرمایی وارد بر شلتوک افزایش یافته که این موضوع باعث ایجاد ترک و شکستگی دانه می‌شود. در دبی ۰/۱۴ متر مکعب بر ثانیه درصد شکستگی در دماهای ۴۵ و ۵۰ درجه سلسیوس اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشته در حالی که با افزایش دما به ۵۵ درجه سلسیوس درصد شکستگی بطور معنی‌داری افزایش یافته است، همچنین درصد شکستگی در دماهای ۵۵ و ۶۰ درجه سلسیوس اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند. دمای ۶۰ درجه سلسیوس در هر سه سطح دبی در بین چهار دما بیشترین میزان شکستگی را داشته و با سایر دماها اختلاف معنی‌داری دارد، در حالی که در دبی‌های مختلف، میانگین درصد شکستگی در دماهای ۴۵ و ۵۰ درجه سلسیوس با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشته و کمترین درصد شکستگی را دارند. همچنین با افزایش دبی از ۰/۱۲ تا ۰/۱۶ متر مکعب بر ثانیه تغییر معنی‌داری بر میزان درصد شکستگی مشاهده نمی‌شود. به منظور جلوگیری از غیریکنواختی توزیع رطوبت در محصول

خشک شده، باید حجم بالایی از هوا به‌کار گرفته شود و این یکی از مزیت‌های خشک‌کن بستر سیال نسبت به بستر ثابت است. کاشانی نژاد و همکاران (Kashaninejad *et al.*, 2007) نیز اعلام کرده‌اند که دما مهم‌ترین فاکتور مؤثر بر سینتیک خشک کردن است و سرعت و رطوبت نسبی هوا تأثیر کمتری بر تغییرات محتوای رطوبتی نمونه‌ها دارد که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر رقم، دما و دبی هوا بر خصوصیات تبدیل برنج

Table 1. Analysis of variance for the effect of variety, temperature and air rate on milling characteristic of rice

			میانگین مربعات Mean of square		
Sources of variation	منابع تغییرات	درجه آزادی df	راندمان تبدیل Milling recovery	درصد شکستگی Broken percent	زمان خشک شدن Drying time
Variety (V)	رقم	2	20.70**	4369.503**	23.618**
Temperature (T)	دما	3	1.375**	2006.405**	350.370**
Air rate (R)	دبی	2	4.608**	47.247^{ns}	8.253**
V × T	رقم × دما	6	0.095^{ns}	69.444*	0.852**
V × R	رقم × دبی	4	1.183**	1.133^{ns}	0.030^{ns}
T × R	دما × دبی	6	0.207^{ns}	54.199*	0.548**
V × T × R	رقم× دما × دبی	12	0.468*	20.454^{ns}	0.299*
Error	خطای آزمایش	72	0.207	24.257	0.135
CV (%)	ضریب تغییرات (درصد)	-	0.63	18.36	3.71

^{ns}، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ ٪ و ۱ ٪.

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۲- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل رقم و دما بر درصد شکستگی برنج

Table 2. Means comparison of interactive effect of variety and temperature on the broken percent of rice

برش‌دهی اثرات متقابل Cutting interaction effects			
Variety	رقم	دما (درجه سلسیوس) Temperature (°C)	درصد شکستگی Broken percent
Shirudi	شیرودی	45	17.90±7.30^{b}
		50	14.07±1.38^{b}
		55	19.10±2.77^{b}
		60	35.97±6.50^{a}
Fajr	فجر	45	31.41±6.18^{c}
		50	31.77±3.10^{c}
		55	43.30±5.06^{b}
		60	51.36±5.89^{a}
Tarom	طارم	45	13.37±5.55^{b}
		50	14.72±1.61^{b}
		55	19.82±3.38^{b}
		60	29.06±6.63^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون، تفاوت معنی‌داری با آزمون دانکن ندارند.

Means followed by similar letters in each column have not significant differences by Duncan's test.

