

اثر شرایط خشک کردن متناوب بر درصد ترکخوردگی و زمان فرآیند برای ارقام دانه‌بلند و دانه‌متوسط شلتوك

علی قاسمی^۱، مرتضی صادقی^{۲*} و سید احمد میرهای^۳

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۸/۴)

چکیده

از جمله عوامل تأثیرگذار بر کیفیت تبدیل برنج، ترک‌های درونی ایجاد شده طی فرآیند خشک کردن و پس از آن می‌باشند. اکثر کشورهای صنعتی برای تسريع در خشک شدن دانه و حفظ کیفیت محصول نهایی از روش متناوب برای کاهش رطوبت شلتوك استفاده می‌کنند. با توجه به درصد بالای شکستگی برنج کشور در شالیکوبی‌ها، انجام فرآیند خشک کردن متناوب و بهینه‌سازی آن برای ارقام برنج ایرانی ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق اثر فرآیندهای خشک کردن متناوب (خشک کردن - استراحت دهی چند مرحله‌ای) و پیوسته (فاقد استراحت دهی) بر درصد ترکخوردگی و زمان خشک شدن شلتوك دو رقم هاشمی (دانه‌بلند) و کوهسار (دانه‌متوسط) مطالعه شد. آزمایش‌های خشک کردن متناوب و پیوسته در دمای ۶۰ درجه سلسیوس، زمان‌های خشک کردن ۲۰، ۴۰ و ۶۰ دقیقه و زمان‌های استراحت دهی صفر (خشک کردن پیوسته)، ۴۰، ۸۰، ۱۲۰، ۱۶۰ و ۲۰۰ دقیقه انجام شدند. نتایج نشان داد که انجام فرآیند استراحت دهی، اثر قابل ملاحظه‌ای بر کاهش مدت فرآیند خشک کردن و درصد ترکخوردگی دانه دارد. هم‌چنین مشاهده شد که پس از گذشت زمانی مشخص، افزایش زمان استراحت دهی اثر معنی داری بر درصد ترکخوردگی دانه ندارد. در مجموع، برای بهینه‌سازی فرآیند خشک کردن متناوب از نظر کاهش مصرف انرژی و ضایعات برای ارقام کوهسار و هاشمی به ترتیب انجام عملیات استراحت دهی به مدت‌های ۱۶۰ و ۲۰۰ دقیقه بعد از خشک کردن به مدت ۴۰ دقیقه نتیجه تغییری شد. هم‌چنین با توجه به بالاتر بودن درصد ترکخوردگی شلتوك کوهسار نسبت به رقم هاشمی، می‌توان چنین نتیجه گرفت که خواص فیزیکی دانه مانند ضریب رعنایی در ترکخوردگی آن مؤثر است.

واژه‌های کلیدی: استراحت دهی، ترکخوردگی، خشک کردن متناوب، شلتوك، شب‌های رطوبتی

۱، ۲ و ۳. بهترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار، گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

*. مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: sadeghimor@cc.iut.ac.ir

مقدمه

دارند. این تفاوت‌ها هم به مسائل ژنتیکی و هم به خصوصیات ظاهری دانها بستگی دارند. به طورکلی ارقام دانه‌بلند مقاومت کمتری در مقابل نیروهای خمسمی و فشاری دارند. خواص فیزیکی دانه برنج از عوامل مؤثر بر کیفیت تبدیل آن می‌باشد. بنابراین، نوع رقم می‌تواند تأثیر بهسازی بر شکنندگی آن داشته باشد (۱۰).

