

Research Article

Vol. 14, No. 2, 2024, p. 105-118

Investigation of Brown Rice Losses in the Paddy Drying Process

S. Sharifi¹, M. H. Aghkhani^{2*}, A. Rohani²

1- MSc Graduate Student in Agricultural Mechanization, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2- Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

(*- Corresponding Author Email: aghkhani@um.ac.ir)

Received: 02 March 2021

Revised: 16 August 2021

Accepted: 08 September 2021

Available Online: 08 September 2021

How to cite this article:

Sharifi, S., Aghkhani, M. H., & Rohani, A. (2024). Investigation of Brown Rice Losses in the Paddy Drying Process. *Journal of Agricultural Machinery*, 14(2), 105-118. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jam.2021.69208.1026>

Introduction

On the field and in the paddy milling factory dryer losses have always been challenging issues in the rice industry. Different forms of losses in brown rice may occur depending on the field and factory conditions. To reduce the losses, proper management during pre-harvest, harvesting, and post-harvest operations is essential. In this study, different on-field drying and tempering methods were investigated to detect different forms of brown rice losses.

Materials and Methods

The present study was conducted on the most common Hashemi paddy variety during the 2019-2020 season in Talesh, Rezvanshahr, and Masal cities in the Guilan province, Iran with 0.2 hectares and 5 paddy milling factory dryers. On the fields, the method and date of tillage, irrigation, and transplanting used in all experimental units were the same. Moreover, the same amount of fertilizer and similar spraying methods were used across all experiments. For the pre-drying process on the fields, the following three pre-drying methods were applied on the harvest day: A1) The paddies were spread on the cut stems for insulating, A2) The paddies were stacked and stored after being placed on the cut stems for 5h, and A3) The paddies were covered with plastic wrap and stored after 5h of insulating. The first method (A1) is the most common in the area and was chosen as the control treatment. For the second step of the process, the time interval between the on-field pre-drying and threshing was considered: B1) 14 to 19h post-harvest; B2) 20 to 24h post-harvest, and B3) 25 to 29h post-harvest. Afterward, methods A1 to A3 were combined with methods B1 to B3 and feed into an axial flow-thresher at 10 kg min⁻¹, 550 rpm PTO, and two levels of moisture content at 19 and 26 percent (% w.b). The third process was two-stage or three-stage tempering for 10 or 15 hours resulting in four levels (C1 to C4) and was done in the conventional batch type dryer under temperatures of 40 and 50 °C and airspeeds of 0.5 and 0.8 m s⁻¹ in paddy milling factories. At the end of each process, a 100g sample was oven-dried for 48h and a microscope achromatic objective 40x was used to detect incomplete horizontal or vertical cracks, tortoise pattern cracks, and immature and chalky grains. The equilibrium moisture content was determined to be 7.3 percent. Losses properties were analyzed using a completely randomized factorial design with a randomized block followed by Tukey's HSD test at the 5% probability and comparisons among the three replications were made.

Results and Discussion

Results demonstrated that the stack and plastic drying methods significantly increased the percentage of losses. In the plastic drying method, the percentage of chalky grains and tortoise pattern cracks was higher than other forms of loss. In the first process, irrespective of the pre-drying method, the losses were reduced at a lower level of moisture content. At the end of the first stage, losses in the spreading method were significantly lower at 19% moisture content. Threshing the plastic-wrapped paddies after 14 to 19 hours at 19% moisture content



©2021 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jam.2021.69208.1026>

resulted in the maximum threshing loss of 8.446% and over half of the grains were chalky or had tortoise pattern cracks. The threshing loss was halved (4.443%) for paddies threshed 25 to 29h after spreading at a moisture content of 26%. The mean of losses in the second step of the process were 7.229, 5.585, and 5.156% for the time interval between the on-field pre-drying and threshing of 14 to 19h, 20 to 24h, and 25 to 29h, respectively. In the last step of the process in paddy milling factory dryers, there was no significant difference in the minimum percent of losses between 10 and 15 hours of three-stage tempering at 40 °C and with 0.5 m s⁻¹ airspeed. Furthermore, maximum total losses with the most incomplete horizontal and vertical cracks occurred in the two-stage 10h tempering at 50 °C and with 0.5 and 0.8 m s⁻¹ airspeed.

Conclusion

Food security has always been a critical matter in developing countries. Furthermore, identifying the source of losses in the fields and the factories is one way to reduce losses and achieve food security. Stacking or wrapping the paddies in plastic after pre-drying on the fields for 5h is not recommended in terms of its effect on increasing the percentage of brown rice losses. Additionally, due to the importance of factory dryer scheduling in the management of the losses, it is recommended to use a three-stage 10h tempering at 40 °C and with 0.5 m s⁻¹ airspeed.

Keywords: Brown rice, Crack, Drying, Losses, Paddy milling factory

مقاله پژوهشی

جلد ۱۴، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۳، ص ۱۱۸-۱۰۵

بررسی میزان ضایعات برنج قهوه‌ای در فرآیند خشک کردن شلتوک

سینا شریفی^۱، محمد حسین آق‌خانی^{۲*}، عباس روحانی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۷

چکیده

فرآیندهای خشک کردن شلتوک، همواره چالشی‌ترین مسائل صنعت برنج می‌باشد. هدف تحقیق، بررسی میزان ضایعات خشک کردن در مزرعه و کارخانه در سه شهرستان گیلان بود. بدین منظور، اثرهای اصلی و متقابل فاکتورهای مستقل محتوای رطوبتی زمان برداشت (۱۹ و ۲۶ درصد)، زمان برداشت تا خرمنکوبی (۱۹-۱۴، ۲۴-۲۰ و ۲۹-۲۵ ساعت)، روش‌های خشک کردن در مزرعه (پخش کامل شالی بر روی ساقه‌ها، پخش پنج ساعت شالی بر روی ساقه‌ها+توده کردن، و پخش پنج ساعت شالی بر روی ساقه‌ها+استفاده از پلاستیک)، و استراحت‌دهی (دو مرحله‌ای و سه مرحله‌ای هر کدام با ۱۰ و ۱۵ ساعت استراحت‌دهی)، دمای خشک کن (۴۰ و ۵۰ درجه سلسیوس) و سرعت باد (۰/۵ و ۰/۸ متر بر ثانیه) بر فاکتورهای وابسته (دانه‌های نارس، گچی، دانه‌های دو و سه‌تَرک و تَرک لاک‌پشتی در برنج قهوه‌ای) در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ بررسی شدند. از طرح آزمایشی فاکتوریل بر پایه بلوک کامل تصادفی استفاده شد. براساس نتایج، اثرهای اصلی فاکتورهای مستقل بر ایجاد ضایعات معنادار بودند ($P < 0.05$). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کمینه ضایعات در روش پخش کردن کامل، در محتوای رطوبتی ۲۶ درصد، به میزان ۱/۴۶۵ درصد بود. بیشترین تاثیر استفاده از پلاستیک در شکل‌گیری ضایعات به شکل تَرک لاک‌پشتی و دانه‌گچی بود. در سطح مزرعه پس از ۱۴ تا ۱۹ ساعت پیش خشک کردن، بیشینه ضایعات به دست آمد، که سهم سه‌تَرک نا کامل طولی، دو تَرک نا کامل عرضی و دانه نارس به ترتیب به میزان ۱۱/۴۱۰، ۸/۷۳۰ و ۸/۴۷۱ درصد بود. در سطح کارخانه، کمترین ضایعات در ترکیب فاکتوری استراحت‌دهی سه مرحله‌ای ۱۵ ساعت، دمای خشک کن ۴۰ درجه سلسیوس و سرعت باد ۰/۵ متر بر ثانیه به میزان ۶/۰۲۷ درصد به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: برنج قهوه‌ای، تَرک، خشک کردن، ضایعات، کارخانه تبدیل شلتوک

مقدمه

رطوبت شالی وابسته به شرایط جوی زمان برداشت، روش برداشت، وارته و میزان رسیدگی دانه به‌طور معمول از ۱۵ تا ۲۶ درصد متغیر می‌باشد؛ برای نگه‌داری شلتوک در انبار و تبدیل، باید رطوبت محصول کاهش داده شود (Abayawickrama, Reinke, Fitzgerald, Harper, & Burrows, 2017; Heidari Soltanabadi, Malek, Ghazvini, Shaaker, & Hedayati Zadeh, 2010) با توجه به مطالعات اپیدمیولوژیکی سازمان بهداشت جهانی (Krzyżanowski, Kuna-Dibbert, & Schneider, 2005)، انرژی رایگان و پاک خورشیدی با توجه به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از سوخت‌های فسیلی، تاثیر چشم‌گیری بر سلامت بشر داشته است (Udomkun et al., 2020). همچنین، خشک کردن در معرض آفتاب در هنگام صبح، موجب افزایش راندمان برنج سفید شده است (Xangsayasane, Vongxayya, & Phongchanmisai, Mitchell, & Fukai, 2019). استفاده از این منبع برای خشک کردن شلتوک غیرقابل چشم‌پوشی است. در تحقیقی تاثیر زمان خشک کردن پس از برداشت رقم هاشمی

استان گیلان دارای ۲۵۹/۶ هزار هکتار سطح زیرکشت انواع محصولات زراعی بوده که از این میزان، ۲۲۰ هزار هکتار برنج کشت می‌شود. میزان تولید انواع گونه‌های شلتوک کشور حدود ۳/۱ میلیون تن از مجموع سطوح زراعی بوده، که سهم استان گیلان ۱/۰۹ میلیون تن بوده است (Anonymous, 2018). محصول برنج به‌منظور استفاده خانوار بایستی از شالی و شلتوک به برنج سفید تبدیل شود.