نتایج مقایسه میانگین برهمکنش رقم و دما بر زمان خشک شدن (شکل ۳) نشان داد که بین زمان خشک شدن هر سه رقم در هر چهار سطح دمای مورد آزمایش اختلاف معنی‌داری وجود دارد. به طوری که با افزایش دما از ۴۵ به ۶۰ درجه سلسیوس زمان خشک شدن بطور معنی‌داری از ۱۴/۷ به ۶/۵ ساعت برای رقم شیرودی، از ۱۲/۷ به ۴/۸ ساعت برای رقم *فجر* و از ۱۳/۵ به ۶ ساعت برای رقم *طارم* کاهش یافت. بنابراین، کمترین زمان خشک شدن برای هر سه رقم مربوط به دمای ۶۰ درجه سلسیوس می‌باشد و زمان خشک شدن هر سه رقم در دمای ۴۵ درجه سلسیوس بیشتر از سه دمای دیگر است. در حالت کلی زمان خشک شدن شلتوک با افزایش دما به علت افزایش گرادیان حرارتی در داخل دانه‌ها و در نتیجه افزایش سرعت تبخیر رطوبت محصول کاهش می‌یابد. نتایج مشابه در مطالعات خدادادی و همکاران (Khodadadi *et al.*, 2013) در طول فرآیند خشک کردن گزارش شده است.

مقایسه میانگین برهمکنش دبی × دما بر زمان خشک شدن شلتوک در شکل ۴ ارایه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بین زمان خشک شدن در دبی هوای ۰/۱۲ و ۰/۱۶ در دو سطح دمایی ۵۵ و ۶۰ درجه سلسیوس اختلاف معنی‌داری وجود داشت، به‌طوری‌که با افزایش دبی از ۰/۱۲ تا ۰/۱۶ در دمای ۵۵ درجه سلسیوس زمان خشک شدن از ۸/۶۸ به ۷/۱۳ ساعت و در دمای ۶۰ درجه سلسیوس از ۶/۳۷ به ۵/۳۷ ساعت کاهش یافت. با افزایش دبی هوای ورودی، به‌دلیل افزایش سطح تماس دانه‌ها با هوا، سرعت تبخیر افزایش و زمان خشک شدن به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. همچنین تغییرات زمان خشک شدن در دماهای ۴۵ و ۵۰ درجه سلسیوس در هر سه سطح دبی معنی‌دار نبوده است.

با توجه به اینکه تمامی نمونه‌ها تا یک سطح رطوبتی نهایی ثابتی خشک شدند، در صورت یکسان بودن دمای هوای ورودی برای تمامی تیمارها، افزایش سرعت جریان هوا باعث کاهش معنی‌داری در زمان خشک شدن شلتوک شده است، به‌طوری‌که افزایش دما و یا افزایش سرعت جریان هوا هر یک به تنهایی و در وضعیتی که سایر شرایط ثابت باشد، منجر به افزایش مقدار نرخ یا سرعت خشک شدن می‌شود. نتایج مشابه‌ای توسط دویماز (Doymaz, 2004) و خوش‌تقاضا و همکاران (Khoshtaqaza *et al.*,2007) گزارش شده است.

برای هر سه رقم مورد بررسی، بیشترین میزان شکستگی دانه‌های برنج در دمای ۶۰ درجه سلسیوس رخ داد. درصد شکستگی رقم فجر خشک شده در دمای ۶۰ درجه سلسیوس (۵۱/۳۶ درصد) نسبت به دو رقم دیگر بیشترین مقدار بود.

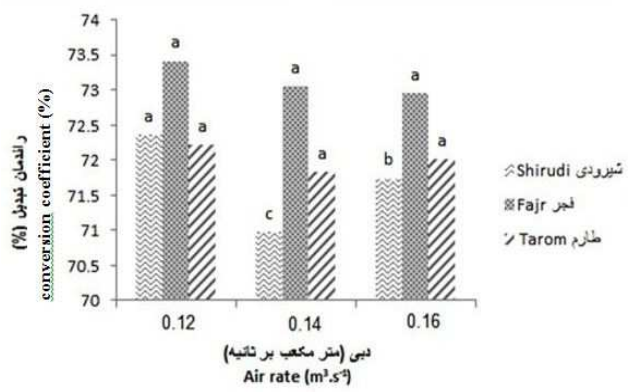
جدول ۳- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل دما و دبی بر درصد شکستگی برنج

Table 3. Means comparison of interactive effect of temperature and air rate on the broken rice