امروزه اکثر کشورهای صنعتی به منظور تسريع در عملیات خشک شدن دانه و حفظ کیفیت محصول نهایی از روش خشک کردن متناسب برای کاهش محتوای رطوبتی محصولات حساس به حرارت از جمله شلتوك استفاده می‌کنند (۲). در این روش در بین مراحل خشک کردن، محصول در محلی که اجازه تبادل رطوبت با محیط بیرون را ندارد، برای زمانی مشخص و در یک دمای معین نگهداری می‌شود که به آن فرآیند استراحت‌دهی گفته می‌شود. فرآیند استراحت‌دهی با کاهش شبکهای رطوبتی از ایجاد ترک در داخل دانه تا حد زیادی جلوگیری می‌کند و باعث افزایش عملکرد برنج سالم می‌گردد. هم‌چنین با انجام فرآیند استراحت‌دهی، حذف رطوبت در مراحل بعدی خشک کردن با سرعت بیشتری انجام خواهد شد که در نتیجه، کاهش مصرف انرژی و افزایش ظرفیت کاری خشککن را به دنبال خواهد داشت (۱۵).

طبق استاندارد ۱۲۷ مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، براساس طول و ضریب رعنایی (نسبت طول به قطر)، برنج دانه‌بلند به برنجی گفته می‌شود که طول آن حداقل ۶/۸ میلی‌متر بوده و نسبت طول به قطر آن حداقل ۳ باشد. برنج دانه‌متوسط به برنجی گفته می‌شود که طول آن حداقل ۶ میلی‌متر بوده و نسبت طول به قطر آن حداقل ۲/۱ باشد و برنج دانه‌کوتاه برنجی است که طول آن حداقل ۵ میلی‌متر و نسبت طول به قطر آن ۲ باشد (۶).

اکثر تحقیقات انجام شده در کشور در زمینه مطالعه و مدل‌سازی سیستمیک خشک شدن شلتوك به شیوه مرسوم (بدون عملیات استراحت‌دهی) بوده و تحقیقات کمی در رابطه با تأثیر روش‌های مختلف خشک کردن بر کیفیت نهایی شلتوك انجام

برنج یکی از قدیمی‌ترین محصولات غله‌ای است که پس از گندم بیشترین سطح زیر کشت اراضی جهان را به خود اختصاص داده و بنابراین، یکی از مهم‌ترین مواد غذایی بشر محسوب می‌شود. عمدۀ کشت این محصول در استان‌های گیلان و مازندران صورت می‌گیرد که حدود ۷۵ درصد کل برنج کشور را تشکیل می‌دهد. واردات برنج در سال ۱۳۹۲، ۱/۸۷ میلیون تن بوده است و خودکفایی در تولید آن از اهداف راهبردی کشور است (۵). با توجه به افزایش جمعیت و لزوم خودکفایی در تولید برنج، کاهش ضایعات در فرآیند تبدیل شلتوك به برنج سفید از موارد مهم در افزایش تولید محسوب می‌شود. برنج عموماً در رطوبت بالا (۲۵ تا ۳۵ درصد بر پایه تر) برداشت می‌شود که برای انجام فرآیند تبدیل و هم‌چنین جلوگیری از فساد محصول در انبار باید محتوای رطوبتی آن به مقداری مشخص (۱۲ - ۱۴ درصد بر پایه تر) کاهش یابد (۱۸).

از جمله عواملی که کیفیت برنج را تحت تأثیر قرار می‌دهند، ترک‌های درونی ایجاد شده طی فرآیند خشک کردن و پس از آن می‌باشند. این ترک‌ها مقاومت دانه به شکست را به طور قابل توجهی کاهش می‌دهند (۱۳ و ۱۴). خشک کردن فرآیندی است که طی آن پدیده‌های انتقال حرارت از منبع گرمایش به سطح محصول و از سطح محصول به مرکز آن و انتقال جرم (رطوبت) از قسمت‌های داخلی محصول به سطح آن و از سطح به محیط به طور همزمان رخ می‌دهند. از آنجا که دفع رطوبت از دانه، از سطوح بیرونی شروع می‌شود، در هنگام خشک کردن، سطوح بیرونی نسبت به سطوح درونی رطوبت کمتری پیدا می‌کنند. این شبکهای رطوبتی درون دانه باعث ایجاد تنفس‌های کشنشی در سطح و تنفس‌های فشاری در داخل دانه می‌شوند که چنان‌چه مقدار آنها از مقاومت دانه به ترک تجاوز کند، سبب ایجاد ترک درون دانه برنج می‌شوند (۱۹). ترک‌های ایجاد شده درون دانه طی فرآیند خشک کردن، حین انجام فرآیند تبدیل شلتوك به برنج سفید شکسته شده و سبب افزایش خرده برنج می‌شوند. ارقام مختلف در مقابل تنفس‌های اعمال شده مقاومت مختلفی

