تحقیقات سامانه‌ها و مکانیزاسیون کشاورزی/جلد ۲۱/ شماره ۷۴/ بهار و تابستان ۱۳۹۹/ص ۳۶-۱۹

مقاله پژوهشی

تأثیر خشک‌کن دوار بر خشـــک کردن شلتوک رقم هاشمی و کیفیت فراوری برنج

حمیدرضا گازر[1*] و محمدرضا علیزاده[2]

۱- عضو هیات علمی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۲- عضو هیات علمی موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۹/۲۸

چکیده

دو مشکل مهم در خشـــک کـردن بـرنج، یکـی مصـرف بـالای انـرژی و دیگـری غیـر یکنـواختی خشـک شـدن شـلتوک در خشـک‌کن‌های خوابیـدهٔ رایـج اسـت کـه شـانس شکسـتگی دانـه را در مراحـل فـراوری بـرنج افـزایش می‌دهـد. در ایـن مقالـه، عملکـرد یـک دسـتگاه خشـک‌کن دوار جدیـد سـاخته شـده در کارخانـهٔ شـالی‌کوبی بـرادران زارع بـا خشک‌کن رایج برنج (خشک‌کن خوابیده) بـرای خشـــک کـردن شـلتوک رقـم هاشـمی ارزیـابی شـده اسـت. عـلاوه بـر شـاخص‌های مـدت‌زمان خشـــک کـردن، رونـد تغییـرات رطوبـت شـلتوک و میـزان انـرژی مصـرف شـده در فراینـد خشـــک کـردن، تـأثیر کـاربرد هـر یـک از خشـک‌کن‌ها بـر شـاخص‌های کیفـی رانـدمان تبـدیل، درصـد پوسـت‌کنی شلتوک، راندمان تبدیل برنج کامل و درصد شکستگی دانـه هـا نیـز بررسـی شـده اسـت. نتـایج نشـان مـی‌دهـد بـه‌دلیـل گرمـای محـیط قرارگیـری خشـک‌کن خوابیـده، کـاربرد ایـن خشـک‌کن موجـب کـاهش مـدت‌زمان خشـــک کـردن در حدود ۹ درصد و صرفه‌جویی در مصرف انـرژی تـا ۸/۹ درصـد شـده اسـت. انـرژی ویـژه مصـرفی بـرای تبخیـر رطوبـت شلتوک در خشـک‌کن خوابیـده نیـز ۱۳/۵ مگـا ژول بـر کیلـوگرم آب تبخیـر شـده بـه‌دسـت آمـده کـه حـدود ۱۱ درصـد نسبت بـه خشـک‌کن دوار کمتـر اسـت. بـا اسـتفاده از خشـک‌کن دوار، رانـدمان تبـدیل بـرنج ۳/۸ درصـد بیشـتر شـده اسـت. کـاربرد خشـک‌کن دوار تـأثیر قابـل تـوجهی بـر پوسـت‌کنی شـلتوک خشـک‌شـده نداشـته اسـت. اسـتفاده از خشـک‌کن دوار بـرای خشـــک کـردن شـلتوک، رانـدمان تبـدیل بـرنج کامـل (سـالم) را حـدود ۷/۵ درصـد افـزایش و مقدار خرده برنج را نیز تا حدود ۷/۸ درصد کاهش داده است.

واژه‌های کلیدی

انرژی، پوست‌کنی، تبدیل برنج، خشک‌کن، شکستگی

مقدمه

برنج از محصـولاتی اسـت کـه بسـته بـه رقـم آن و رطوبـت نسـبی محـیط، بـا رطوبـت ۱۶ تـا ۲۸ درصـد بـر پایـهٔ وزنِ تـر برداشـت مـی‌شـود کـه بـرای بـالا بـردن قابلیت نگهـداری یـا امکـان تبـدیل بـه بـرنج سـفید، بایـد رطوبت آن به کمتر از ۱۳ درصد کاهش داده شود. بـرای خشـک کـردن ایـن محصـول، بـه‌خصـوص در منـاطقی بـا رطوبـت نسـبی بـالا، از سیسـتم‌هـای خشک‌کن حرارتـی اسـتفاده مـی‌شـود. بـرای ایـن منظـور جریان هـوای گـرم از بسـتر محصـول عبـور داده می‌شـود تـا مقـدار رطوبـت آن سـریع‌تر کاسـته شـود و بـه حـد مورد نظر برسد (Teter, 1987).

* نگارنده مسئول: Email: hgazor@yahoo.com

http://doi: 10.22092/erams.2018.120173.1235

عواملی که باعث تولید ضایعات در تبدیل برنج می‌شوند یکی عامل دستگاهی و دیگری خصوصیت برنج است. این دو عامل از یکدیگر مستقل نیستند و هریک بر دیگری تأثیرگذاراست (Bhattacharya, 1980).

تحقیقات نشان می‌دهد که برای جلوگیری از تَرَک‌خوردگی و خُرد شدن برنج، بهتر است محصول در دو یا سه مرحله و با دمای حداکثر ۵۰ درجه سلسیوس خشک شود (Peyman, 2003).

در تحقیقات موسوی و همکاران نتیجه‌گیری شده که کنترل دور فن در خشک‌کن خورشیدی می‌تواند محصول را سریع‌تر و به شکلی ثابت‌تر خشک کند و در مدت‌زمانی ثابت، رطوبت نهایی را نسبت به تهویهٔ طبیعی حدود ۸ درصد بیشتر کاهش دهد(Mousavi *et al.*, 2015).

کنت (Kent, 1982) در تحقیقات خود نشان داد که خشک شدن مناسب دانه به رقم، رطوبت اولیهٔ دانه، دمای دانه، دمای محیط، رطوبت نسبی محیط و روش خشک کردن بستگی دارد. چنانچه رطوبت سطحی سریعاً کاهش یابد، به‌دلیل انتقال آب از بخش‌های داخلی دانه به سطح آن، لایه‌های بیرونی چروکیده و منقبض می‌شوند و در اثر به کارگیری دمای بالا طی خشک کردن، انبساط ناشی از فشار درونی با رطوبت‌های مختلف باعث افزایش شکستگی در فرایند تبدیل، به‌ویژه به‌هنگام سفید کردن، می‌گردد.

نتایج بررسی تأثیر تغییرات دما در محدودهٔ ۳۰ تا ۷۰ درجه سلسیوس و سرعت جابه‌جایی هوا در دو سطح ۰/۵ و ۲ متر بر ثانیه در فرایند خشک شدن برنج نشان می‌دهد تأثیر کاربرد دماهای پایین‌تر و رطوبت نهایی شلتوک بر راندمان تبدیل برنج قابل توجه است. حداکثر راندمان برنج سالم در دمای خشک‌کن ۳۰ درجه سلسیوس و شلتوک خشک شده با رطوبت نهایی ۱۴ درصد به‌دست آمده است (Soleymani, 1998).

برای عملیات خشک کردن و فرآوری برنج، اعلام شده است که رطوبت مناسب برای انبارمانی و سفید کردن برنج به‌ترتیب حدود ۱۴ و ۱۲ درصد است و برای جلوگیری از تنش‌های وارد به محصول باید فرایند خشک شدن شلتوک آرام و یکنواخت و در محیطی کنترل شده (کنترل دما و سرعت خشک شدن) باشد (Brooker *et al.*, 1992).

نتایج بررسی فرایند خشک کردن برنج در سه نوع خشک‌کن مخزنی، جریان متقاطع و خشک‌کن جریان موازی T نشان داد که در هر سه خشک‌کن افزایش دما تا ۵۵ درجه سلسیوس تأثیری بر خصوصیات کیفی برنج مانند میزان شکستگی، ترک-خوردگی و رنگ ندارد ولی با افزایش دما، بیشتر از ۶۰ درجه سلسیوس، در خشک‌کن‌های مخزنی میزان ترک خوردگی به‌طور معنی‌داری نسبت به دو خشک‌کن دیگر افزایش می‌یابد (Bakker-Arkema *et al.*, 1983).