۱- دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد مکانیزاسیون کشاورزی، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۲- استاد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۳- دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

* - نویسنده مسئول: (Email: aghkhani@um.ac.ir)

<https://doi.org/10.22067/jam.2021.69208.1026>

نشان داد که مراحل خشک کردن، اثر قابل توجهی بر درصد برنج قهوه‌ای و بازده تبدیل نداشته است، اما درصد برنج سالم طی خشک کردن سه مرحله‌ای در هر دو سال بیشترین، و روش‌های دو و یک مرحله‌ای به ترتیب کمترین مقدار را داشته است (TajaddodiTalab, 2005). نتایج بررسی سطوح دمای خشک‌کن ۴۵، ۶۰ و ۷۵ درجه سلسیوس و سرعت جریان هوای ۰/۴ و ۰/۶ متر بر ثانیه نشان داد که دما نسبت به سرعت جریان هوا، تاثیر بیشتری بر درصد ترک خوردگی شلتوک رقم هاشمی داشته است (Mohajeran, Khoshtaghaza, & Moazami Gudarzi, 2006). در تحقیقی، بررسی اثر خشک کردن به صورت متناوب و پیوسته بر ترک خوردگی شلتوک رقم‌های هاشمی و کوهسار مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل بیانگر آن بود که در دمای ۶۰ درجه سلسیوس تعداد دانه‌های دارای دو ترک و بیش از دو ترک نسبت به مقادیر مشابه در دو دمای ۳۰ و ۴۵ درجه سلسیوس بیشتر بوده است؛ همچنین مشاهده شده است که ۴۸ ساعت پس از خشک شدن، تعداد ترک‌ها نسبت به ترک‌های ایجاد شده بلافاصله پس از عملیات خشک کردن، به دلیل گسترش ترک‌های ریز ایجاد شده درون دانه، افزایش یافته است (Sadeghi, Ghasemi, & Mireei, 2016).

به منظور کاهش ضایعات ناشی از تنش‌های زیستی و غیرزیستی و جلوگیری از کاهش ارزش تغذیه‌ای محصول برنج مدیریت صحیح و به‌هنگام عملیات کشت و پرورش، برداشت و پس از برداشت ضروری است (TajaddodiTalab, 2005; Gimenez, Salinas, & Manzano-Agugliaro, 2018). با توجه به اهمیت مدیریت ضایعات و تاثیر زیادی که مرحله خشک کردن بر ایجاد ضایعات دارد، بیشتر تحقیقات انجام شده پیرامون خشک کردن چند مرحله‌ای برای ارقام مختلف و تحت شرایط متفاوت در کارخانجات تبدیل و برنج سفید بوده است (Eshtavad, Kalantari, Hashemi, & Pirdashti, 2016; Li, Wang, Li, Jiang, & Lu, 2016; Dong, Lu, Liu, Koide, & Cao, 2010). اما تاثیر شرایط پیش از خشک کردن در مزرعه و همین‌طور شکل‌های مختلف ضایعات در نظر گرفته نشده است.

هدف از تحقیق پیش‌رو، بررسی میزان ضایعات در فرآیندهای خشک کردن در مزرعه و استراحت‌دهی در خشک‌کن‌های کارخانجات تبدیل برنج در سه شهرستان استان گیلان است. با توجه به تاثیر بسیار زیادی که فرآیندهای آغازین در تولید برنج بر ایجاد ضایعات دارند، تحقیق حاضر می‌تواند گامی موثر در راه رسیدن به آگاهی هرچه بیشتر دست‌اندرکاران بخش برنج کشور باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

مطالعه حاضر در فصل زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در پنج شالیزار هر کدام

بر راندمان برنج سفید سالم، از روش پخش کردن کامل شالی‌ها به مدت یک شبانه‌روز بررسی شد و نتایج نشان داده است که بیشترین راندمان برنج سفید سالم (۵۸/۷۸ درصد) در استفاده از خشک کردن در کارخانه بلافاصله پس از پیش خشک کردن در مزرعه بوده است (Allameh & Alizadeh, 2013). بررسی تاثیر فعالیت‌های میکروبی رقم‌های زودرس و دانه کوتاه در امریکا نشان داد که فاصله‌ی ۴۸ ساعت بین پیش خشک کردن در مزرعه تا خشک کردن در کارخانه برای شلتوک با محتوای رطوبتی ۱۷ تا ۲۱ درصد، هیچ افزایش معناداری در محتوای فرار ۱۰ فعالیت میکروبی در برنج سفید، ایجاد نکرده است؛ همین‌طور برای رطوبت‌های ۲۴ درصد و بیشتر از آن، محتوای فرار شش فعالیت میکروبی در برنج سفید با گذشت زمان افزایش چشم‌گیری داشته است (Champagne et al., 2004). دمای زیاد هوا و شدت تابش کم خورشید موجب اخلاخل در انتقال مواد ذخیره‌ای حاصل از فتوسنتز شده و باعث شده در سنبله‌های تحتانی نشاسته بیشتری ذخیره شود و نسبت به سنبله‌های فوقانی دارای درصد دانه گچی بیشتری باشد (Tsukaguchi & Iida, 2008). دانه‌های گچی و دانه‌های ترک‌دار از جمله صفاتی هستند که کیفیت تبدیل را تحت تاثیر قرار می‌دهند. شکاف‌های دانه زمانی اتفاق می‌افتد که میزان رطوبت بین مرکز و سطح دانه یکسان نباشد و جذب و دفع سریع رطوبت رخ دهد که این مسئله موجب افزایش گردیدان رطوبتی در لایه‌های سطحی، میانی و مرکزی و افزایش احتمال ایجاد ضایعات می‌شود (Abayawickrama et al., 2017; Mukhopadhyay & Siebenmorgen, 2018).

استراحت‌دهی^۱ مرحله موثر و پذیرفته شده برای کاهش گردیدان رطوبتی شلتوک در هنگام استفاده از خشک‌کن دمای بالا در کارخانه‌های شالی کوبی می‌باشد. دمای استراحت‌دهی بالاتر از دمای انتقال شیشه‌ای به کاهش تنش‌های درونی دانه کمک می‌کند؛ به‌ویژه که برای تسریع در فرآیند خشک کردن احتیاج به دمای خشک‌کن بالاتر نیاز است (Truong, Truong, Fukai, & Bhandari, 2012). تحقیقات متعددی به بررسی خشک کردن چند مرحله‌ای به روش بسترسیال و نیمه‌سیال پرداخته شده است (Poomsa-ad, Soponronnarit, Prachayawarakorn, & Terdyothin, 2002; Golmohammadi, Rajabi-Hamane, & Hashemi, 2012; Bootkote, Soponronnarit, & Prachayawarakorn, 2016).

اما با توجه به این که بیشتر خشک‌کن‌های برنج شمال کشور از نوع بستر ثابت جریان همرفتی است، بنابراین لزوم تحقیق در این زمینه احساس می‌شود. در این راستا، در تحقیقی اثر خشک کردن یک مرحله‌ای و چند مرحله‌ای بر بازده تبدیل و مدت زمان خشک کردن رقم دانه بلند خزر طی دو سال زراعی بررسی شد. نتایج این تحقیق