طی تحقیقی فرآیند خشک کردن شلتوك به روش بستر ثابت، نیمهسیال و سیال از نظر مقدار ترکخوردگی مقایسه شد. آزمایش‌های خشک کردن در سه سطح دمای ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درجه سلسیوس انجام شد (۸). نتایج نشان داد که روش نیمهسیال نسبت به دو روش دیگر کمترین مقدار ترکخوردگی دانه را به دنبال داشت. همچنین با افزایش دما ترکخوردگی دانه افزایش نشان داد. در تحقیق انجام شده بر روی ارقام برنج بنگال (دانه‌متوسط) و سایپرس (دانه‌بلند) مشخص شد که انجام عملیات استراحت‌دهی بلافاصله پس از عملیات خشک کردن تأثیر قابل توجهی بر عملکرد برنج سالم داشت و سبب افزایش آن گردید (۳).

در ایران برای خشک کردن شلتوك از روش خشک کردن پیوسته استفاده می‌شود که سبب افزایش درصد ترکخوردگی دانه و کاهش ارزش کیفی و تجاری دانه می‌شود. با توجه به درصد بالای شکستگی برنج در شالیکوبی‌ها (حدود ۳۰ - ۲۰ درصد) از یک سو و مطالعات کم انجام شده در زمینه بهینه‌سازی خشک کردن متناوب برنج‌های ایرانی از سوی دیگر، این تحقیق با هدف مطالعه اثر فرآیند خشک کردن و استراحت‌دهی بر درصد ترکخوردگی دانه، زمان فرآیند و تعیین شرایط مناسب انجام این فرآیند برای ارقام هاشمی (دانه‌بلند) و کوهسار (دانه‌متوسط) صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

تهیه و آماده‌سازی نمونه‌ها

در این پژوهش به منظور مطالعه اثر رقم، آزمایش‌ها برای دو رقم شلتوك دانه‌متوسط و دانه‌بلند انجام شدند. رقم کوهسار (IRTON2) به عنوان رقم دانه‌متوسط که در شهریور ماه سال ۱۳۹۰ از مزرعه مرکز تحقیقات برنج آمل برداشت شده بود، انتخاب شد. همچنین رقم طارم هاشمی که در شهریور ماه سال ۱۳۹۰ از مزرعه‌ای در شهرستان آستانه‌اشترفیه استان گیلان برداشت شده بود، به عنوان رقم دانه‌بلند انتخاب گردید. نمونه‌ها بلافاصله پس از برداشت تمیز شده و کاهوکلش موجود در آنها