فرایند خشک شدن شلتوک‌های دانه‌بلند با رطوبت‌های اولیه ۲۳/۷۶، ۲۶/۰۹ و ۲۸/۱۸ درصد بر مبنای وزن تر آزمایش و تأثیر دما، مدت‌زمان استراحت و تغییرات رطوبت دانه‌ها در محدوده ۳۵، ۴۵ و ۶۵ درجه سلسیوس و میزان رطوبت نسبی هوا نیز ارزیابی شد.

دمای خشک کردن در محدوده ۳۵ و ۴۵ درجه سلسیوس، حداقل ترک‌خوردگی و تلفات دانه را به‌دست داد. همچنین در زمان استراحت دانه‌ها، هوادهی محصول با هوای خشک، به‌منظور حفظ انرژی و نگهداری بهتر، قابل توصیه است (Omar & Yamashita, 1987).

نتایج یک تحقیق نشان داده است که اثر مکان برداشت، میزان رطوبت در زمان برداشت و شرایط هوای خشک کردن بر آهنگ خشک کردن (به‌صورت لایه نازک) انواع برنج دانه‌بلند و دانه متوسط، معنی‌دار است (Reid *et al.*, 1997). بعد از خشک کردن محصول، اگر از یک دوره ۵ روزه برای هوادهی محصول استفاده شود تأثیر چشم‌گیری بر کیفیت برنج خواهد داشت (Basunia & Abe, 1998).

در استان مازندران، فرایند خشک کردن شلتوک در محدودهٔ دمایی ۳۰ تا ۵۵ درجه سلسیوس تا رسیدن رطوبت شلتوک به حدود ۷ تا ۹ درصد در مدت‌زمان ۴۰ تا ۷۰ ساعت طی می‌شود. در این استان، برای خشک کردن یک تن شلتوک به‌طور متوسط حدود ۱۸/۹۹ متر مکعب گاز معادل حدود ۶۸۳/۸ مگا ژول انرژی مصرف می‌شود (Gazor, 2014).

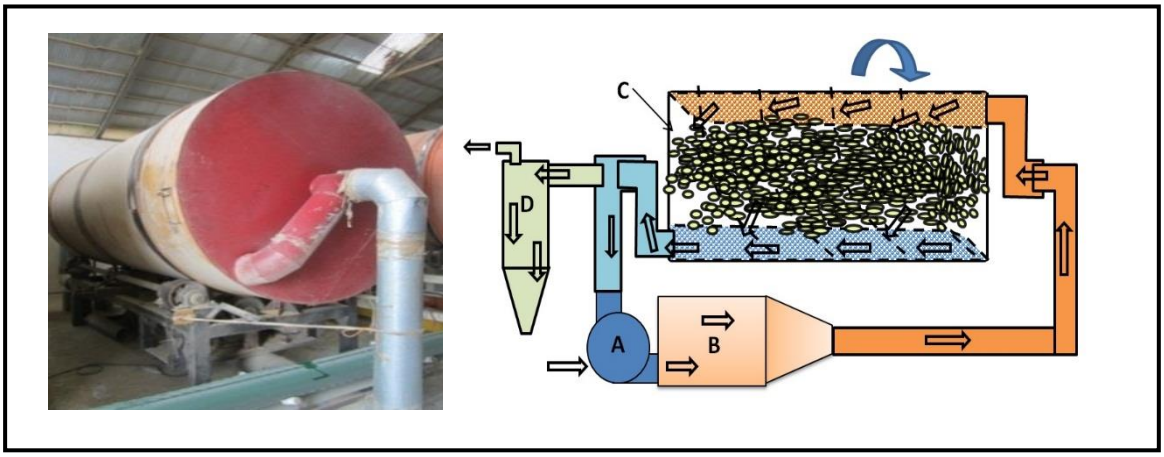
محققان تایلندی تأثیر دماهای مختلف خشک کردن شلتوک (از ۳۰ تا ۷۰°C) را بر کیفیت تبدیل و عطر برنج رقم تایلندی تحقیق و نتیجه‌گیری کردند که خشک شدن شلتوک در دماهای بالاتر از ۵۰ درجه سلسیوس، در مقایسه با دماهای کمتر و خشک کردن آفتابی، باعث می‌شود شکستگی دانه‌ها در فرایند تبدیل تا ۵۰ درصد افزایش یابد (Wongpornchai *et al.*, 2004).

هدف این پژوهش، مقایسهٔ عملکرد و مصرف انرژی یک دستگاه خشک‌کن دوار ساخته شده با عملکرد و مصرف انرژی نمونه‌ای از خشک‌کن‌های رایج برنج (خشک‌کن‌های خوابیده) در استان گیلان و ارزیابی کیفیت تبدیل برنج خشک شده با این دو دستگاه است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در کارخانهٔ شالیکوبی برادران زارع در روستای سنگر و موسسهٔ تحقیقات برنج کشور در استان گیلان اجرا شد. شلتوک مورد استفاده برای آزمایش‌ها رقم هاشمی است. در این مقاله، رطوبت‌های اعلام شدهٔ شلتوک بر پایه تر است. محدودهٔ رطوبت اولیه شلتوک‌ها بین ۱۲ تا ۱۳ درصد (رطوبت انباری شلتوک قبل از فرایند خشک کردن و تبدیل) بود که با خشک کردن، به ۷/۵ تا ۸ درصد رسید.

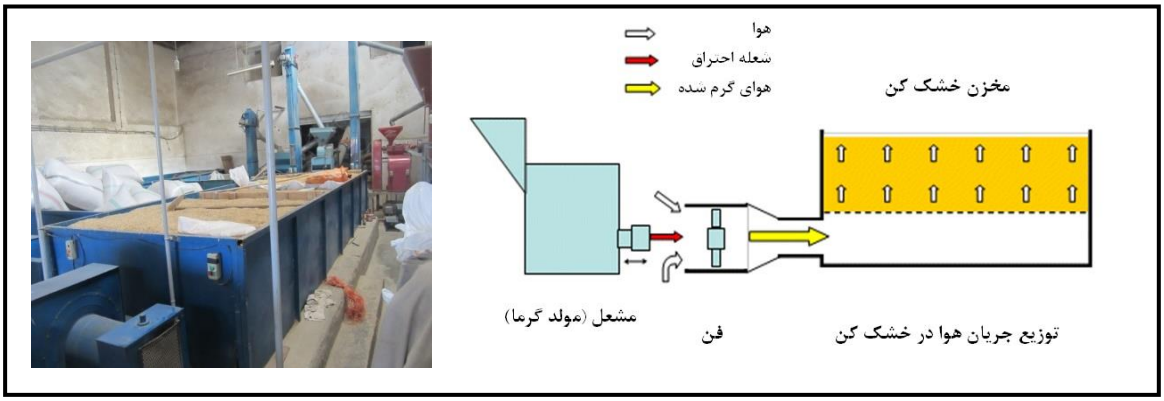
دستگاه‌های خشک‌کن مورد بررسی یک خشک‌کن دوار (شکل۱) ساخته شده و یک خشک‌کن خوابیدهٔ رایج (شکل ۲) بودند. هر دو دستگاه، با ظرفیت ۳ تن شلتوک تر، بارگیری شدند. در خشک‌کن دوار، تا ارتفاع ۹۵ سانتی‌متر (۵۰ درصد قطر مخزن) و در خشک‌کن خوابیده تا ارتفاع ۷۰ سانتی‌متر شلتوک ریخته و محصول با استفاده از هوای گرم ورودی از زیر، خشک می‌شد. سرعت دورانی خشک‌کن دوار با استفاده از یک گیربکس کاهنده، ۱۰ دور در دقیقه تنظیم شد. محدودهٔ دمایی خشک کردن شلتوک در خشک‌کن‌های دوار و خوابیده بین ۳۵ تا ۴۰ درجه سلسیوس در نظر گرفته شد. متوسط سرعت هوا در خشک‌کن خوابیده ۰/۶ متر بر ثانیه و در خشک‌کن دوار ۱ متر بر ثانیه در نظر گرفته شد. سرعت هوا با استفاده از دستگاه سرعت‌سنج سیم داغ شرکت Testo آلمان اندازه‌گیری شد. خشک کردن تا رسیدن شلتوک به رطوبت ۸ درصد ادامه داده شد. مدت خشک شدن شلتوک با اندازه‌گیری روند تغییرات رطوبت در بازه‌های زمانی ۱۸۰ دقیقه‌ای به‌دست آمد.