ساعت پس از برداشت؛ پخش کامل شالی در این فاصله زمانی در محتوای رطوبتی ۱۹ درصد بر پایه وزن تر به دلیل مرسوم بودن روش به عنوان تیمار شاهد انتخاب شد، و B₃ تا ۲۵ تا ۲۹ ساعت پس از برداشت، بررسی شدند. هر کدام از روش‌های A₁ تا A₃، با روش‌های B₁ تا B₃ برای تبدیل شالی به شلتوک ترکیب شدند تا از خرمکوب جریان‌محوری با نرخ خوراک‌دهی ۱۰ کیلوگرم بر دقیقه، دور PTO ۵۵۰ RPM (Ghasemi, 2011) و محتوای رطوبتی ۱۹ و ۲۶ درصد بر پایه وزن تر استفاده شود. در فرآیند سوم خشک کردن، شلتوک‌های ترکیب‌شده در دو فرآیند قبلی به تفکیک روش‌های سه‌گانه پیش خشک کردن در سطوح رطوبت نهایی زمان برداشت به نسبت‌های مساوی با سطح‌های فاصله‌های زمانی پس از برداشت به خشک‌کن‌های کارخانجات تبدیل، انتقال داده شدند. خشک‌کن‌های کارخانجات، از جنس سیمان و در کف دارای صفحه مشبک فلزی جهت ورود هوای گرم مشعل بودند. این خشک‌کن‌ها دارای طول ۶ متر، عرض ۲ متر و عمق یک متر بودند، که تا عمق ۳۰ سانتی‌متری از شلتوک پر شدند. از چهار روش C₁ تا C₄ در خشک‌کن‌های همرفتی صنعتی غیرپیوسته بستر افقی استفاده شد. C₁ استراحت‌دهی دو مرحله‌ای (تیمار شاهد): مرحله اول خشک کردن تا رطوبت ۱۵ تا ۱۶ درصد و سپس توقف و خاموشی دستگاه به مدت ۱۰ ساعت و مرحله دوم خشک کردن تا رطوبت نهایی ۱۳ درصد؛ این روش با دمای خشک‌کن ۴۰ درجه سلسیوس و سرعت هوای ۰/۸ متر بر ثانیه روش مرسوم و متداول برای خشک کردن شلتوک می‌باشد؛ C₂ استراحت‌دهی دو مرحله‌ای: مرحله اول خشک کردن تا رطوبت ۱۵ تا ۱۶ درصد و سپس توقف و خاموشی دستگاه به مدت ۱۵ ساعت و مرحله دوم خشک کردن تا رطوبت نهایی ۱۳ درصد؛ C₃ استراحت‌دهی سه مرحله‌ای: مرحله اول خشک کردن تا رطوبت ۱۵ تا ۱۶ درصد و سپس توقف و خاموشی دستگاه به مدت ۱۰ تا ۱۴ درصد و توقف مجدد خشکاندن تا رطوبت ۱۳ تا ۱۴ درصد و توقف مجدد خشکاندن به مدت ۱۰ ساعت و مرحله سوم خشک کردن تا رطوبت نهایی ۱۳ درصد و C₄ استراحت‌دهی سه مرحله‌ای: مرحله اول خشک کردن تا رطوبت ۱۵ تا ۱۶ درصد و سپس توقف و خاموشی دستگاه به مدت ۱۵ ساعت و مرحله دوم خشک کردن تا رطوبت ۱۳ تا ۱۴ درصد و توقف مجدد خشکاندن به مدت ۱۵ ساعت و مرحله سوم خشک کردن تا رطوبت نهایی ۱۳ درصد. پس از اتمام هر مرحله از استراحت‌دهی، از عمق ۳۰ سانتی‌متری ۱۰۰ گرم دانه سالم به‌طور تصادفی انتخاب شدند تا به‌وسیله رطوبت‌سنج مدل Gwon-GMK با دقت ۰/۰۱ تعیین رطوبت شوند. همچنین، پس از اتمام هر فرآیند خشک کردن در سطوح مزارع و کارخانجات تبدیل، پس از جداسازی مواد خارجی معدنی و آلی، مقدار ۸۰۰ گرم از شلتوک به‌طور تصادفی با دقت ۰/۰۱ وزن شدند. برای آماده‌سازی،

به مساحت ۰/۲ هکتار و پنج کارخانه تبدیل برنج در سه شهرستان تالش، رضوانشهر و ماسال در عرض جغرافیایی بین ۳۷°۲۱'۰۰" تا ۳۷°۴۸'۰۱" درجه شمالی و طول جغرافیایی بین ۴۸°۵۴'۰۱" تا ۴۹°۰۹'۰۱" درجه شرقی صورت گرفت. مرحله پیش‌آزمون برای بررسی شکل‌های مختلف ضایعات، در برنج قهوه‌ای سه روز پیش از شروع مرحله اصلی داده‌برداری، انجام شد.

شرایط کشت، پرورش و برداشت

شلتوک مورد بررسی، رقم هاشمی یکی از ارقام دانه‌بلند و غالب منطقه بود. زمان کشت نشاءها هفته دوم و سوم اردیبهشت و عملیات واکاری در دو مرحله به‌ترتیب پس از گذشت یک ماه و ۵۰ روز انجام شد. همچنین، از نشاءکار جهت کشت محصول به‌صورت چهار گیاهچه در هر کپه، به فاصله ۲۰×۲۰ سانتی‌متر استفاده شد. آبیاری غرقابی قطعات آزمایشی ۳۰ روز پس از شروع خوشه‌دهی ادامه داشت. میانگین ارتفاع آب در مزرعه سه سانتی‌متر بود. میزان استفاده از کود نیتروژن به‌صورت خالص (از منبع اوره) ۹۰ کیلوگرم در هکتار بود که یک سوم آن در زمان تهیه زمین، یک سوم آن در مرحله حداکثر پنجه‌زنی و یک سوم دیگر در مرحله ظهور خوشه در زمین پخش شد. همچنین، ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر خالص (از منبع سوپر فسفات) و ۵۰ کیلوگرم در هکتار پتاس خالص (از منبع کلرید پتاسیم) قبل از تسطیح زمین به خاک افزوده شد. عملیات وجین علف‌های هرز، در تمام واحدهای آزمایشی یکسان به‌طور دستی و در دو مرحله صورت گرفت. به‌منظور مبارزه با آفت‌های کرم ساقه‌خوار نواری برنج (*Chilosuppressalis*) و کرم سبزی برگ‌خوار برنج (*Narangaanescens*) از محلول پنج درصد دیازینون، در زمان‌های وجین و گلدهی (زایشی) استفاده شد. برداشت محصول، هفت روز پس از مشاهده ۸۰ درصد حالت شیری سفت انجام شد. عملیات برداشت با داس، هفته آخر مرداد و در سه زمان پیش و پس از ظهر و هنگام غروب آفتاب در دو سطح محتوای رطوبتی ۱۹ و ۲۶ درصد انجام شد.

آزمون‌های خشک کردن

در فرآیند اول پیش خشک کردن^۱ در سطح مزرعه، سه روش مجزای ذیل در نظر گرفته شدند. A₁ شالی‌ها بر روی ساقه‌های بریده‌شده، قرار داده شدند و این روش به‌دلیل متداول بودن در منطقه، به‌عنوان تیمار شاهد انتخاب شد؛ A₂ شالی‌ها، پس از پنج ساعت قرارگیری بر روی ساقه‌های بریده‌شده، هنگام غروب از سطح مزرعه جمع‌آوری و توده شدند و A₃ شالی‌ها، پس از پنج ساعت، هنگام غروب با پوشش پلاستیکی پوشانده شدند. در فرآیند دوم، فاصله‌های زمانی خشک کردن شالی‌ها در سطح مزرعه تا خرمکوبی در نظر گرفته شدند. B₁ ۱۴ تا ۱۹ ساعت پس از برداشت؛ B₂ ۲۰ تا ۲۴

بیان شده از آزمون ۱۰۰ گرمی جداسازی شدند. برای تثبیت ترک دانه‌های پوست گرفته‌شده، بررسی ترک‌ها ۴۸ ساعت پس از خروج از آون انجام شد (Sadeghi et al., 2016). برای تعیین درصد وزنی از میکروسکوپ با عدسی شیئی آکروماتیک ۴۰x استفاده شد. بررسی میزان ضایعات بر روی آزمون ۱۰۰ گرمی پس از اتمام هر فرآیند صورت پذیرفت. ملاک تشخیص ضایعات، بازتاب نور دانه‌های پوست گرفته‌شده زیر میکروسکوپ بود که ترک‌های واضح محتمل به شکست، دانه‌های گچی، و سبز و نارس را نشان داد. ضایعات موجود شامل دانه‌های دو ترک ناکامل عرضی (به اختصار دو ترک)، سه ترک ناکامل طولی (به اختصار سه ترک) و ترک‌های لاک‌پشتی، دانه‌های گچی، و دانه‌های نارس بودند (شکل ۱).

طرح آماری مورد استفاده

در این پژوهش از طرح فاکتوریل بر پایه بلوک تصادفی برای بررسی میزان ضایعات به‌عنوان متغیر وابسته در نتیجه متغیرهای مستقل استفاده شد. در فرآیند اول، سه روش پیش خشک کردن در مزرعه (A₁ تا A₃) در دو سطح رطوبتی زمان برداشت ۱۹ و ۲۶ درصد متغیرهای مستقل، در پنج بلوک (شهرستان تالش و رضوانشهر هر کدام دو بلوک و شهرستان ماسال یک بلوک) و در سه تکرار با ۹۰ ترکیب فاکتوری بررسی شدند. در فرآیند دوم ترکیبی از فرآیند اول در شش سطح (سه روش پیش خشک کردن در مزرعه × دو سطح رطوبتی ۱۹ و ۲۶)، با زمان پیش از خرمکوبی در سه سطح (B₁ تا B₃) به‌عنوان متغیرهای مستقل، در سه شهرستان به‌عنوان بلوک و در سه تکرار با ۱۶۲ ترکیب فاکتوری مورد مطالعه قرار گرفتند. در واقع فرآیند اول و دوم فرآیندهایی پیوسته بودند و اطلاعات به‌دست‌آمده در فرآیند دوم از مزارع مورد پژوهش در فرآیند اول بود. در فرآیند سوم، روش‌های استراحت‌دهی در خشک‌کن کارخانه با چهار سطح (C₁ تا C₄)، دما ۴۰ و ۵۰ درجه سلسیوس، و سرعت باد ۰/۵ و ۰/۸ متر بر ثانیه به‌عنوان متغیرهای مستقل، در پنج بلوک (شهرستان تالش و رضوانشهر هر کدام دو بلوک و شهرستان ماسال یک بلوک) و در سه تکرار با ۲۴۰ ترکیب فاکتوری در نظر گرفته شدند. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و بررسی آزمون مقایسه میانگین‌ها از آزمون توکی در سطح پنج درصد در نرم‌افزار Minitab[®] نسخه ۱۷ استفاده شد.