گرفته است. طی تحقیقی اثر شرایط خشک کردن سریع و ملایم در چهار بازه زمانی مختلف در یک مرحله از خشک کردن همراه با انجام فرآیند استراحت‌دهی در زمان‌های مختلف بر درجه سفیدی جرمی و نوری دو رقم شفق (دانه‌بلند) و سازندگی (دانه‌متوسط) مورد مطالعه قرار گرفت (۱۲). نتایج نشان داد که با افزایش زمان خشک کردن، تحت هر دو شرایط خشک کردن سریع و ملایم، درجه سفیدی جرمی و نوری دانه‌های برنج افزایش می‌یابد که شبیه این افزایش، در شرایط خشک کردن سریع نسبت به شرایط خشک کردن ملایم بیشتر بود. انجام فرآیند استراحت‌دهی برای این دو رقم تحت شرایط خشک کردن آرام نیز بر درجه سفیدی جرمی به‌طور معنی‌داری مؤثر بود. در تحقیقی دیگر نشان داده شد که افزایش دما از ۳۰ به ۷۰ درجه سلسیوس، افزایش سرعت جریان هوا از ۰/۵ به ۲ متر بر ثانیه و کاهش رطوبت نهایی از ۱۴ به ۱۰/۵ درصد (بر پایهٔ تر) باعث افزایش شکستگی محصول می‌شود. طی این مطالعه مشخص شد که مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر شکستگی برنج، نخست دما و سپس رطوبت نهایی محصول است. همچنین مشخص شد که اثر نامطلوب حاصل از افزایش دما و سرعت جریان هوا را می‌توان با ممانعت از کاهش زیاد از حد رطوبت محصول حین خشک شدن کنترل کرد (۹). تحقیقات انجام شده برای شلتوك رقم خزر، کاهش زمان خشک کردن را هم‌زمان با افزایش تعداد توقف حین عملیات خشک کردن نشان داد. این موضوع از نظر صرفه‌جویی انرژی در کارخانه‌های برنج کوبی اهمیت دارد (۱۶). بررسی اثر دما و سرعت جریان هوا بر ترکخوردگی شلتوك رقم هاشمی طی خشک کردن به دو روش مادون قرمز و جریان هوای گرم نشان داد که در هر دو روش، دمای شلتوك و سرعت جریان هوا اثر معنی‌داری بر ترکخوردگی شلتوك دارند و با افزایش دما و کاهش سرعت جریان هوا ترکخوردگی افزایش می‌یابد که تأثیر دما بیشتر از سرعت جریان هوا گزارش شد (۱۱). همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از روش مادون قرمز نسبت به روش هوای گرم سبب کاهش زمان خشک کردن و ترکخوردگی دانه شد.

قرار می‌گرفتند تا دمای آنها به تعادل برسد. پس از انجام هر مرحله خشک کردن، نمونه‌ها از خشک‌کن خارج و درون بسته‌های پلی‌اتیلنی زیپ‌کیپ قرار گرفته و در آون با دمای ۶۰ درجه سلسیوس نگهداری شدند. بالافصله پس از پایان زمان استراحت‌دهی، هر کدام از نمونه‌ها از آون خارج شده و برای انجام مراحل بعدی خشک کردن آماده می‌شدند. از آنجا که محتوای رطوبتی مطلوب برای انجام عملیات پوست‌کنی ۱۲ - ۱۴ درصد (بر پایه تر) می‌باشد (۱۲)، در مراحل بعدی آزمایش، نمونه‌ها تا محتوای رطوبتی ۱۲ درصد خشک شدند. آزمایش‌های خشک کردن و استراحت‌دهی تا رسیدن نمونه‌ها به رطوبت نهایی ادامه یافت.

گزارش شده است که درصد ترکخوردگی شلتوك حدود ۴۸ ساعت پس از آخرین مرحله خشک شدن ثابت خواهد ماند و ازین‌رو، ترکخوردگی دانه باید پس از سپری شدن این زمان اندازه‌گیری شود (۱۷)، بنابراین برای تعیین تعداد ترک‌های ایجاد شده در دانه، ۴۸ ساعت پس از خشک شدن نمونه‌ها، از هر نمونه صد دانه بهصورت تصادفی جدا شده و پوست آنها به آرامی با دست گرفته شد. سپس تعداد دانه‌های ترکخوردش با مشاهده دانه‌ها توسط یک دستگاه بینوکولر تعیین و درصد ترکخوردگی دانه‌ها محاسبه شد.

طرح آماری و روش آنالیز داده‌ها

در این مطالعه درصد ترکخوردگی حاصل از آزمایش‌های خشک کردن و استراحت‌دهی به عنوان متغیر وابسته و نوع رقم و مدت انجام عملیات‌های خشک کردن و استراحت‌دهی به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. اثر زمان استراحت‌دهی، زمان خشک کردن، رقم و اثرات متقابل آنها بر درصد ترکخوردگی با استفاده از روش آماری کرت دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی مورد مطالعه قرار گرفت. بهنحوی که زمان استراحت‌دهی به عنوان کرت اصلی (در سطوح ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۸۰، ۱۲۰، ۱۶۰ و ۲۰۰ و ۲۴۰ دقیقه)، زمان خشک کردن (در سطوح ۲۰، ۴۰ و ۶۰ دقیقه) و نوع رقم (ارقام