A: دمنده، B: کورهٔ حرارتی، C: خشک‌کن دوار و شلتوک داخل آن و D: سیکلون خروجی گرد و غبار و کاه و کلش

شکل ۱- دستگاه خشک دوار برای خشک کردن شالی

Fig. 1- Rotary dryer for paddy drying



شکل ۲- خشک‌کن خوابیدهٔ مرسوم در خشک کردن برنج

Fig. 2- Conventional batch dryer for paddy drying

برای اندازه‌گیری تغییرات رطوبت شلتوک، از دستگاه رطوبت‌سنج دیجیتالی شلتوک GMK 303 G-won ساخت کشور کره استفاده شد. این دستگاه قبلاً برای شلتوک، با استفاده از آون تحت شرایط ذکر شده در استاندارد ISO712 کالیبره شده بود (Anon, 2001). تغییرات دما و رطوبت شلتوک در سه لایه (زیرین، میانی و بالایی) در مخزن خشک‌کن خوابیده نیز اندازه‌گیری شد، برای این کار از دماسنج دیجیتال چهار کاناله شرکت Lutron با دقت ۰/۱ درجه سلسیوس و استوانهٔ نمونه‌گیری مخصوص نمونه‌گیری و رطوبت‌سنج پرتابل ذکر شده در سه تکرار و بازه‌های زمانی ۱۸۰ دقیقه‌ای استفاده شد. میزان انرژی مصرف شده برای خشک کردن شلتوک در هر آزمایش با استفاده از جمع انرژی مصرف شدهٔ حرارتی و الکتریکی محاسبه و در نهایت انرژی مصرفی کل بر حسب مگا ژول ارائه شد. برای محاسبهٔ میزان انرژی مصرفی حرارتی و الکتریکی به‌ترتیب از حجم گاز مصرفی و مجموع توان‌های الکتروموتورهای هر دستگاه، در مدت‌زمان هر آزمایش، استفاده شد. پس از آن با توجه به حجم محصول خشک شده در هر آزمایش مقدار انرژی مصرفی برای خشک کردن شلتوک بر حسب مگا

ژول بـر تـن محاسـبه شـد. بـا اسـتفاده از مقـدار آب تبخیر شده (رابطـه ۱) ، مقـدار انـرژی ، مـورد نیـاز بـرای تبخیر رطوبت شـلتوک بـر حسـب مگـا ژول بـر کیلـوگرم آب تبخیـر شـده نیـز در هـردو خشـک‌کن خوابیـده و دوار محاسـبه شـد (Soponronnarit & Chinsakoltanakorn, 1986; Jittanit *et al.*, 2010; Billiris, 2013)

$$m_w = \frac{m_r \times (MC_i - MC_f)}{100 - MC_f} \qquad (۱)$$

که در آن،

m_w = جـرم رطوبـت تبخیـر شـده (کیلـوگرم)؛ m_r = جـرم شـلتوک خشـک شـده (کیلـوگرم)؛ MC_i = متوسـط رطوبـت شـلتوک وارد شـده بـه خشـک‌کن (*w.b.*, %)؛ MC_f = متوسـط رطوبـت شـلتوک خـارج شـده از خشک‌کن (w.b., %).

شـاخص‌های کیفـی بررسـی شـده در شـلتوک‌هـای خشـک شـده نیـز عبـارت‌انـد از: درصـد پوسـت‌کنی شـلتوک، رانـدمان تبـدیل، رانـدمان تبـدیل بـرنج سـفید سالم و درصد شکسـتگی بـرنج سـفید. بـرای انـدازه‌گیـری این شـاخص‌هـا از روش‌هـای اسـتاندارد، تحقیقـات قبلـی و امکانـات آزمایشـگاهی موسسـهٔ تحقیقـات بـرنج کشـور در رشـت اسـتفاده شـد (Anon, 2001; Peyman, 2003). وزن نمونـه‌هـای مـورد آزمـایش ۱۵۰ گـرم در نظر گرفته شـد. بـرای تبـدیل شـلتوک بـه بـرنج قهـوه‌ای و بـرنج سـفید، بـه‌ترتیـب از دسـتگاه‌های آزمایشـگاهی پوسـت‌کن مـدل THU و سـفیدکن مـدل TMU05 شـرکت سـاتاکه ژاپـن اسـتفاده شـد (Khostaghaza, *et al.*, 2002; Habibi & Yahyazadeh, 2015) آزمـایش‌هـای ارزیـابی مـدت‌زمان خشـک شـدن، مقـدارانرژی مصـرفی و شـاخص‌های کیفـی در سـه تکـرار دنبـال و نتـایج آزمـایش‌هـا بـا اسـتفاده از آزمـون T-student در سـطح احتمـال ۵ درصـد تجزیـه و تحلیـل شد.

نتایج و بحث

نتـایج آزمـون تی‌تسـت و مقایسـهٔ میانگین‌هـای مـدت‌زمان و مقـدارانرژی مصـرف شـده بـرای خشـک کـردن شـلتوک رقـم هاشـمی در خشـک‌کن‌ها در جـدول‌هـای ۱ و ۲ ارائـه شـده است.

جدول ۱- نتایج آزمون تی‌تست برای مقایسهٔ مدت‌زمان و مقدار مصرف انرژی برای خشـک کردن شلتوک‌هاشمی

Table 1- T test result for comparison of paddy drying time and energy consumption

شاخص های ارزیابی Parameters	درجه آزادی df	مقدار t t -Value	انحراف معیار داده ها در خشک‌کن دوار Standard deviation in rotary dryer	انحراف معیار داده ها در خشک‌کن خوابیده Standard deviation in batch dryer
مدت‌زمان خشـک کردن Drying time	4	4.02 *	0.28	0.59
انرژی خشـک کردن Energy consumption	4	7.18 **	15.65	1.66
انرژی ویژه تبخیر رطوبت Specific energy consumption for drying	4	6.10 **	0.36	0.26

** اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد * اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد

** Significant difference (at level 1%), *Significant difference (at level 5%)

در جدول ۱ مشخص است خشک‌کن‌های دوار و خوابیده از لحاظ مدت‌زمان خشک کردن شلتوک دارای اختلاف معنی‌داری هستند. مقایسهٔ میانگین داده‌ها نیز نشان می‌دهد که خشک‌کن خوابیده نسبت به خشک‌کن دوار مدت‌زمان خشک کردن شلتوک را حدود ۹ درصد کاهش داده است. علت بروز این پدیده، قرارگیری خشک‌کن‌های خوابیده در محیطی گرم با دمای ۳۲-۳۰ درجه سلسیوس است که فرایند خشک شدن شلتوک داده است. اما خشک‌کن دوار در دمای محیط ۲۵ درجه سلسیوس قرار داشت؛ یکنواختی هوادهی به محصول در خشک‌کن دوار، در مقایسه با خشک‌کن خوابیده، بیشتر بوده است و همین موضوع می‌تواند موجب شود تا در شرایط یکسان، خشک‌کن دوار کمی زودتر شلتوک را خشک کند. به‌رغم هوادهی بهتر شلتوک-ها در خشک‌کن‌های دوار که شلتوک با یکنواختی بیشتری در آن خشک می‌شود، به‌دلیل تأثیر هوای گرم پیرامون خشک‌کن زمینی زمان خشک شدن شلتوک‌ها در این نوع خشک‌کن کمی کمتر است (جدول ۲). در خشک‌کن‌های خوابیده، به‌دلیل تجمع شلتوک روی یکدیگر، گردش مناسب هوا در لابلای دانه‌ها میسر نیست و به‌دنبال آن سرعت انتقال گرما به دانه‌ها و خروج رطوبت از آنها کم است. قبلاً تأثیر بهینهٔ مقدار هوادهی و تغییرات دما بر مدت‌زمان خشک شدن شلتوک بررسی و نتیجه‌گیری شده بود که این دو عامل در کاهش مدت‌زمان فرایند مؤثرند (Kiyanmehr *et. al*, 2001).