نتایج و بحث

فرآیند اول

برای مشخص شدن ضایعات برنج قهوه‌ای در سطح مزرعه، سه روش پیش خشک کردن و محتوای رطوبتی زمان برداشت، در پنج بلوک به‌عنوان شهرستان مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس، اثرهای روش خشک کردن در سطح مزرعه و محتوای رطوبتی بر درصد ضایعات، در جدول ۱ نشان داده شده است. براساس

نمونه‌ها در بسته‌های نایلونی زیپ‌کیپ بسته‌بندی و در یخچال با دمای چهار درجه سلسیوس به مدت ۱۲ ساعت نگهداری شدند (Sadeghi et al., 2016). برای تعیین محتوای رطوبتی دانه‌ها و درستی داده‌های به‌دست‌آمده از آون آزمایشگاهی، ۱۰ نمونه ۱۰ گرمی شلتوک را در آون با دمای ۱۳۰ درجه به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند. سپس وزن نمونه‌ها قبل و بعد از خروج از آون ثبت و طبق رابطه (۱)، رطوبت نمونه‌ها براساس وزن تر محاسبه و دستگاه کالیبره شود (ASAE, 1998).

$$MC_w = \frac{G_w - G_D}{G_w} \times 100 \quad (1)$$

بر اساس رابطه (۱)، MC_w: محتوای رطوبتی بر پایه تر (درصد)، G_w: جرم اولیه محصول (kg) و G_D: جرم نهایی محصول پس از خشک شدن در آون (kg) بود. به دلیل وجود محتوای رطوبتی ۱۵ تا ۱۶ درصد محصول پس از اتمام فرآیند اول و دوم، از خشک کردن دو مرحله‌ای با استراحت‌دهی پنج ساعت برای کاهش رطوبت تا سطح ۱۳ درصد استفاده شد.

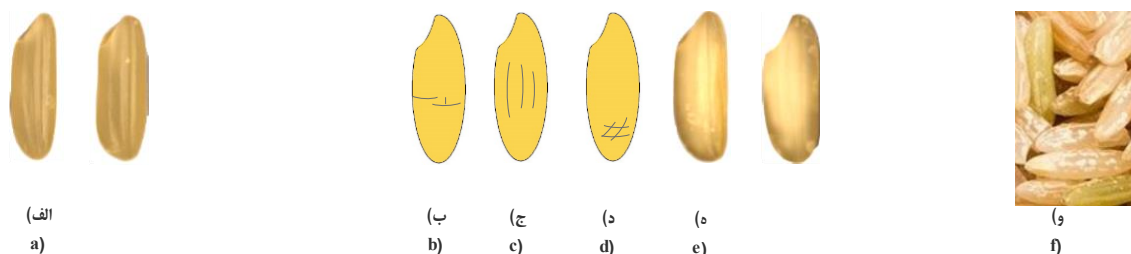
به‌طور معمول محتوای رطوبتی لازم برای تبدیل کمتر از ۱۰ درصد می‌باشد (Gazor & Moumeni, 2019). برای خشک کردن یکسان، ملایم و خروج رطوبت از دانه به کمک آون آزمایشگاهی از دو شرایط خشک کردن برای دستیابی به رطوبت تعادلی استفاده شد. از محتوای رطوبت تعادلی^۱ برای به تعادل رساندن محتوای رطوبتی محصول با هوای اطراف دانه به‌منظور به صفر رساندن تبادل رطوبتی محصول و هوای اطراف آن استفاده شد. در زمان تعادل رطوبتی هیچ‌گونه جذب و دفع بین محصول و هوای اطراف صورت نمی‌گیرد که منجر به ترک و شکست شود. در شرایط اول برای تبدیل حالت ناشسته‌ای به حالت شیشه‌ای دانه‌های برنج، رطوبت نسبی و دما به ترتیب برابر با ۲۰ درصد و ۳۰ درجه سلسیوس تنظیم شدند. سپس، برای خروج رطوبت دانه‌های برنج و تغییر حالت شیشه‌ای به حالت لاستیکی و کشسانی، دما و رطوبت نسبی به ترتیب برابر با ۲۷ درصد و ۵۰ درجه سلسیوس تعیین شدند. در این شرایط محتوای رطوبت تعادلی برابر با ۷/۳ درصد تعیین شدند. محتوای رطوبت تعادلی با استفاده از نمودار سایکرومتری بیان می‌شود که در محور Xها میزان رطوبت‌های نسبی (درصد) و در محور Yها میزان رطوبت تعادلی بر پایه وزن تر (درصد) نشان داده می‌شوند (ASAE, 1998). مقدار ۷/۳ درصد بدین معناست رطوبت شلتوک در ارتباط با هوای اطراف به میزان ۷/۳ درصد می‌باشد که در این مقدار هیچ‌گونه جذب و دفع سطحی اتفاق نمی‌افتد.

بررسی ضایعات

برای محاسبه درصد وزنی در نمونه‌ها، دانه‌های دارای مشخصات

نداشت ($P > 0.05$). مقدار ضریب تبیین اصلاح شده ۹۸/۸۳ درصد، نشان داد که تغییرات مربوط به عوامل مورد بررسی تقریباً با کل تغییرات برابر بود.

نتایج جدول ۱، اثرهای اصلی فاکتور رطوبت نهایی برداشت و روش پیش خشک کردن و اثر متقابل دو فاکتور رطوبت و روش پیش خشک کردن، در سطح پنج درصد بر ایجاد ضایعات برنج قهوه‌ای معنادار بود ($P < 0.05$). اثر بلوک بندی، تاثیری در نتایج آزمایش



شکل ۱- الف) نمونه‌های مطلوب برنج قهوه‌ای، ب) دانه‌های دو ترک ناکامل عرضی، ج) سه ترک ناکامل طولی، د) ترک لاک‌پشتی، ه) دانه‌های گچی، و و) دانه‌های نارس

Fig.1. a) Desirable brown rice samples, b) Two incomplete horizontal cracks, c) Three incomplete vertical cracks, d) Tortoise pattern cracks, e) Chalky grains, and f) Immature grains

جدول ۱- تجزیه واریانس اثرهای روش پیش خشک کردن، محتوای رطوبتی، و اثرهای متقابل بر درصد ضایعات
Table 1- Analysis of variance of pre-drying method, moisture content, and interaction effects on the losses

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات اصلاح شده	میانگین مربعات اصلاح شده	F مقدار	P مقدار
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
روش پیش خشک کردن	2	455.470	227.735	3465.10	0.000*
Pre-drying method					
محتوای رطوبتی	1	2.304	2.304	35.06	0.000*
Moisture content					
بلوک (شهرستان)	4	0.060	0.015	0.23	0.922 ^{ns}
Block (County)					
اثر متقابل دو فاکتور	2	4.668	2.334	35.51	0.000*
2-Way interactions					
خطا	80	5.258	0.066		
Error					
مجموع	89	482.939			
Total					

ضریب تبیین اصلاح شده
R²-adjusted=98.83%

* معنی دار در سطح احتمال پنج درصد، ns غیرمعنی دار

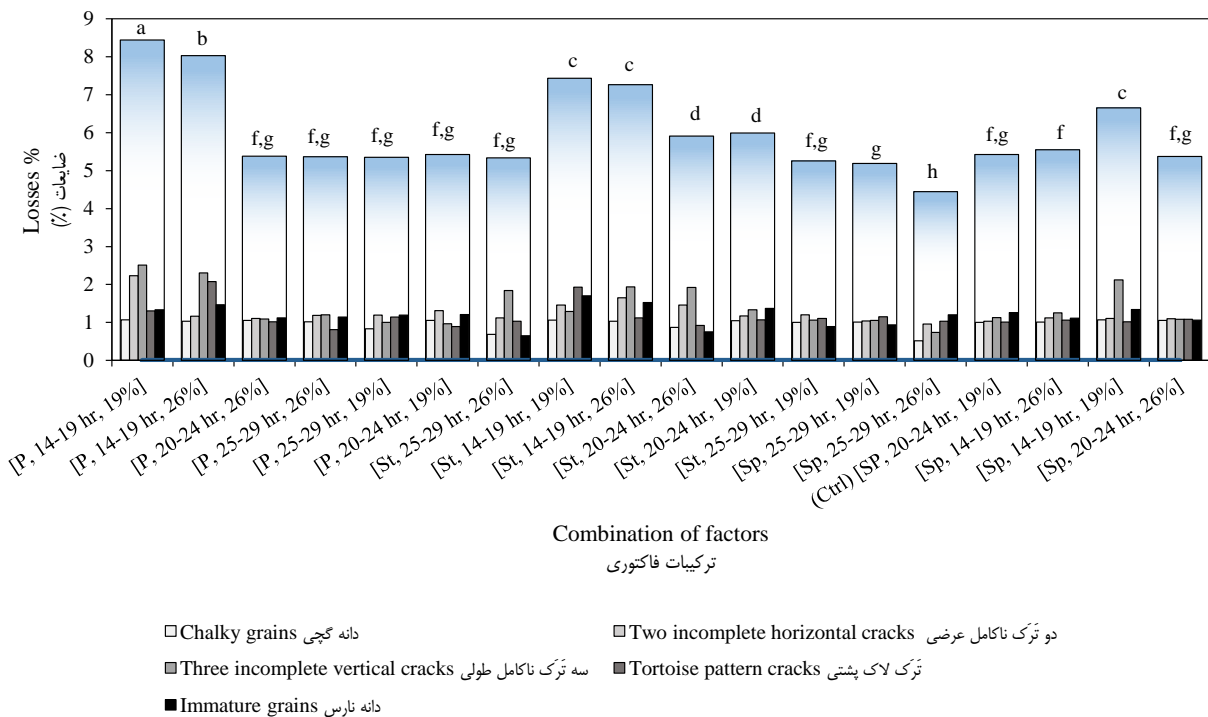
* Significant at 5% of probability level, ns= Non-Significant