از دانه‌های شلتوك جدا شده و سپس محتوای رطوبتی اولیه آنها تعیین شد. مقدار رطوبت اولیه برای ارقام هاشمی و کوهسار به ترتیب برابر با ۲۱/۹۷ درصد و ۲۰/۱۹ درصد بر پایه تر به دست آمد. سپس نمونه‌ها در بسته‌های پلی‌اتیلنی زیپ‌کیپ بسته‌بندی شده (به منظور ممانعت از تبادل رطوبتی با محیط) و در یک سردخانه با دمای ۴ درجه سلسیوس تا زمان انجام آزمایش‌ها نگهداری شدند.

ضریب رعنایی نمونه‌ها

قبل از انجام آزمایش‌های خشک کردن به منظور تعیین ضریب رعنایی دو رقم مورد آزمون و مطالعه تأثیر آن بر ترکخوردگی شلتوك طی خشک شدن، از هر رقم صد دانه به صورت تصادفی جدا و ابعاد آنها شامل طول و قطر با استفاده از یک کولیس دیجیتال با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. سپس با محاسبه نسبت طول به قطر نمونه‌ها ضریب رعنایی هر رقم طبق استاندارد ۱۲۷ مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران تعیین گردید (۶).

شرایط و روش انجام آزمایش‌های خشک کردن متناوب

آزمایش‌های خشک کردن توسط یک دستگاه خشک‌کن هوای داغ جریان همرفت مجهز به سیستم کنترل دما و رطوبت نسبی هوا در رطوبت نسبی ۴۰ درصد و سرعت هوای ۰/۵ متر بر ثانیه انجام شدند. به منظور مطالعه اثر زمان خشک کردن و استراحت‌دهی بر درصد ترکخوردگی دانه‌ها، آزمایش‌های خشک کردن در زمان‌های ۲۰، ۴۰ و ۶۰ دقیقه در دمای ۶۰ درجه سلسیوس و عملیات استراحت‌دهی در دمای ۶۰ درجه سلسیوس در سطوح زمانی ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۸۰، ۱۲۰، ۱۶۰ و ۲۰۰ دقیقه با روش خشک کردن بستر نازک (ضخامت ۳ تا ۵ میلی‌متر) تا رسیدن رطوبت محصول به رطوبت نهایی ۱۲ درصد بر پایه تر و در دو تکرار انجام شدند.

قبل از انجام هر آزمایش، ۳۰ گرم نمونه از بسته‌های پلاستیکی خارج و در یک آون با دمای ۲۰ درجه سلسیوس

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس اثر زمان استراحت دهی، زمان خشک کردن، رقم و اثر متقابل آنها بر درصد ترک خوردگی

| F | MS | SS | df | منابع تغییرات |
|----------|---------|---------|----|--|
| | ۰/۰۱۲ | ۰/۰۱۲ | ۱ | بلوک |
| ۶/۹۹* | ۲۰/۱۰۳ | ۱۲۰/۶۱۹ | ۶ | زمان استراحت دهی |
| | ۲/۸۷۳ | ۱۸/۲۳۸ | ۶ | خطا (زمان استراحت دهی) |
| | | ۱۳۷/۸۶۹ | ۱۳ | کرت اصلی (MP) |
| ۵۲/۶۴۶** | ۶۲/۰۴۸ | ۱۲۴/۰۹۵ | ۲ | زمان خشک کردن |
| ۷/۲۶۴** | ۸/۰۵۱ | ۱۰۲/۱۳۸ | ۱۲ | زمان خشک کردن × زمان استراحت دهی |
| | ۱/۱۷۸ | ۱۶/۵ | ۱۴ | خطا (زمان خشک کردن) |
| | | ۲۴۳/۳۳۳ | ۲۸ | کرت فرعی (SP) |
| ۵۲/۴۴۵** | ۷۴/۲۹۷ | ۷۴/۲۹۷ | ۱ | رقم |
| ۳/۳۶۷ns | ۴/۷۶۹ | ۲۸/۶۱۹ | ۶ | زمان استراحت دهی × رقم |
| ۰/۹۴۱ns | ۱/۳۳۳ | ۲/۶۶۶ | ۲ | زمان خشک کردن × رقم |
| ۰/۲۴۵ns | ۰/۳۴۷ | ۴/۱۶۶ | ۱۲ | زمان خشک کردن × زمان استراحت دهی × رقم |
| | ۱/۴۱۶ | ۲۹/۷۵ | ۲۱ | خطا (رقم) |
| | | ۱۳۹/۵ | ۴۲ | کرت فرعی فرعی (SSP) |
| | ۵۲۰/۷۰۲ | ۸۳ | | کل |