جدول ۲- مقایسهٔ میانگین مدت‌زمان و انرژی مصرفی برای خشک کردن شلتوک‌هاشمی

Table 2- Means comparison of paddy drying time and energy consumption

شاخص های ارزیابی Evaluation parameters	خشک‌کن دوار Rotary dryer	خشک‌کن خوابیده Batch dryer	میزان اختلاف Difference
مدت‌زمان خشک کردن (ساعت) Drying time (h)	16.67	15.17 [b]	1.5
انرژی خشک کردن (مگاژول بر تن) Energy consumption (MJ/ton)	911.34 [a]	830.41 [b]	80.93
انرژی ویژه تبخیر رطوبت (مگاژول بر کیلوگرم آب تبخیر شده) Specific energy consumption for drying(MJ/KgH_2O)	15.17 [a]	13.51 [b]	1.66

* اعداد دارای حروف متفاوت در هر ردیف، در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار دارند.

* Difference letters show significantly difference at level 5%

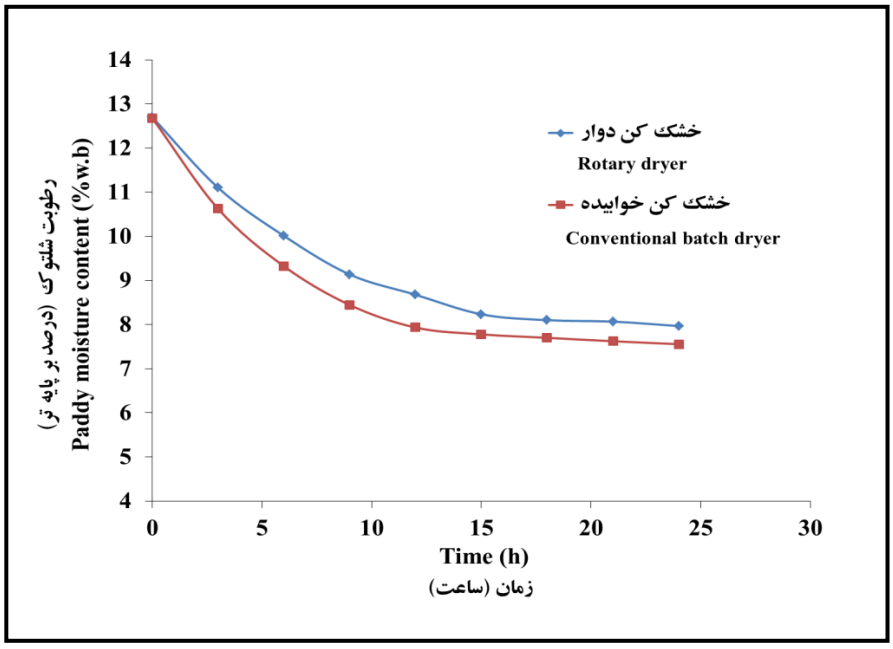
در جدول‌های ۱ و ۲ دیده می‌شود میزان انرژی مصرف شده برای خشک کردن یک تن شلتوک در هر دو خشک‌کن اختلاف بسیار معنی‌داری با یکدیگر دارد و مقدار انرژی لازم برای خشک کردن هر تن شلتوک در خشک‌کن خوابیده ۸/۹ درصد کمتر است تا در خشک‌کن دوار. در واقع، در خشک‌کن خوابیده برای تبخیر هر کیلوگرم آب از شلتوک ۱/۷ مگاژول کمتر انرژی مصرف می‌شود. دلیل این موضوع قرارگیری خشک‌کن‌های خوابیده در محیطی گرم است که در بالا به تفصیل توضیح داده شد. در استان

مازنـدران، متوسـط مقـدارانرژی مصـرفی بـرای خشـــک کردن هر تن شـلتوک انبـار شـده (بـا رطوبـت ۱۳ تـا ۱۵ درصد) در خشـک‌کن‌هـای خوابیـدۀ متوسـط (بـا ظرفیـت ۴ تـن)، حـدود ۶۸۳/۸ مگـا ژول اسـت (Gazor, 2014)؛ با توجه به سطح رطوبـت اولیـۀ شـلتوک، نتـایج بـه‌دسـت آمـده از تحقیـق حاضـر بـا نتـایج تحقیـق در مازنـدران همخـوانی دارد. نتـایج ایـن تحقیـق همچنـین نشـان مـی‌دهـد مقـدار انـرژی ویـژه مصـرفی بـرای تبخیـر رطوبـت شـلتوک در خشـک‌کن دوار حـدود ۱۱ درصـد بیشـتر اسـت تـا در خشـک‌کن خوابیـده (جـدول ۲). دلیـل ایـن موضـوع نیـز محـیط گـرم محـل قرارگیـری خشـک‌کن‌هـای خوابیـده اسـت کـه موجـب افـزایش سرعت خشـک کـردن شـلتوک نسـبت شـده اسـت. امـا در شـــرایط مســـاوی، اســـتفاده از خشـــک‌کن دوار بهینـه‌سـازی مصـرف انـرژی را بـه‌دنبـال خواهـد داشـت زیـرا تهویـه را مناسـب‌تـر مـی‌کنـد، یکنـواختی بیشـتری در خشـــک کـردن بـه‌وجـود مـی‌آورد و سـرعت خشـک شدن شلتوک را افزایش می‌دهد.

محققـان نشـان داده‌انـد کـه هرچـه رطوبـت اولیـۀ شـلتوک بیشـتر باشـد میـزان متوسـط انـرژی ویـژه مصـرفی در فراینـد خشـــک کـردن کمتـر خواهـد بـود، بـه‌طـوری‌کـه انـرژی ویـژه تبخیـر رطوبـت شـلتوک در خشک‌کن‌هـای تـک مرحلـه‌ای یـا دو مرحلـه‌ای از سـطح رطوبـت ۱۸ درصـد تـا ۱۲ درصـد در محـدوده ۲/۸۸ تـا ۴/۴۲ مگـاژول بـر کیلـوگرم آب تبخیـر شـده تغییـر می‌کنـد (Soponronnarit & Chinsakoltanakorn, 1986; Jittanit *et al.*, 2010).

بـرای خشـــک کـردن شـلتوک دارای رطوبـت اولیـۀ ۱۶/۶ تـا ۲۱/۷ درصـــد اسـت در خشـــــک‌کن‌های مخزنـی جریـان متقـاطع مزرعـه‌ای نیـز مصـرف انـرژی ویـژه تبخیـر رطوبـت بـین ۲/۸۴ تـا ۵/۳۱ مگـا ژول بـر کیلـوگرم آب تبخیـر شـده اسـت (Billiris, 2013).