برش‌دهی اثرات متقابل Cutting interaction effects		
دبی (متر مکعب بر ثانیه) Air rate ($m^3.s^{-1}$)	دما (درجه سلسیوس) Temperature (°C)	درصد شکستگی Broken percent
0.12	45	17.17±8.20[c]
	50	19.17±8.20[c]
	55	25.61±12.30[b]
	60	40.05±11.35[a]
0.14	45	23.41±8.30[b]
	50	20.80±9.22[b]
	55	29.89±13.66[a]
	60	35.81±13.56[a]
0.16	45	22.10±12.65[c]
	50	20.59±9.30[c]
	55	26.72±11.06[b]
	60	40.54±9.28[a]

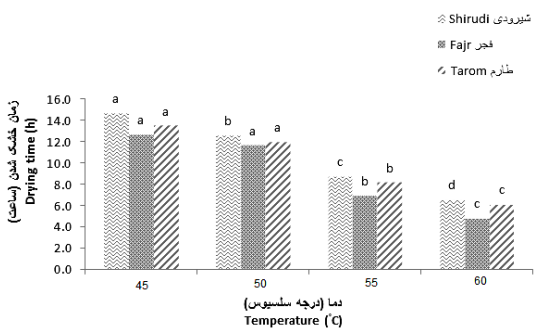
میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون، تفاوت معنی‌داری با آزمون دانکن ندارند.

Means followed by similar letters in each column have not significant differences by Duncan's test.



شکل ۲- راندمان تبدیل سه رقم شلتوک در دبی‌های مختلف

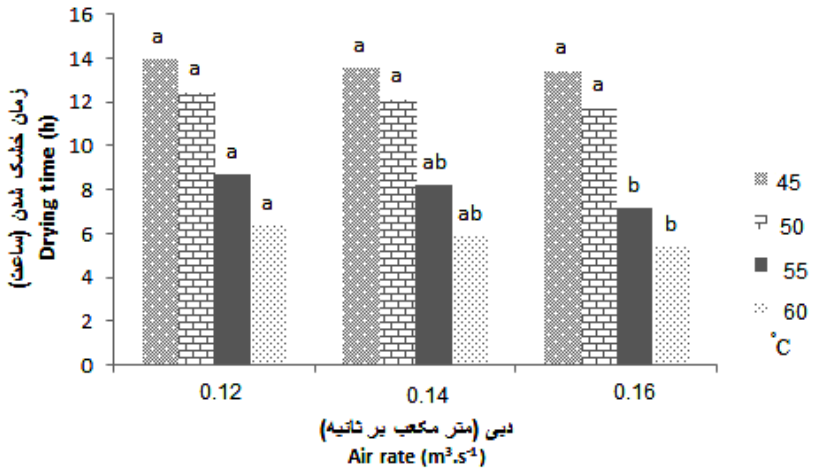
Figure 2. The conversion coefficient of three paddy variety at different air rates



شکل ۳- میانگین زمان خشک شدن در دماها و ارقام مختلف

Figure 3. Average of drying time at the different variety and temperature

تغییرات دبی هوای ورودی اثر معنی‌داری بر درصد شکستگی نداشت. بنابراین به‌منظور صرفه‌جویی در زمان خشک شدن، می‌توان به جای افزایش دما تا یک محدوده معینی از سرعت بیشتر جریان هوا استفاده کرد که این از مزیت‌های مهم خشک‌کن بسترسیال نسبت به بستر ثابت می‌باشد که باعث یکنواختی توزیع رطوبت در محصول می‌شود. خشک کردن شلتوک رقم شیرودی در دبی هوای ۰/۱۲ متر مکعب بر ثانیه منجر به دست‌یابی بیشترین راندمان تبدیل (۷۲/۳۷ درصد) شد، در حالی‌که راندمان تبدیل در هر یک از سطوح دبی برای ارقام طارم و فجر تقریباً یکسان بود. افزایش دبی هوای ورودی از ۰/۱۲ تا ۰/۱۶ در دو سطح دمایی ۵۵ و ۶۰ درجه سلسیوس باعث کاهش زمان خشک شدن شد. در دمای ۵۵ درجه سلسیوس زمان خشک شدن در دبی ۰/۱۲ تا ۰/۱۶ از ۸/۶۸ به ۷/۱۳ ساعت و در دمای ۶۰ درجه سلسیوس از ۶/۳۷ به ۵/۳۷ ساعت کاهش یافت.