** و *. به ترتیب بیانگر وجود اختلاف معنی دار در سطوح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد و ns بیانگر عدم اختلاف معنی دار می باشد.

درصد ترک خوردگی معنی دار نبود.

شكل های ۱ الف و ب به ترتیب روند تغییرات میانگین درصد ترک خوردگی دانه با زمان استراحت دهی را برای ارقام کوهسار (دانه متوسط) و هاشمی (دانه بلند) تحت شرایط خشک کردن و استراحت دهی در دمای ۶۰ درجه سلسیوس و زمان های خشک کردن ۲۰، ۴۰ و ۶۰ دقیقه نشان می دهند.

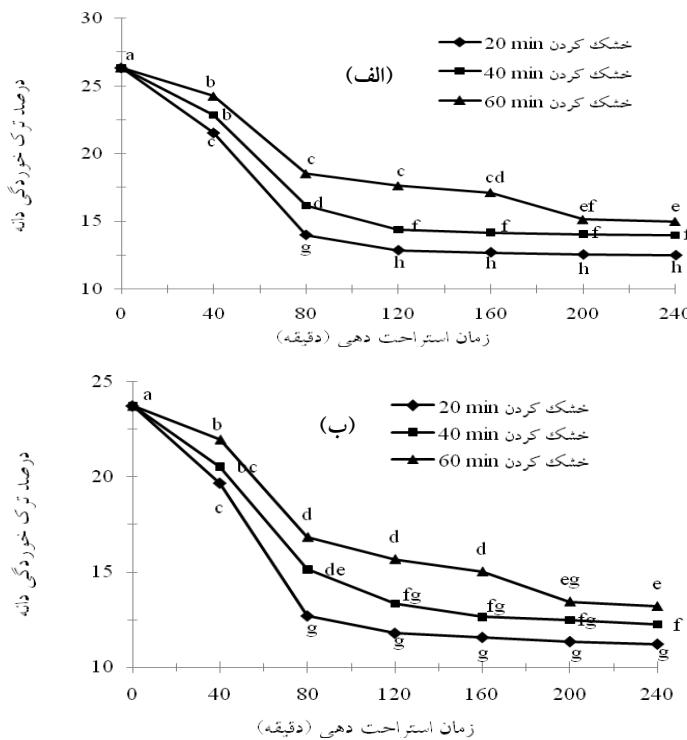
همان طور که در شکل ۱ قابل مشاهده است، در تمامی زمان های خشک کردن، استفاده از روش متناوب نسبت به روش پیوسته (بدون انجام عملیات استراحت دهی) سبب کاهش معنی دار درصد ترک خوردگی شده است. همچنین مشاهده می شود که با افزایش مدت استراحت دهی، درصد ترک خوردگی دانه به طور معنی داری کاهش یافته است. افزایش زمان استراحت دهی با یکنواخت تر کردن رطوبت بخش های مختلف دانه (کاهش شیب های رطوبتی)، تأثیر مثبتی بر کاهش

کوهسار و هاشمی) به عنوان کرت های فرعی با نرم افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. در صورت معنی دار بودن مقدار F از آزمون LSD برای مقایسه میانگین ها استفاده شد.