رونـد تغییـرات رطوبـت شـلتوک حـین فراینـد خشـــک شـــدن در خشـــک‌کن‌های دوار و خوابیـــده در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳- روند تغییرات رطوبت شلتوک در فرایند خشک شدن

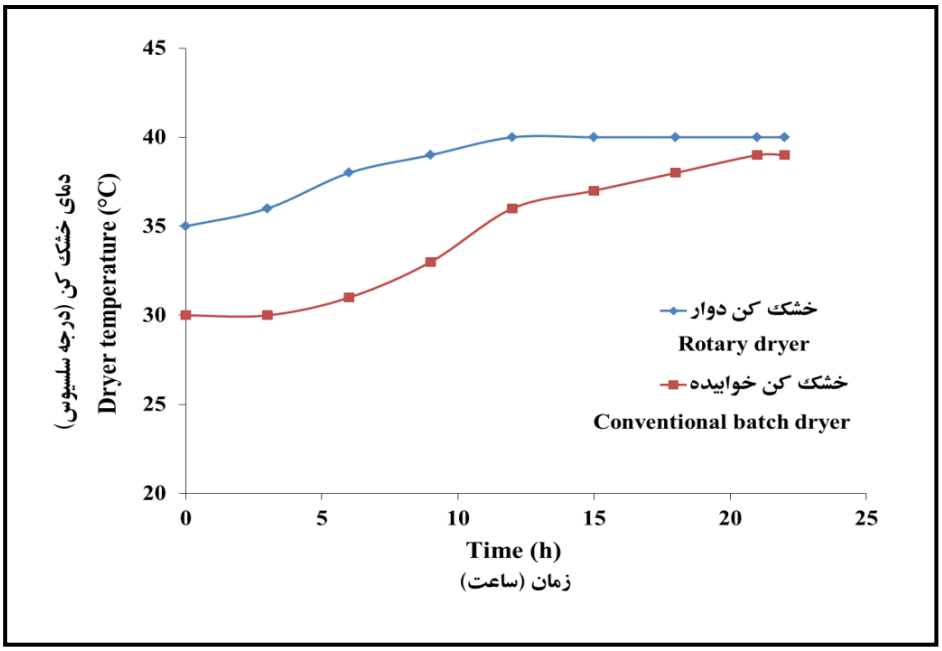
Fig. 3- Paddy moisture content trend during drying process

در شکل ۳ دیده می‌شود که روند تغییرات رطوبت شلتوک در خشک‌کن‌های خوابیده در سطح پایین‌تری از خشک‌کن‌های دوار قرار دارد و شلتوک کمی بیشتر خشک شده است. این اختلاف در طول فرایند معمولاً کمتر از ۰/۵ درصد و دلیل آن محدود بودن سرعت نفوذ رطوبت در لایه‌های دانهٔ شلتوک و برگشت تدریجی هوای گرم خروجی به داخل خشک‌کن دوار است.

دمای بالای محیط خشک‌کن‌های خوابیده، انرژی بیشتری را برای جذب رطوبت از دانه‌ها تأمین می‌کند. خشک شدن شدید شلتوک می‌تواند در فرایند تبدیل شلتوک به برنج میزان ضایعات را بالا بَرَد و درصد خرده برنج را افزایش دهد. این موضوع در تحقیقات قبلی نیز گزارش شده است.

(Bakker-Arkema *et al.*, 1983; Soleymani, 1998; Khostaghaza, *et al.*, 2002; Wongpornchai *et al.*, 2004).

نتایج تحقیق نشان می‌دهد هنگامی که رطوبت شلتوک‌هاشمی در حدود ۱۲ تا ۱۳ درصد باشد، حداکثر ۱۵تا ۱۶ ساعت زمان برای خشک شدن شلتوک تا سطح رطوبت ۸ درصد کافی خواهد بود. از این‌رو در خشک‌کن‌های خوابیده شلتوک بین ۴/۵ تا ۶ ساعت بیشتر نگه داشته می‌شود بدون آنکه تغییر قابل توجهی در میزان رطوبت دانه‌ها مشاهده شود. اضافه ماندن شلتوک در خشک‌کن‌های کارخانه‌های تبدیل برنج استان مازندران در تحقیقات قبلی نیز گزارش شده است (Gazor, 2014). تغییرات دمای خشک‌کن‌ها در مدت‌زمان خشک کردن شلتوک‌هاشمی در شکل ۴ ارائه شده است.

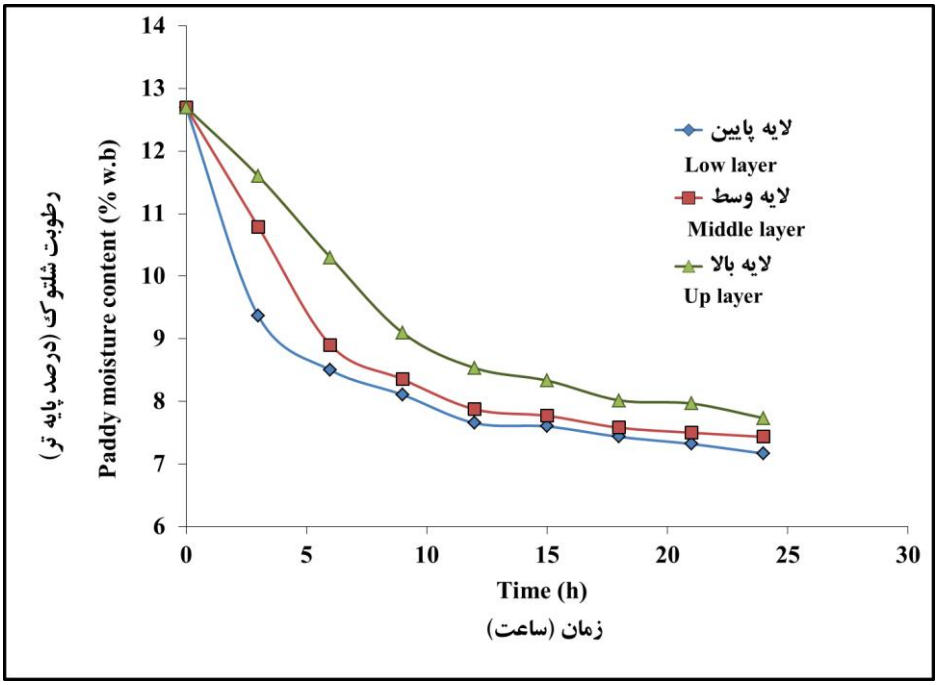


شکل ٤- تغییرات دمای خشک کردن شلتوک در فرایند خشک شدن

Fig. 4- Paddy drying temperature changes in drying process

در شـکل ۴ مشـاهده مـی‌شـود کـه تغییـرات دمـا در خشـــک‌کن دوار، نســـبت بـــه خشـــک‌کن خوابیـــده، در سـطحی بـالاتر قـرار دارد و پـس از تقریبـاً ۶ سـاعت بـه دمـای حـدود ۳۸ تـا ۴۰ درجـه سلسـیوس مـی‌رسـد و پـس از آن تقریبـاً ثابـت مـی‌مانـد. در حـالی‌کـه در خشـک‌کن خوابیـده، شـیب افـزایش دمـا بـه‌تـدریج بـالا مـی‌رود و در اواخـر مراحـل فراینـد بـه حـداکثر مقـدار خود می‌رسد.