شکل ۴- متوسط زمان خشک شدن در دبی‌ها و دماهای مختلف

Figure 4. Average of drying time at the different temperature and air rate

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که اثر دما بر درصد شکستگی دانه‌ها، راندمان تبدیل و زمان خشک شدن معنی‌دار بود، اما دبی هوای ورودی به خشک‌کن بر درصد شکستگی دانه‌ها اثر معنی‌داری نداشت. علاوه بر آن، تغییرات دما تأثیر بیشتری بر زمان خشک شدن دانه‌ها نسبت به تغییرات دبی هوا داشت و از این‌رو به‌منظور صرفه‌جویی در زمان خشک شدن، می‌توان به جای افزایش دما تا یک محدوده معینی از سرعت بیشتر جریان هوا استفاده کرد. در مجموع با توجه به وجود برهمکنش معنی‌دار بین رقم با دما و دبی بر خصوصیات فیزیکی دانه برنج، توصیه می‌شود دبی و به‌ویژه دمای مناسب خشک شدن هر رقم جهت دستیابی به بهترین نتیجه یعنی درصد دانه‌های شکسته کمتر و راندمان تبدیل بیشتر تعیین شود.

References

Abdelmotaleb, A., El-Kholy, M. M., Abou-El-Hana, H. and Younis, M. A. 2009. Thin layer drying garlic slices using convection and (convection- infrared) heating modes. **Journal of Agriculture Engineering** 29 (1): 181-251.

ASAE 2000. Moisture measurement-unground grain and seeds in ASAE standards 2000. St. Joseph, MI.

Chouw, I. and Athapol, N. 2001. Effect of drying air temperature ang grain temperature of different types of dryer and operation on rice quality. **Drying Technology** 19 (2): 389-404.

Doymaz, I. 2004. Convective air drying characteristics of thin layer carrots. **Journal of Agriculture Engineering** 61: 359-364.

Faraji, F., Esfahani, M., Kavousi, M., Nahvi, M. and Rabiei, B. 2011. Effect of nitrogen fertilizer application on grain yield and milling recovery of rice (*Oryza sativa* cv. Khazar). **Iranian Journal of Crop Sciences** 13 (1): 61-77. (In Persian with English Abstract).

Hagh-Khah, A. and Maghsoudlou, E. 2006. Study of the paddy height on dryer and the effect of drying temperature on fracture grain of rice in Gorgan Shalikoubi. Proceedings of 16th National Congress of Iran Food Industry (1st Regional Congress). Gorgan, Iran. (In persian).

Hedayatipour, A. and Rahmati, M. H. 2007. Study the Effect of dryer temperature and moisture content of paddy on broken percent and milling yield in high varieties of Mazandaran province. **Journal of Agriculture Science and Natural Research** 13 (6): 93-97. (In Persian with English Abstract).

Kashaninejad, M., Mortazavi, A., Safekordi, A. and Tabil, L. G. 2007. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. **Jornal of Food Engineering** 78 (1): 98-108.

Khodadadi, M., Rahmati, M. H., Alizadeh, M. R. and Rezaei-Asl, A. 2013. Investigation on effective factors in drying time of Iranian rice varieties in fludized bed dryer. **International Journal of Agriculture and Crop Science** 5 (24): 2934-2938.

Khoshtaqaza, M. H., Sadeghi, M. and 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 Persian with English Abstract).

Malekjani, N. 2011. Design and modeling of a laboratory scale fluidized bed canola dryer and evaluation of oilseeds quality attributes. M. Sc. Dissertation. Faculty of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. (In Persian).

McCabe, W. L., Smith, J. C. and Harriott, P. 1985. Unit operations of chemical engineering (4th ed). Singapore, McGraw-Hill Book Co.

Mo, Y. W., Wang, Z., Liang, G. B., Qian, S. Q., Chen, G. and Gu, Y. J. 2004. Effects of various nitrogenapplications on the quality of the progeny seedlings in rice. **Europe PubMed Central** 30 (3): 227-231.