اندوسپرم در زمان پرشدگی تاثیر می‌گذارند (Zhou et al., 2016; Gilani, AlamiSaeed, Siadat, & SeyyedNejad, 2012). دانه‌های گچی بر طعم و بوی محصول اثری ندارد، ولی بر بازده تبدیل موثرند. افزایش درصد دانه‌های گچی و نیز میزان ضایعات کل در دو روش پخش+پلاستیک و پخش کامل، با کاهش درصد رطوبت و در روش پخش پنج ساعت و توده (پخش+توده) با افزایش درصد رطوبت، رابطه مستقیم داشت. میانگین ضایعات کل در روش پخش+پلاستیک و پخش+توده نسبت به روش پخش کامل به ترتیب ۳/۹۵۸ برابر و ۲/۳۳۴ برابر بیشتر بود. میانگین ضایعات کل در سطح

با توجه به نتایج مقایسات میانگین (شکل ۲)، تفاوت چشم‌گیری در ایجاد دانه‌های گچی در استفاده از روش خشک کردن پنج ساعت و استفاده از پوشش پلاستیک (پخش+پلاستیک) وجود داشت. بدین صورت که دانه‌های گچی ناشی از قرارگیری در معرض دمای بالا و کمبود بسترهای نشاسته‌ای در اندوسپرم ظاهر شدند (Morita, Wada, & Matsue, 2016). همچنین، دانه‌های گچی علاوه بر شرایط تنش حرارتی، با توجه به تاثیری که از توزیع ناهمگون کود ازت و تراکم ناصحیح در فرآیندهای کشت و پرورش می‌گیرند، ایجاد می‌شوند و این دو عامل بر انباشت مواد به فرم نشاسته و پرشدن

رطوبتی ۲۶ و ۱۹ درصد به ترتیب ۴/۴۵۵ و ۴/۷۸۸ درصد بود. وجود دانه‌های نارس سبز در زمان برداشت در محتوای رطوبت بالاتر (۲۶ درصد)، در هر سه روش بیشتر بود که از این منظر با نتایج (Perdon, Siebenmorgen, & Mauromoustakos, 2000; Jodari & Linscombe, 1996) هم‌خوانی داشت. همین‌طور دماهای بالاتر، دلیل دیگر افزایش دانه‌های نارس در نواحی غربی و شمال شرقی ژاپن عنوان شده است (Terashima et al., 2001). محققین بیان کرده‌اند که دانه‌های برنج نارس، همواره بسته به نوع و شرایط آب و هوایی تا حدودی تشکیل می‌شوند (Bhattacharya & Ali, 2015). همین‌طور، دانه‌های نارس افزایش ۳۵/۷۱ درصدی در محتوای اسیدهای چرب آزاد و حساسیت بالا به فسادپذیری در زمان قرارگیری سه ماهه در دمای اتاق از خود نشان داده‌اند (Yilmaz, Yilmaz

از نظر شرایط محیطی و آب و هوایی با شروع تابستان دمای هوا افزایش یافته و از میزان بارندگی‌ها کم شده، و تبخیر و تعرق محصول افزایش می‌یابد. بنابراین ممکن است محصول در این دوره تا حدودی با کمبود آب مواجه شده و حدی از تنش خشکی را تجربه کند. تداوم این شرایط می‌تواند در هنگام پرشدن دانه‌ها، میزان فتوسنتز خالص و هدایت روزنه‌ای را در گیاه برنج کاهش داده و پیری برگ‌ها را تسریع کند (Zou et al., 2007)؛ که به تبع دستگاه فتوسنتزی تخریب شده و مقدار کلروفیل کاهش یافته و در نهایت دانه‌ها دارای ضایعات خواهند بود. در روش پخش+توده بین رطوبت‌های زمان برداشت تفاوت معناداری بر بروز ضایعات وجود نداشت.



شکل ۲- درصد ضایعات برنج قهوه‌ای در ترکیب فاکتوری مختلف
 Fig.2. Brown rice losses under different processing methods

فرآیند دوم

برای بررسی حالت‌های مختلف ضایعات، در فرآیند دوم در سطح مزرعه، ترکیبی از فرآیند اول (روش پیش خشک کردن و محتوای رطوبتی زمان برداشت) و فاصله‌های زمانی خشک کردن شالی در سطح مزرعه تا خرمکوبی در سه شهرستان بررسی شدند. اثر نتایج تجزیه واریانس اثرهای بلوک‌بندی، زمان خشک کردن و ترکیب‌های فاکتوری پیش خشک کردن در سطح مزرعه بر میزان ضایعات در جدول ۲ آورده شده است. با توجه به نتایج جدول ۲ به دلیل معناداری

کمترین و بیشترین درصد ضایعات بین ترکیب‌های فاکتوری، به ترتیب در سطح‌های رطوبتی ۲۶ و ۱۹ درصد در روش‌های پخش کامل و پخش+پلاستیک به‌طور میانگین، به‌میزان ۱/۴۶۵ درصد و ۷/۷۱۰ درصد مشاهده شد. همچنین، در روش پخش+توده در سطح رطوبتی ۱۹ درصد از بهترین ترکیب فاکتوری (پخش کامل در رطوبت ۲۶ درصد) دانه گچی کمتری به‌دست آمد. مجموع میزان ضایعات در روش پخش کامل در سطح رطوبتی ۲۶ درصد به‌طور چشم‌گیری از پخش کامل در سطح رطوبتی ۱۹ درصد (تیمار شاهد) کمتر بود.

داده شدند. علاوه بر این، نتایج مقایسات میانگین در شکل ۳ نشان داده شده است. براساس نتایج مقایسات میانگین (شکل ۳)، بیشترین درصد ضایعات در شرایط خرمکوبی ۱۴ تا ۱۹ ساعت پس از پخش+پلاستیک در سطح رطوبتی ۱۹ درصد به میزان ۸/۴۴۶ درصد بود که در این ترکیب فاکتوری، سهم دانه‌های ترک لاک‌پستی و دانه‌های گچی در مجموع ۵۶/۳۲ درصد بود.

اثر مدل خطی، اثرهای اصلی فاکتور مرحله اول خشک کردن و فاکتور زمان و اثر متقابل دو فاکتور در سطح ۵ درصد مشخص شد که رابطه تاثیرگذاری بین تیمار، مدلی خطی، و نیز فاکتورها و متغیر وابسته وجود داشت ($P < 0.05$). همین‌طور اثر بلوک‌بندی در انجام این آزمایش بی‌تاثیر بود ($P > 0.05$). مقدار ضریب تبیین اصلاح‌شده، نشان داد که ۹۶/۷۹ درصد از داده‌ها توسط مدل توضیح، توجیه و پوشش

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثرهای پیش خشک کردن، زمان، و اثرهای متقابل بر درصد ضایعات

Table 2- Analysis of variance of pre-drying, time, and interaction effects on the loss percentage

منبع تغییرات Source	درجه آزادی DF	مجموع مربعات اصلاح شده Adj SS	میانگین مربعات اصلاح شده Adj MS	F مقدار F-Value	P مقدار P-Value
مدل Model	19	186.705	9.8266	256.43	0.000*
بلوک (شهرستان) Block (City)	2	0.029	0.0144	0.38	0.687 ^{ns}
مدل خطی Linear model	7	160.068	22.8668	596.72	0.000*
روش پیش خشک کردن Pre-drying method	5	31.198	6.2395	162.82	0.000*
زمان Time	2	128.870	64.4349	1681.47	0.000*
اثر متقابل دو فاکتور 2-Way interactions	10	26.609	2.6609	69.44	0.000*
خطا Error	142	5.442	0.0383		
مجموع Total	161	192.147			
ضریب تبیین اصلاح شده R ² -adjusted= 96.79%					

* معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، ns غیرمعنی‌دار

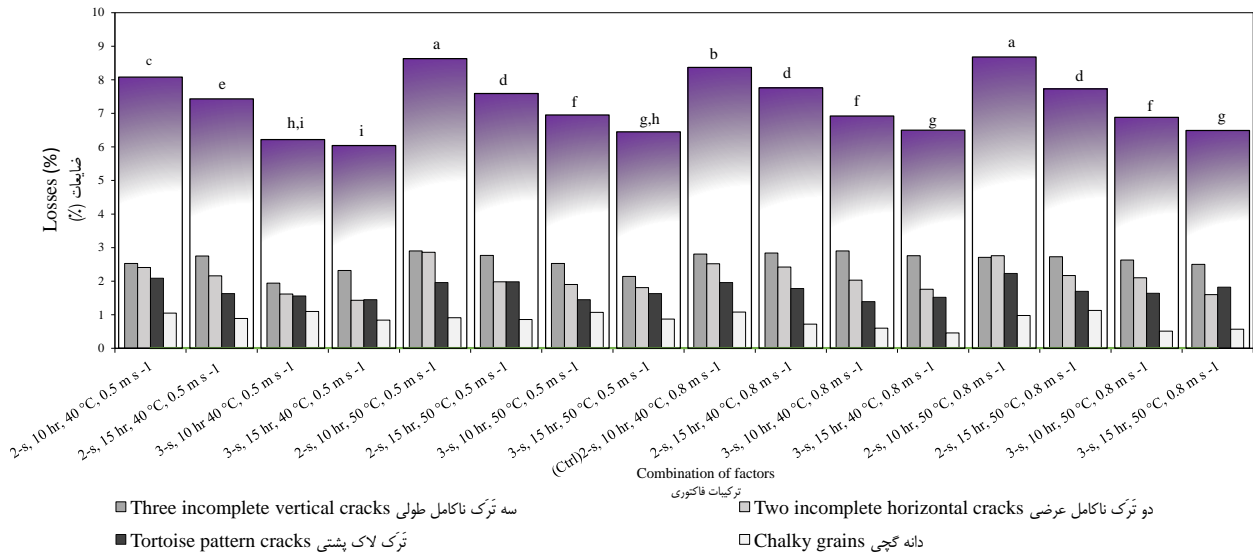
* Significant at 5% of probability level, ns= Non-Significant