در تحقیـق حاضـر بـه دلیـل شـرایط انبارمـانی شـلتوک‌ها و رطوبـت آنهـا (۱۲ تـا ۱۳ درصـد) تـأثیر بـالاتر بـودن سـطح دمـای خشـک‌کن دوار در کـاهش مدت‌زمان فرایند چنـدان مشـخص نیسـت زیـرا بـه دلیـل محـدودیت نفـوذ رطوبـت در لایـه‌های داخلـی دانـهٔ شـلتوک رونـد تغییـرات رطوبـت خیلـی سـرعت نمی‌گیـرد امـا بـه نظـر مـی‌رسـد مزیـت تهویـهٔ خـوب در خشـک‌کن دوار بـرای خشـک کـردن شـلتوک بـا رطوبت‌هـای بـالا بسـیار بااهمیـت باشـد و احتمـالاً در مـدت‌زمانی کوتـاه شـلتوک ورودی بـا رطوبـت بـالا را بـه‌صـورت یکنواخـت خشـک خواهـد کـرد. تحقیقـات قبلی نشان مـی‌دهـد کـه اگـر تهویـه در فراینـد خشـک کـردن شـلتوک خـوب باشـد مـدت‌زمان فراینـد کوتـاه و میـزان ضـایعات تبـدیل بـه طـور چشـم‌گیـر کـاهش مـی‌یابـد (Bakker-Arkema *et al.*, 1983). بـا اسـتفاده از داده‌هـای تحقیقـاتی، رونـد تغییـرات رطوبـت شـلتوک در سـه لایـهٔ زیـرین، میـانی و بـالا در خشـک‌کن‌های خوابیده در شکل ۵ نشان داده شده است.

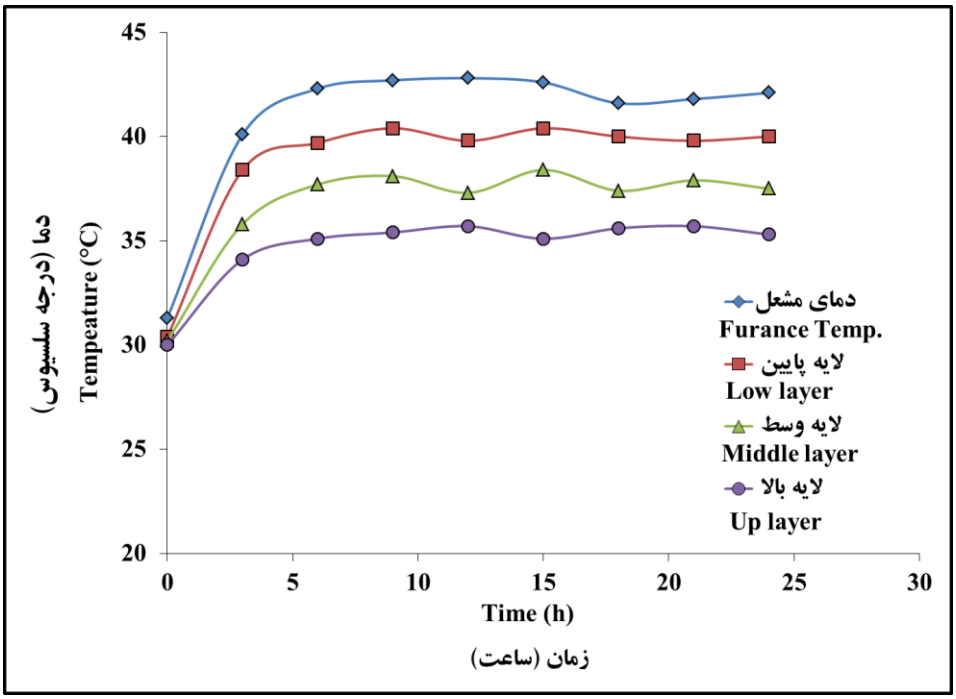


شکل ۵- تغییرات رطوبت شلتوک در لایه های مختلف خشک‌کن خوابیده

Fig. 5- Paddy moisture content changes in different layers of conventional dryer

در شـکل ۵ دیـده مـی‌شـود کـه رونـد تغییـرات رطوبـت در لایـه‌های پـایین بسـیار سـریع اسـت و بـا محـدودهٔ زمـانی حـدود ۶ تـا ۹ سـاعت، رطوبـت شلتوک‌های ایـن لایـه بـه حـدود ۸ درصـد مـی‌رسـد کـه بـرای عملیـات تبـدیل مناسـب اسـت، در حـالی‌کـه رطوبـت در لایـه‌های بـالایی در حـدود ۱۰ درصـد اسـت

و نیاز به صرف زمان بیشتری برای کاهش رطوبت دارد. گذشت زمان موجب خشک‌شدگی زیاد از حد و افزایش شانس بند افتادن (ترک‌خوردگی) شلتوک‌های لایه‌های زیرین می‌شود و احتمال بروز ضایعات تبدیل را افزایش می‌دهد. با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان نتیجه گرفت با افزایش ضخامت شلتوک در خشک‌کن، اختلاف رطوبت بین لایه‌ها افزایش می‌یابد و ناهمگونی در خشک شدن شلتوک بیشتر خواهد شد. به‌همین دلیل لازم است شلتوک بیشتر در خشک‌کن بماند تا لایه‌های بالاتر آن نیز خشک شوند. محققان به کارگیری دماهای بیش از ۵۰ درجه سلسیوس و ماندن زیاد شلتوک در خشک‌کن را عامل مؤثر در ترک‌خوردگی دانه‌ها اعلام کرده‌اند (Peyman, 2003; Latifi, 2011). تغییرات دمای شلتوک‌های سه لایهٔ پایین وسط و بالا در خشک‌کن خوابیده به‌همراه تغییرات دمای مشعل، در شکل ۶ نمایش داده شده است. مشاهده می‌شود که محدودهٔ تغییرات دمای مشعل خشک‌کن در سطح بالاتری از دمای لایه‌ها قرار دارد و با نوسان ۱ درجه‌ای تا حدود ۴۳ درجه سلسیوس بالا می‌رود. اختلاف دمای لایه‌های پایینی و بالایی شلتوک نیز بین۴ تا ۶ درجه و بیانگر ضعف خشک‌کن‌های خوابیده در ایجاد یکنواختی دما در لایه‌های محصول است و عملاً ناهمگونی خشک شدن شلتوک، مصرف زیاد انرژی و ایجاد ضایعات تبدیل را سبب می‌شوند. تأثیر خشک کردن نامناسب شلتوک بر افزایش ضایعات ت بدیل در تحقیقات قبلی نیز تأیید شده است (Soleymani, 1998; Khostaghaza, *et al.*, 2002).



شکل ٦- تغییرات دمای شلتوک در لایه های مختلف خشک‌کن خوابیده

Fig. 6- Paddy temperature changes in different layers of conventional dryer

نتـایج آزمـون تی‌تسـت و مقایسـهٔ میـانگین‌هـای شـاخص‌هـای کیفـی تبـدیل شـلتوک خشـک شـده در خشـک‌کن‌هـای دوار و خوابیـده در جـدول‌هـای ۳ و ۴ ارائه شده است.

جـدول ۳ نشـان مـی‌دهـد کـه در مقایسـهٔ شـاخص‌هـای تبـدیل رقـم شـلتوک، عملکـرد خشـک‌کن دوار اخـتلاف معنـی‌داری بـا عملکـرد خشـک‌کن خوابیـده دارد. مقایسـهٔ میـانگین‌هـای بـین دو خشـک‌کن نشـان مـی‌دهـد کـه بـه‌غیـر از شـاخص پوسـت کنـی، بـه‌کـارگیری خشـک‌کن‌هـای دوار بـرای خشـک کـردن شـلتوک تـأثیر مناسـب‌تـری بر شاخص‌های تبدیل برنج دارد.