Mohadesi, M., Bakhshi-Poor, S., Abbasian, A., Sattari, M. and Mohammad-Salehi, M. 2013. Study on adaptability, quality and quantity characters of rice genotypes in Mazandaran. **Journal of Plant Production** 20 (2): 19-36. (In Persian with English Abstract).

Mohajeran, S. H., Khoshtaghaza, M. H. and 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 Persian with English Abstract).

Mondoza, E. E. and Rigor, A. C. 1983. Quality deterioration in on from level of operation. Naphir project. Research Reports of Food Termin. Manila, Philippnes.

Sabouri, S. and Roufighari-Haghighat, Sh. 2012. Study of the effect of storage temperature on the quality of brown rice over white process. **Iranian Journal of Biosystems Engineering** 43 (2): 187-192. (In Persian with English Abstract).

Sahay, K. M. and Singh, K. K. 1994. Unit operations of agricultural processing. Vikas Publishing House PVT Ltd. N. D.

Soltani, A. 2007. Application of SAS software in statistical analysis. Jihad Daneshgahi Mashhad Press. (In persian).

Uckan, G. and Ulku, S. 1986. Drying of grains in a batch fluidized bed dryer. In: Majumdar. N. D. (Ed.). Drying of Solids: Recent international developments. Wiley Eastern Ltd.

Wang, Z., GU, Y. J., Chen, G., Xiong, F. and Li, Y. X. 2003. Rice quality and its affecting factors. **Europe PubMed Central** 1 (2): 231-241.

Yadollahinia, A. R. 2006. Dryer modeling of a thin layer for drying of paddy. M. Sc. Dissertation. Faculty of Agriculture, Tehran University, Karaj, Iran. (In persian).

University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

Cereal Research
Vol. 6, No. 3, Automn 2016 (385-395)

Effect of air flow rate and air temperature on milling characteristics and drying time of three paddy varieties in closed cycle fluidized bed dryer

Vali Kelikanlou[1], Mohammad Hashem Rahmati[2], Mohammad Reza Alizadeh[3*] and Roghayeh Pourbagher[1]

Received: October 20, 2015 Accepted: December 2, 2015

Abstract

In this research, the effect of air temperature and and air flow rate was investigated on the broken grains percent, milling recovery and paddy drying time of three rice varieties dried in fluidized bed dryer. The experiment was carried out as factorial in completely randomized design with three replications and the experimental factors were including air temperature at four levels (45, 50, 55 and 60 °C), air flow rate at three levels (0.12, 0.14 and 0.16 $m^3.s^{-1}$) and three rice varieties (Tarom, Fajr and Shirudi). Results indicated that increasing temperature from 55 to 60°C increased the broken grains percent of Shirudi, Fajr and Tarom from 19.10 to 35.97%, 43.30 to 51.36% and 19.82 to 29.06%, respectively. The lowest broken percent (17.17%) was obtained from the air rate 0.12 $m^3.s^{-1}$ and the temperature 45°C and the highest broken percent (40.54%) was registered from the rate 0.16 $m^3.s^{-1}$ and the temperature 60°C. The milling recovery of Shirudi variety at the air rate 0.12 to 0.16 $m^3.s^{-1}$ decreased from 72.37% to 71.74%, but in Fajr and Tarom varieties was not observed significant variation in the milling recovery. Increasing the air temperature from 45 to 60°C at the rate 0.16 $m^3.s^{-1}$ reduced drying time from 13.45 to 5.37 h, respectively, however increasing the air rate from 0.12 to 0.16 $m^3.s^{-1}$ at the air temperature 60°C reduced drying time only from 6.37 to 5.37 h.

Keywords: Air flow rate, Drying temperature, Fluidized bed dryer, Paddy milling

1. M. Sc. Graduated, Dept. of Biosystems Mechanic Engineering, Gorgan University of Agriculture and Natural Resources, Gorgan, Iran
2. Assoc. Prof., Dept. of Biosystems Mechanic Engineering, Gorgan University of Agriculture and Natural Resources, Gorgan, Iran
3. Research Assoc. Prof., Dept. of Engineering and Technical Research, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran
* Corresponding author: alizadeh_mohammadreza@yahoo.com