نتایج مقایسات میانگین (شکل ۳) نشان داد که کمترین میزان ضایعات در فاصله زمانی ۲۵ تا ۲۹ ساعت خرمکوبی پس از پخش کامل در سطح رطوبتی ۲۶ درصد به میزان ۴/۴۴۳ درصد بود. در این ترکیب فاکتوری، به ترتیب سهم دانه‌های ترک لاک‌پستی، دانه نارس و دو ترک ناکامل عرضی از مجموع ضایعات به ترتیب ۲۳/۱۸۳، ۲۷/۰۰۹ و ۲۱/۵۴۰ درصد بود که به‌طور معناداری از ضایعات دانه‌های گچی و سه ترک بیشتر بود. سهم دانه‌های ترک‌دار در تیمار شاهد (پخش کامل ۲۰ تا ۲۴ ساعت و برداشت در محتوای رطوبتی ۱۹ درصد)، ۵۸/۳۲۰ درصد بود. دماهای بالای روز در طول مرحله پرشدن دانه در ایجاد ترک، تاثیر مستقیم دارد (Abayawickrama et al., 2017). علاوه بر این، در تیمار سوم، ترک‌ها، به دلیل افزایش گرادیان رطوبتی ناشی جذب سطحی ناشی از محبوس بودن دانه در زیر پوشش و قرار گیری در توده، و عدم امکان تنفس مطلوب و رطوبت نسبی بالای هوای اطراف دانه، ایجاد شد (Jodari &

Linscombe, 1996). ایشان علاوه بر رطوبت نسبی محیط، بارش و رطوبت نهایی زمان برداشت محصول را در بازه تبدیل موثر دانستند. بارش در طول دوره رشد محصول امری ناگزیر است. تغییرات آب و هوایی در فصل برداشت می‌تواند باعث ایجاد ترک شود؛ علاوه بر این، تنوع در روش‌های خشک کردن و نیز شرایط محیطی می‌تواند توزیع محتوای رطوبتی خاصی در مرکز و سطح دانه ایجاد کند که به واسطه قرارگیری در شرایط آب و هوایی مختلف، شکل‌های مختلفی از ترک ایجاد می‌شود (Siebenmorgen, Bautista, & Counce, 2007). در میان شکل‌های مختلف ضایعات، دانه‌های گچی در ترکیب‌های فاکتوری، درصد تقریباً ثابت تری داشت. همچنین، نتایج شکل ۳ نشان داد که مجموع ضایعات در سطح‌های رطوبتی ۱۹ و ۲۶ درصد بین فاصله زمانی ۲۰ تا ۲۴ ساعت روش خشک کردن پخش+توده و همچنین ۲۵ تا ۲۹ ساعت روش خشک کردن پخش+پلاستیک اختلاف معنادار آماری وجود نداشت. همچنین ۱۴ تا ۱۹ ساعت

مشاهده نشد.

پخش+توده تفاوت آماری بین سطح‌های رطوبتی ۱۹ و ۲۶ درصد



شکل ۳- درصد ضایعات برنج قهوه‌ای در ترکیب فاکتوری مختلف (P: روش پخش+پلاستیک، St: روش پخش+توده، Sp: روش پخش کامل، hr: ساعت پیش از خرمکوبی، %: محتوای رطوبتی زمان برداشت، Ctrl: تیمار شاهد)

Fig.3. Brown rice losses percent under different combinations of processing methods (P: Spread+Plastic, St: Spread+Stack, Sp: Spread, hr: hour before threshing, %: Moisture contents, and Ctrl: Control treatment)

شکل‌های مختلف ضایعات، دانه‌های گچی در ترکیب‌های فاکتوری، درصد تقریباً ثابت‌تری داشتند.

فرآیند سوم

برای مشخص شدن شکل‌های مختلف ضایعات، اثرهای روش خشک کردن در سطح کارخانجات (استراحت‌دهی)، سرعت باد و دمای خشک کردن، در قالب پنج بلوک (شهرستان) بررسی شدند. نتایج تجزیه واریانس در جدول ۳ آمده است. نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان از معناداری اثرهای تیمار، مدل خطی، و اثرهای اصلی فاکتورهای روش استراحت‌دهی، سرعت هوا و دما، و اثر متقابل دو فاکتور روش و دمای خشک کردن و روش استراحت‌دهی و سرعت هوا داشت. با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳)، فاکتور دما در تقابل با سرعت هوا تاثیر چشم‌گیری بر متغیر پاسخ، در سطح پنج درصد نداشت ($P > 0.05$). مقدار ضریب تبیین اصلاح شده ۸۸/۱۴ درصد، نشان از صحت بالای مدل داشت. علاوه بر این، نتایج مقایسات میانگین در شکل ۴ آمده است. نتایج مقایسات میانگین، نشان داد بیشینه و کمینه میزان ضایعات به ترتیب در روش‌های دو مرحله‌ای با ده ساعت استراحت‌دهی و سه مرحله‌ای با ۱۵ ساعت استراحت‌دهی، دمای خشک کن ۵۰ و ۴۰ درجه سلسیوس، و سرعت باد ۰/۸ و ۰/۵ متر بر ثانیه صورت پذیرفت. علی‌رغم این‌که، از نظر کمترین میزان ضایعات، تفاوت معناداری در روش سه مرحله‌ای در زمان استراحت‌دهی ۱۰ ساعت و ۱۵ ساعت در دمای ۴۰ درجه

علاوه بر این، با توجه به شکل ۳، تفاوت معنادار آماری در سطح رطوبتی ۱۹ درصد در فاصله زمانی ۲۰ تا ۲۴ ساعت و ۲۶ درصد در فاصله زمانی ۱۴ تا ۱۹ ساعت در خشک کردن پخش+توده وجود داشت. دانه‌های ضعیف در تیمار اول به دلیل قرارگیری در معرض تابش بیشتر خورشید، شکننده‌تر شده و این عامل موجب ایجاد ترک شد. به طور معمول سه هفته تا یک ماه پس از شروع خوشه‌زایی، دانه به شکل سبز نارس می‌باشد (Hoon, Kim, Ha, & Park, 2016). نتایج تحقیقی که بر روی برنج دانه بلند مزارع کالیفرنیا انجام شده، نشان داده است که هرچه مدت ماندگاری شالی‌ها در مزارع کمتر باشند (محتوای رطوبت محصول بیشتر باشند) و زودتر وارد مرحله‌ی خشک کردن در کارخانه‌های تبدیل شوند، افزایش چشم‌گیری در سطوح متابولیت‌های میکروبی فرار و ضایعات ناشی از آن‌ها می‌شوند (Champagne et al., 2004). میانگین ضایعات در فاصله زمانی ۱۴ تا ۲۰، ۲۴ و ۲۵ تا ۲۹ ساعت به ترتیب ۵/۱۵۶، ۵/۵۸۵، ۷/۲۲۹ درصد بود. همین‌طور، استفاده از روش پخش کامل ۲۵ تا ۲۹ ساعت و برداشت در محتوای رطوبتی ۲۶ درصد نسبت به پخش کامل ۲۰ تا ۲۴ ساعت و برداشت در محتوای رطوبتی ۱۹ درصد (تیمار شاهد)، بیشترین تاثیر را از لحاظ کاهش درصد دانه‌های گچی و سه ترک نامکمل طولی به ترتیب به میزان ۹۴/۳۷۹ و ۵۲/۱۶۲ درصد داشت و فقط این ترکیب فاکتوری از نظر آماری اختلاف چشم‌گیری در کاهش ضایعات کل (۲۲/۲۲۳ درصد) نسبت به تیمار شاهد داشت. در میان

مطالعه‌ای بر روی شلتوک با محتوای رطوبتی ۱۶ و ۲۰/۵ درصد با رطوبت نسبی هوا ۱۳ و ۵۷ درصد در سه آهنگ جریان هوا ۰/۳۶، ۰/۴۶ و ۰/۵۶ متر مکعب بر ثانیه نشان داده که هرچه شدت خشک کردن بیشتر باشد و محتوای رطوبتی کمتر از حالت تعادل باشد، میزان گرادیان مواد نشاسته‌ای دانه بیشتر شده که این مسئله موجب درصد ترک بیشتر شده است (Mukhopadhyay & Siebenmorgen, 2018). نتایج بررسی دیگری نشان داده است که سرعت جریان هوا تاثیر معناداری در سطح ۵ درصد بر برنج سفید سالم نداشته است؛ همین‌طور حالت بهینه متغیرها در دمای ۲۵ درجه سلسیوس، زمان خشک کردن ۶۰۰ دقیقه، و سرعت جریان باد یک متر بر ثانیه با میزان برنج سفید سالم ۷۳/۹۳ درصد مشاهده شده است (Soomro, Chen, & Soomro, 2020).