جدول ۳- نتایج آزمون تی تست برای مقایسهٔ شاخص های کیفی تبدیل شلتوک خشک شده در خشک‌کن‌های دوار و خوابیده
Table 3- T test results for comparison of milling quality parameters in rotary and batch dryers

شاخص های ارزیابی Parameters	درجه آزادی df	مقدار t t -Value	انحراف معیار داده ها در خشک‌کن دوار Standard deviation in rotary dryer	انحراف معیار داده ها در خشک‌کن خوابیده Standard deviation in batch dryer
راندمان تبدیل Milling efficiency	4	6.07**	0.84	0.71
پوست‌کنی Hulling	4	0.87 n.s	0.28	0.43
برنج کامل Head rice	4	6.76 **	1.31	1.41
برنج خرده Broken rice	4	4.68 *	1.54	2.45

** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، * اختلاف معنی‌دار درسطح احتمال ۵ درصد و n.s نبود اختلاف معنی‌دار

** Significant difference (at level 1%), *Significant difference (at level 5%), n.s. No significant difference

نتایج بـه‌دسـت آمـده از مقایسـهٔ میـانگین‌هـا (جـدول ۴) نشـان مـی‌دهـد کـه اسـتفاده از خشـک‌کن‌های دوار موجب بهبـود فراینـد تبـدیل بـرنج مـی‌شـود؛ بـرای رقـم هاشـمی، رانـدمان تبـدیل بـا ۳/۸ درصـد افـزایش از حـدود ۶۲ بـه ۶۶ درصـد رسـیده اسـت. بـا توجـه بـه تحقیقـات تجـددی‌طلـب و همکـاران (Tajaddoditalab *et al.*, 2013)، زمـانی و علیـزاده (Zamani & Alizadeh, 2009) و رایـد و همکـاران (Reid *et al.*,1997) بـه نظـر مـی رسـد تغییـرات رانـدمان تبـدیل شـلتوک بیشـتر تـابعی از رقـم و رطوبـت دانـه اسـت و ارتبـاط مشخصـی بـه نـوع خشـک‌کن نـدارد. موضـوع جدید بـه‌دسـت آمـده در ایـن تحقیـق ایـن اسـت کـه در خشـک‌کن دوار، شـلتوک‌ها در حـین فراینـد خشـک شدن به تـدریج تمیـز و در انتهـای فراینـد گـرد و خـاک، ریشـک‌هـا و شـلتوک‌های پـوک از تـودهٔ اصـلی جـدا خواهـد شـد و شـلتوک تمیـز بـه مرحلـهٔ تبـدیل وارد می‌شود.

در حـالی‌کـه در خشـک‌کن‌های خوابیـده تغییـر قابـل تـوجهی در تمیـز شـدن دانـه‌هـای شـلتوک اتفـاق نمـی‌افتـد و در اغلـب مـوارد، شـلتوک حـاوی دانـه‌هـای پـوک، ریشـک و خـاک بـه سیسـتم تبـدیل وارد می‌شـود که مشکلات زیـادی از جملـه کـدر شـدن بـرنج سـفید را در پـی خواهـد داشـت. در ایـن تحقیـق دیـده شـده کـه بـه‌دلیـل تمیـز شـدن مناسـب شـلتوک در خشـک‌کن دوار، رانـدمان تبـدیل شـلتوک بـه بـرنج سـفید افـزایش چشم‌گیر داشته است.

جدول ٤- مقایسهٔ میانگین پارامترهای کیفی شلتوک هاشمی خشک شده در خشک‌کن‌های دوار و خوابیده*

Table 4- Means comparison of milling parameters of dried paddy in rotary and batch dryers

شاخص های ارزیابی Evaluation parameters	در خشک‌کن دوار Rotary dryer	در خشک‌کن خوابیده Batch dryer	میزان اختلاف Difference
راندمان تبدیل (درصد) Milling efficiency (%)	66.02 a	62.18 b	3.84
پوست‌کنی (درصد) Hulling (%)	85.92 a	86.18 a	0.26
برنج کامل (درصد) Head rice (%)	45.28 a	37.79 b	7.49
برنج خرده (درصد) Broken rice (%)	31.41 a	39.22 b	7.81

* حروف مختلف در هر ردیف، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

* Difference letters show significantly difference at level 5%

داده‌های تحقیق و مقایسهٔ میانگین‌ها (جدول ۴) نشان می‌دهد که نوع خشک کردن تأثیر چندانی بر میزان پوست‌کنی شلتوک ندارد؛ میزان پوست‌کنی شلتوک خشک شده با خشک‌کن‌های دوار و خوابیده اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد با یکدیگر ندارند. در تحقیق حاضر، میزان پوست‌کنی رقم هاشمی حدود ۸۶ درصد است. میزان پوست‌کنی شلتوک تابعی از رقم و میزان رطوبت دانه است و نتایج تحقیقات گذشته (Fan *et al.*, 2000; Heydari-Sultanabadi *et al.*, 2010; Latifi, 2011) نیز نشان می‌دهد رقم شلتوک و رطوبت نهایی آن بر شاخص‌های فرایند تبدیل از جمله درصد پوست‌کنی تأثیر دارند.

نتایج نشان می‌دهد که استفاده از خشک‌کن‌های دوار، در مقایسه با خشک‌کن خوابیده، موجب بالا رفتن راندمان برنج کامل و کاهش مقدار خرده برنج شده است (جدول ۴). کاربرد خشک‌کن دوار موجب افزایش راندمان تبدیل برنج کامل رقم هاشمی به‌میزان ۷/۵ درصد شده است. از نظر شکستگی دانه‌ها حین فرایند سفیدکنی، اگر شلتوک با خشک‌کن دوار خشک شود مقدار خرده برنج پس از فرایند سفیدکنی ۷/۸ درصد کمتر از حالتی است که شلتوک با خشک‌کن خوابیده خشک شود. تهویهٔ مناسب در فرایند خشک کردن و یکنواختی توزیع دما در قسمت‌های مختلف تودهٔ شلتوک در خشک‌کن دوار وکاهش تنش های حرارتی موجب افزایش راندمان تبدیل برنج کامل و کاهش قابل‌توجه مقدار شکستگی برنج در مرحلهٔ سفیدکنی می‌شود، در حالی‌که در خشک‌کن‌های خوابیده، تهویهٔ نامناسب و غیر یکنواختی دما در لایه‌های بالا و پایین موجب بند افتادن لایه‌های پایین می‌شود و ضمن کاهش راندمان تبدیل برنج کامل، به‌هنگام تبدیل نیز مقدار خرده برنج را در مرحلهٔ سفیدکنی افزایش می‌دهد. در تحقیقات قبلی گفته شده است که بیشترین خردشدگی شلتوک در فرایند تبدیل مربوط به غیر یکنواختی خشک شدن لایه‌های شلتوک در خشک‌کن‌های خوابیده است که در دماهای بالاتر از ۶۰ درجه سلسیوس شانس

خردشـدگی بـرنج را بسـیار افـزایش مـی‌دهـد (Bakker Arkema *et al.*, 1983; Fan *et al.*, 2000; Kiyanmehr *et al.*, 2001).

نتیجه‌گیری

بـه‌دلیـل هـوای گـرم محـیط پیرامـون خشـک‌کن خوابیـده، مـدت‌زمان خشـک شـدن شـلتوک در ایـن خشـک‌کن، نسـبت بـه خشـک‌کن دوار، تـا ۹ درصـد کاهش می‌یابد. به‌دلیـل ذکـر شـده، انـرژی ویـژه مصـرفی خشـک کردن یـک تـن شـلتوک و انـرژی ویـژه مصـرفی بـرای تبخیـر رطوبـت شـلتوک در خشـک‌کن خوابیـده نیز بـه‌ترتیـب ۸/۹ و ۱۱ درصـد کمتـر از خشـک‌کن‌هـای دوار اسـت. امـا در خشـک کـردن شـلتوک بـا خشـک‌کن‌هـای خوابیـدهٔ رایـج، بـه‌دلیـل فقـدان سـامانه‌های انـدازه‌گیـری دمـا و رطوبـت شـلتوک در حین فرایند، شـلتوک‌ها بـین ۴/۵ تـا ۶ سـاعت اضـافه تـر در خشـک‌کن‌هـا مـی‌ماننـد. تغییـرات رطوبـت و دمـای شـلتوک در سـه لایـهٔ پـایین وسـط و بـالای خشـک‌کن خوابیـده اخـتلاف قابـل تـوجهی بـا یکـدیگر دارنـد. مانـدگاری زیـاد شـلتوک لایـه‌هـای پـایین تـر در دمـای بـالا، شـانس ترک‌خـوردگی (بنـد افتـادن) دانـه‌هـا و ضایعات را افزایش می‌دهد.

نتـایج تحقیـق نشـان مـی‌دهـد اسـتفاده از خشـک‌کن‌هـای دوار موجـب بهبـود رانـدمان تبـدیل شلتوک بـه بـرنج سـفید بـه‌میـزان ۳/۸ درصـد مـی‌شـود. اسـتفاده از خشـک‌کن دوار، رانـدمان تبـدیل بـرنج کامـل را ۷/۵ درصـد افـزایش و مقـدار خـرده بـرنج را ۷/۸ درصد کاهش می‌دهد.

مراجع

Anon. (2001). Rice-specification and test methods. *National Standard*, No. 127. Industrial Research and Standard of Iran. Karaj, Iran. (in Persian)

Anon. (2003). Moisture measurement. unground grain and seed. *ASAE Standards*, S352.2, FEB03.

Bakker-Arkema, F. W., Fontana, C., & Schisler, I. P. (1983). Comparison of rice drying systems. *American Society of Agricultural Engineering Paper*, No. 83-3532. St. Joseph, Mich. ASAE.

Basunia, M. A., & Abe, T. (1998). Diffusion coefficients for predicting rough rice drying behavior from low to high temperatures. Int. Agric. Eng. J. 7(3-4): 147-158.

Bhattacharya, K. R. (1980). Breakage of rice during milling: A review. *Tropical Science, 22*, 256-257.

Billiris, M. A. (2013). Measuring the energy required to dry rice in commercial rice dryers (Ph. D. Thesis) University of Arkansas, Fayetteville.

Brooker, D. B., Baker-Arkema, F. W., & Hall, C. W. (1992). *Drying and Storage of Grains and Oilseeds.* AVI Book Pub. New York, USA.

Fan, J., Siebenmorgen, T. J., & Yang, W. (2000). A study of head rice yield reduction of long and medium grain rice varieties in relation to various harvest and drying conditions. *Transaction of the ASAE, 43*(6), 1709-1714.

Gazor, H. R. (2014). Investigation and comparison of losses and energy consumption in conventional and modern rice milling systems (Mazandaran province report). *Research Report*. No. 45922. Agricultural Engineering Research Institute. Karaj, Iran. (in Persian)

Habibi, F., & Yahyazadeh, A. (2015). Evaluation of amylose and amylopectin structure on quality of Iranian rice. *Journal of Agricultural Engineering Research, 16*(2), 61-70 (in Persian)

Heydari-Sultanabadi, M., Malek, S., Ghazvini, H. R., Shaker, M., & Hedayatizadeh, M. (2010). Losses in blade and abrasive systems by moisture content for three rice varieties. *Journal of Agricultural Engineering Research, 11*(1), 67-84. (in Persian)

Jittanit, W., Saeteaw, N., & Charoenchaisri, A. (2010). Industrial paddy drying and energy saving options. *Journal of Stored Products Research, 46*, 209-213.

Kent, N. L. (1982). *Technology of Cereals-An Introduction for Students of Food Science and Agriculture*. Third Ed. London, UK: Pergamon Press.

Khostaghaza, M. H., Solymani, M., & Shahedi, M. (2002). Correlation of head rice yield (HRY) with rough rice fissuring and bending strength in drying process. *Iranian Journal of Agricultural Science, 33*(1), 115-121. (in Persian)

Kiyanmehr, M., Tavakoli, T., & Khoshtaghaza, M. H. (2001). Effect of temperature and air velocity on drying time and paddy moisture content in batch type dryer. *Iranian Journal of Agricultural Science, 9*(1), 17-29. (in Persian)

Latifi, A. (2011). Effect of drying temperature and paddy final moisture on milling quality of three rice varieties. *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi), 102*, 71-75 (in Persian)

Mousavi, S. F., Abbaspour-Fard, M. H., & Khojastehpour, M. (2015). The effect of fan speed control system on the inlet air temperature uniformity in a solar dryer. *Journal of Agricultural Machinary, 5*(2), 491-50. (in Persian)

Omar, S. J., & Yamashita, R. (1987). Rice drying husking and milling. Part I: drying. *AMA-Agricultural Mechanization in Asia Africa and Latin Americ, 18*(2), 43-46.

Peyman, M. H. (2003). Losses in rice milling (hulling and whitening). *Training Workshop*. Agricultural Agriculture College of Guilan University, Rasht, Iran. (in Persian)

Reid, J. D., Siebenmorgen, T. J., & Fan, J. (1997). The effects of variety, harvest location, harvest moisture content and drying air conditions on rough rice drying parameters. *ASAE Annual International Meeting*, Minneapolis, Minesota, USA. Paper No. 976069.

Soleymani, M. (1998). Effects of dryer parameters on rice quality parameters and breaking (M. Sc. Thesis) Food Science and Industries, Tarbiat Modaress University, Tehran, Iran. (in Persian)

Soponronnarit, S., & Chinsakoltanakorn, S. (1986). *Energy consumption patterns in drying paddy by various drying strategies. A Regional Seminar on Alternative Energy Applications in Agriculture*. Oct. 27-29. Chiang Mai University, Thailand.

Tajaddoditalab, K., Latifi, A., Alizadeh, M. R., Habibi, F., & Tavasoli, V. (2013). Effect of dryer temperature, final paddy moisture content and whitener on head rice and cooking quality of some Iranian rice varieties. *Research Report*. No. 44952. Rice Research Institute of Iran. (in Persian)

Teter, N. (1987). *Paddy Drying Manual*. FAO of the United Nations, Rome.

Wongpornchai, S., Dumri, K., Jongkaewwattana, S., & Siri, B. (2004). Effects of drying methods and storage time on the aroma and milling quality of rice (*Oryza sativa* L.) cv. Khao Dawk Mali 105. *Food Chemistry*, *87*(3), 407-414.

Zamani, Gh., & Alizadeh, M. R. (2009). *Introducing of Iranian Rice*. Malek Pub. Tehran, Iran. (in Persian)

Agricultural Mechanization and Systems Research/Vol.21/No.74/Spring & Summer 2020/P:17-32

Research Paper

Influence of Rotary Dryer on Paddy (*Hashemi Var.*) Drying and Rice Milling Quality

H. Gazor* and M. R. Alizadeh

* Corresponding Author: Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. Email: hgazor@yahoo.com

Received: 8 January 2017, Accepted: 19 December 2018

Abstract

Long time processing, high energy consumption and non-uniformity in layers moisture are common problems in paddy drying using conventional batch type dryer, leading to increase the chance of kernel breaking during milling process. In this research, drying time, grains moisture content change and energy consumption of a newly rotary dryer were compared with that of a conventional batch type dryer for paddy (*Hashemi variety*) drying. Besides, quality parameters as hulling milling ratio, head rice yield and white rice breaking percent were studied in paddy dried using both dryers. All Experiments were done triplicate and data analyzed using T-student method in 5% probability. Results showed that newly rotary dryer caused uniformity in drying processes and cleaning of dried paddy; but, in conventional batch type dryer, because of environmental warm air around it, drying time and energy consumption were about 9 and 8.9 percent, respectively, less than what were calculated in newly rotary dryer. Specific energy consumption for paddy moisture evaporation was 13.5 MJ/kgH_2O and it was about 11 percent less than that in rotary dryer. The difference of paddy moisture contents and temperatures in top and lower part of layers of batch type dryer were 2% and 6 °C respectively. Milling ratio increased 3.8% when rotary dryer was used. Rotary dryer did not have significant effect on paddy hulling. The main effect of using rotary dryer occurred on head rice yield and it was increased about 7.5%, comparing with batch dryer. Using rotary dryer caused 7.8% decrease in broken kernels, comparing with conventional batch type dryer.

Keywords: Breakage, Dryer, Energy, Hulling, Paddy