سلسیوس و سرعت باد ۰/۵ متر بر ثانیه وجود نداشت. همین‌طور در سرعت باد ۰/۸ متر بر ثانیه تفاوت معنادار آماری بین روش‌های مختلف استراحت‌دهی در دمای بین ۴۰ و ۵۰ درجه سلسیوس مشاهده نشد. همچنین، از میان روش‌های استراحت‌دهی در سرعت باد ۰/۵ متر بر ثانیه، با افزایش دما میزان ضایعات به‌طور معناداری افزایش یافت. اگرچه در سرعت باد ۰/۸ متر بر ثانیه به‌جز در روش استراحت‌دهی دو مرحله‌ای ۱۰ ساعت، چنین روندی وجود نداشت. همچنین، بررسی مقایسه‌ها نشان داد که همه روش‌های استراحت‌دهی غیر از روش استراحت‌دهی دو مرحله‌ای ۱۰ ساعت، در دمای ۵۰ درجه سلسیوس و سرعت هوای ۰/۵ و ۰/۸ متر بر ثانیه نسبت به تیمار شاهد عملکرد بهتری داشتند. نتایج بررسی نشان داده است سرعت باد ۲/۶۵ نسبت به چهار متر بر ثانیه در دمای خشک کردن ۵۰ درجه سلسیوس تاثیر چشم‌گیری بر کاهش درصد شکست دانه داشته است (Ghodrati & Kalantari, 2016). نتایج

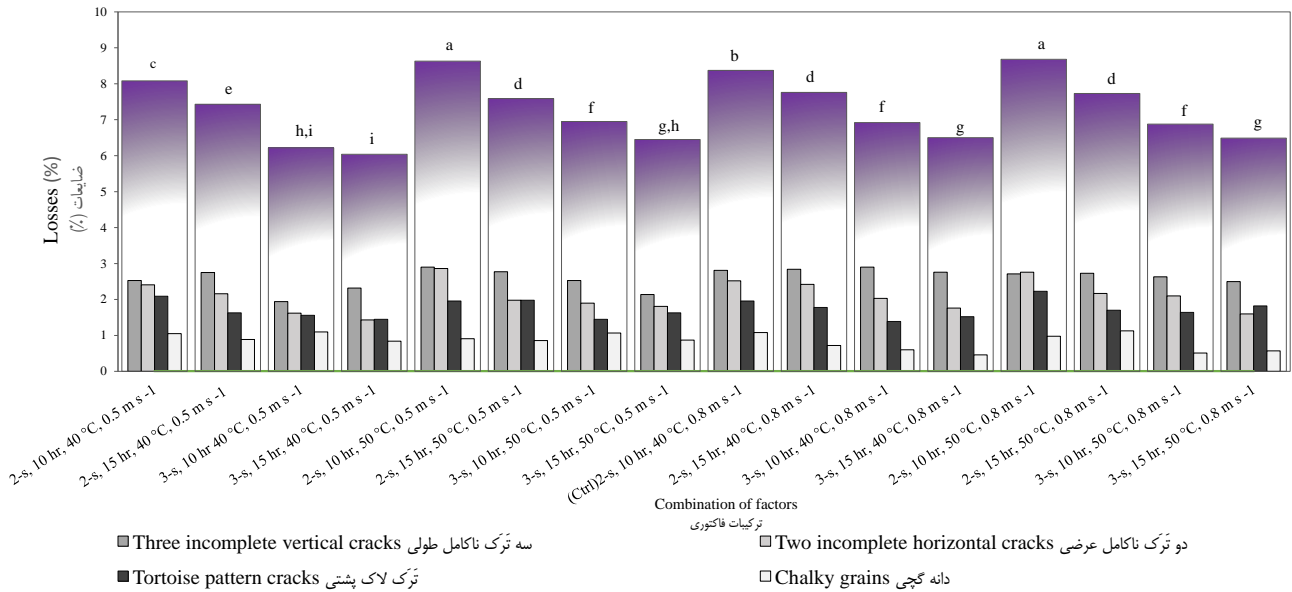
جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثرهای روش استراحت‌دهی، سرعت هوا، دما، و اثرهای متقابل بر درصد ضایعات

Table 3- Analysis of variance of tempering method, air velocity and temperature, and interaction effects on the losses

منبع تغییرات Source	درجه آزادی DF	مجموع مربعات اصلاح شده Adj SS	میانگین مربعات اصلاح شده Adj MS	F مقدار F-Value	P مقدار P-Value
مدل Model	19	168.084	8.8465	94.49	0.000*
بلوک (شهرستان) Block (City)	4	0.227	0.0568	0.61	0.658*
مدل خطی Linear model	5	163.341	32.6682	348.93	0.000*
دما Temperature	1	4.499	4.4991	48.05	0.000*
سرعت هوا Air velocity	1	3.179	3.1786	33.95	0.000*
استراحت‌دهی Tempering	3	155.663	51.8877	554.21	0.000*
اثر متقابل دو فاکتور 2-Way interactions	7	3.854	0.5506	5.88	0.000*
استراحت‌دهی × سرعت هوا Air velocity × Tempering	3	2.752	2.7520	29.39	0.000*
استراحت‌دهی × دما Temperature × Tempering	3	0.894	0.2979	3.18	0.025*
دما × سرعت هوا Temperature × Air velocity	1	0.209	0.0695	0.74	0.528 ^{ns}
اثر متقابل سه فاکتور 3-Way interactions	3	0.662	0.2206	2.36	0.073 ^{ns}
خطا Error	220	20.597	0.0936		
مجموع Total	239	188.681			
ضریب تبیین اصلاح شده R ² -adjusted= 88.14%					

* معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، ns غیرمعنی‌دار

*Significant at 5% of probability level, ns= Non-Significant



شکل ۴- درصد ضایعات برنج قهوه‌ای در ترکیب‌های فاکتوری (2, 3-S: 2, دو و سه مرحله‌ای، hr: زمان استراحت‌دهی، °C: دمای خشک‌کردن، m s⁻¹: سرعت جریان باد، Ctrl: تیمار شاهد)

Fig.4. Brown rice losses percent under different processing methods (2, 3-S: 2, 3-stage, hr: Tempering hours, °C: Drying temperature, m s⁻¹: Air velocity, and Ctrl: Control treatment)

سرعت باد ۰/۵ متر بر ثانیه، تحت دمای ۴۰ درجه سلسیوس تفاوت چشم‌گیر آماری در سطح ۵ درصد وجود نداشت. از این روی، پیشنهاد می‌شود به لحاظ اهمیت زمان‌بندی در مدیریت واحد خشک‌کن‌ها از سریع‌ترین زمان استراحت‌دهی مطلوب استفاده شود. مجموع ضایعات در ترکیب فاکتوری تیمارهای شاهد ۱۶/۱۳۵ درصد بود. این در حالی است که نتیجه تحقیق حاضر نشان داد در بهترین ترکیب فاکتوری از پیش خشک‌کردن در مزرعه تا پس از خشک‌کردن در کارخانه (استراحت‌دهی) می‌توان این میزان را به ۱۱/۹۳۳ درصد کاهش داد، که لزوم توجه هرچه بیشتر شالی‌کاران و مدیریت کارخانجات تبدیل را می‌طلبد.

سپاسگزاری

از معاونت محترم پژوهشی و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد برای تأمین اعتبار این پژوهش سپاسگزاری می‌شود.

نتیجه‌گیری

در بررسی عوامل موثر بر ایجاد ضایعات در برنج قهوه‌ای، روش پخش کردن کامل در سطح مزرعه (با محتوای رطوبت نهایی برداشت ۲۶ درصد در بازه زمانی ۲۵ تا ۲۹ ساعت خشک‌کردن پیش از خرمکوبی)، کمترین میزان ضایعات را نسبت به تیمار شاهد (برداشت در محتوای رطوبتی ۱۹ درصد در بازه زمانی ۲۰ تا ۲۴ ساعت خشک‌کردن پیش از خرمکوبی) داشت. پیش خشک‌کردن پنج ساعت و استفاده از توده‌سازی و پوشش پلاستیک به لحاظ تأثیری که بر افزایش میزان ضایعات برنج قهوه‌ای دارند، توصیه نمی‌شود. علاوه بر این، در سطح کارخانجات تبدیل، روش استراحت‌دهی سه مرحله‌ای ۱۵ ساعت، سرعت باد ۰/۵ متر بر ثانیه و دمای ۴۰ درجه سلسیوس با اختلاف مقدار میانگین ۲/۶۲۰ درصد نسبت به روش استراحت‌دهی دو مرحله‌ای ۱۰ ساعت، سرعت باد ۰/۸ متر بر ثانیه و دمای ۴۰ درجه سلسیوس (تیمار شاهد) کمترین میزان ضایعات را داشت، اما بین ۱۰ و ۱۵ ساعت زمان استراحت‌دهی در روش استراحت‌دهی سه مرحله‌ای با

References

1. Abayawickrama, A. S. M. T., Reinke, R. F., Fitzgerald, M. A., Harper, J. D., & Burrows, G. E. (2017). Influence of high daytime temperature during the grain filling stage on fissure formation in rice. *Journal of Cereal Science*, 74, 256-262. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.02.013>
2. Allameh, A., & Alizadeh, M. R. (2013). Evaluating rice losses in delayed rough rice drying. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4(4), 799-804.
3. Anonymous. (2018). Crops. Office of statistics and information technology. Department of Planning and Economics. Ministry of Jihad-e-Agriculture of Iran. pp.87. (In Persian).

4. ASAE. (1998). ASAE Standard D245.5: Moisture Relationships of Plant-based Agricultural Products. St. Joseph, MI.
5. Bhattacharya, K. R., & Ali, S. Z. (2015). *An introduction to rice-grain technology*. CRC Press. USA. <https://doi.org/10.1201/b18904>
6. Bootkote, P., Soponronnarit, S., & Prachayawarakorn, S. (2016). Process of producing parboiled rice with different colors by fluidized bed drying technique including tempering. *Food and Bioprocess Technology*, 9(9), 1574-1586. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11947-016-1737-7>
7. Champagne, E. T., Thompson, J. F., Bett-Garber, K. L., Mutters, R., Miller, J. A., & Tan, E. (2004). Impact of storage of freshly harvested paddy rice on milled white rice flavor. *Cereal Chemistry*, 81(4), 444-449. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2004.81.4.444>
8. Dong, R., Lu, Z., Liu, Z., Koide, S., & Cao, W. (2010). Effect of drying and tempering on rice fissuring analysed by integrating intra-kernel moisture distribution. *Journal of Food Engineering*, 97(2), 161-167. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.10.005>
9. Eshtavad, R., Kalantari, D., Hashemi, S., & Pirdashti, H. (2016). Influence of drying rate and tempering period on the paddy breakage in the thin layer drying method. *Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology*, 5(1), 87-104. (In Persian). <https://doi.org/10.22101/JRIFST.2016.06.01.517>
10. Gazor, H., & Moumeni, A. (2019). Comparison of the paddy drying process and milling quality between re-circulating and conventional batch type dryers. *Journal of Agricultural Machinery*, 9(2), 365-374. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jam.v9i2.72761>
11. Ghodrati, A., & Kalantari, D. (2016). Investigation the influence of variety, temperature and air velocity parameters in qualitative performance of a thin layer paddy dryer. *Innovative Food Technologies*, 4(1), 93-102. (In Persian). <https://doi.org/10.22104/jift.2016.331>
12. Gilani, A., AlamiSaeed, K., Siadat, S. A., & SeyyedNejad, M. (2012). Study of heat stress effect on rice cultivars grain milling quality in Khuzestan. *Crop Physiology*, 4(14), 5-21. (In Persian).
13. Gimenez, E., Salinas, M., & Manzano-Agugliaro, F. (2018). Worldwide research on plant defense against biotic stresses as improvement for sustainable agriculture. *Sustainability*, 10(2), 391. <https://doi.org/10.3390/su10020391>
14. Golmohammadi, M., Rajabi-Hamane, M., & Hashemi, S. J. (2012). Optimization of drying-tempering periods in a paddy rice dryer. *Drying Technology*, 30(1), 106-113. <https://doi.org/10.1080/07373937.2011.618281>
15. Heidari Soltanabadi, M., Malek, S., Ghazvini, H. R., Shaaker, M., & Hedayati Zadeh, 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).
16. Hoon, K., Kim, O. W., Ha, A.W., & Park, S. (2016). Determination of optimal harvest time of chuchung variety green rice[®] (*Oryza sativa* L.) with high contents of GABA, γ -oryzanol, and α -tocopherol. *Preventive Nutrition and Food Science*, 21(2), 97. <https://doi.org/10.3746/pnf.2016.21.2.97>
17. Jodari, F., & Linscombe, S. D. (1996). Grain fissuring and milling yields of rice cultivars as influenced by environmental conditions. *Crop Science*, 36(6), 1496-1502. <https://doi.org/10.2135/CROPSCI1996.0011183X003600060014X>
18. Khodabakhshi Pour, M., Alizadeh, M. R., Bolouki, M. S., & Ghasemi, A. (2011). Effect of paddy moisture content, drum speed and feed rate on the qualitative losses in a paddy axial flow-thresher. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 42(1), 37-41. (In Persian).
19. Krzyżanowski, M., Kuna-Dibbert, B., & Schneider, J. (Eds.). (2005). Health effects of transport-related air pollution. WHO Regional Office Europe.
20. Li, X. J., Wang, X., Li, Y., Jiang, P., & Lu, H. (2016). Changes in moisture effective diffusivity and glass transition temperature of paddy during drying. *Computers and Electronics in Agriculture*, 128, 112-119. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.08.025>
21. Mohajeran, S. H., Khoshtaghaza, M. H., & Moazami Gudarzi, A. (2006). Effect of rough rice temperature and air velocity on grain crack during infrared radiation drying. *Food Science and Technology*, 3(9), 57-66. (In Persian).
22. Morita, S., Wada, H., & Matsue, Y. (2016). Counter measures for heat damage in rice grain quality under climate change. *Plant Production Science*, 19(1), 1-11. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2015.1128114>
23. Mukhopadhyay, S., & Siebenmorgen, T. J. (2018). Effect of airflow rate on drying air and moisture content profiles inside a cross-flow drying column. *Drying Technology*, 36(11), 1326-1341. <https://doi.org/10.1080/07373937.2017.1402024>
24. Perdon, A., Siebenmorgen, T. J., & Mauromoustakos, A. (2000). Glassy state transition and rice drying: Development of a brown rice state diagram. *Cereal Chemistry*, 77(6), 708-713. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2000.77.6.708>
25. Poomsa-ad, N., Soponronnarit, S., Prachayawarakorn, S., & Terdyothin, A. (2002). Effect of tempering on subsequent drying of paddy using fluidisation technique. *Drying Technology*, 20(1), 195-210. <https://doi.org/10.1081/DRT-120001374>
26. Sadeghi, M., Ghasemi, A., & Mireei, S. A. (2016). Rough rice stress fissuring with respect to conditions of drying

- and tempering processes. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 47(2), 278-269. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ijbse.2016.58776>
27. Siebenmorgen, T. J., Bautista, R. C., & Counce, P. A. (2007). Optimal harvest moisture contents for maximizing milling quality of long-and medium-grain rice cultivars. *Applied Engineering in Agriculture*, 23(4), 517-527. <https://doi.org/10.13031/2013.23476>
28. Soomro, S. A., Chen, K., & Soomro, S. A. (2020). Mathematical modelling and optimisation of low-temperature drying on quality aspects of rough rice. *Journal of Food Quality*, 2020(3), 1-10. <https://doi.org/10.1155/2020/6501257>
29. TajaddodiTalab, K. (2005). The effect of multi passes drying on milling yield and drying time of paddy. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 6, 113-124. (In Persian).
30. Terashima, K., Saito, Y., Sakai, N., Watanabe, T., Ogata, T., & Akita, S. (2001). Effects of high air temperature in summer of 1999 on ripening and grain quality of rice. *Japanese Journal of Crop Science*, 70(3), 449-458. (Japanese with English abstract). <https://doi.org/10.1626/JCS.70.449>
31. Truong, T., Truong, V., Fukai, S., & Bhandari, B. (2012). Changes in cracking behavior and milling quality of selected Australian rice varieties due to post drying annealing and subsequent storage. *Drying Technology*, 30(16), 1831-1843. <https://doi.org/10.1080/07373937.2012.710692>
32. Tsukaguchi, T., & Iida, Y. (2008). Effects of assimilate supply and high temperature during grain-filling period on the occurrence of various types of chalky kernels in rice plants (*Oryza sativa* L.). *Plant Production Science*, 11(2), 203-210. <https://doi.org/10.1626/ppp.11.203>
33. Udomkun, P., Romuli, S., Schock, S., Mahayothee, B., Sartas, M., Wossen, T., Njukwe, E., Vanlauwe, B., & Müller, J. (2020). Review of solar dryers for agricultural products in Asia and Africa: An innovation landscape approach. *Journal of Environmental Management*, 268, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110730>
34. Xangsayasane, P., Vongxayya, K., Phongchanmisai, S., Mitchell, J., & Fukai, S. (2019). Rice milling quality as affected by drying method and harvesting time during ripening in wet and dry seasons. *Plant Production Science*, 22(1), 98-106. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2018.1544463>
35. Yılmaz, F., Yılmaz Tuncel, N., & Tuncel, N. B. (2018). Stabilization of immature rice grain using infrared radiation. *Food Chemistry*, 253, 269-276. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.172>
36. Zhou, C., Huang, Y., Jia, B., Wang, Y., Wang, Y., Xu, Q., Li, R., Wang, S., & Dou, F. (2016). Effects of cultivar, nitrogen rate, and planting density on rice-grain quality. *Agronomy*, 8(11), 246. <https://doi.org/10.3390/agronomy8110246>
37. Zou, G. H., Liu, H. Y., Mei, H. W., Liu, G. L., Yu, X. Q., Li, M. S., Wu, J. H., Chen, L., & Luo, L. J. (2007). Screening for drought resistance of rice recombinant inbred populations in the field. *Journal of Integrative Plant Biology*, 49(10), 1508-1516. <https://doi.org/10.1111/j.1672-9072.2007.00560.x>