نتایج و بحث

درصد ترک خوردگی دانه ها

نتایج تجزیه واریانس اثر زمان استراحت دهی، زمان خشک کردن، رقم و اثر متقابل آنها بر درصد ترک خوردگی شلتونک در جدول ۱ نشان داده شده است. همان طور که مشخص است، اثر زمان استراحت دهی در سطح احتمال ۱ درصد و اثر رقم و زمان خشک کردن به همراه اثر متقابل زمان خشک کردن و زمان استراحت دهی در سطح احتمال ۱ درصد بر ترک خوردگی شلتونک معنی دار بود. همچنین اثر متقابل زمان استراحت دهی و رقم، زمان خشک کردن و رقم و اثر متقابل سه گانه آنها بر

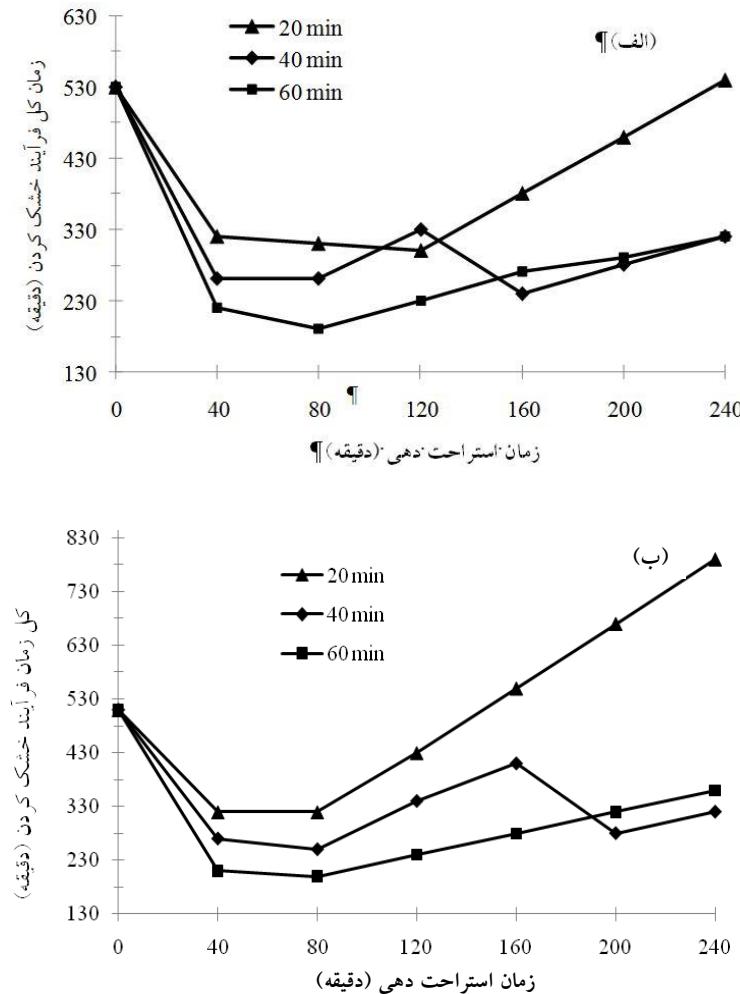


شکل ۱. تغییرات درصد ترک خوردگی دانه‌های شلتوك با زمان استراحت دهنده در زمان‌های خشک کردن ۲۰، ۴۰ و ۶۰ دقیقه برای الف- رقم کوهسار و ب- رقم هاشمی (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک دارای اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون LSD نیستند).

خشک کردن به مدت ۶۰ دقیقه است.

با توجه به شکل ۱ الف، به هنگام خشک کردن شلتوك رقم کوهسار در دمای ۶۰ درجه سلسیوس به مدت‌های ۲۰، ۴۰ و ۶۰ دقیقه، به ترتیب انجام عملیات استراحت دهنده به مدت‌های ۱۲۰، ۱۲۰ و ۲۰۰ دقیقه، برای کاهش درصد ترک خوردگی دانه توصیه می‌شود. همچنان با توجه به شکل ۱ ب، به هنگام خشک کردن شلتوك رقم هاشمی در دمای ۶۰ درجه سلسیوس به مدت‌های ۲۰، ۴۰ و ۶۰ دقیقه، به ترتیب انجام عملیات استراحت دهنده به مدت‌های ۱۲۰ و ۸۰ دقیقه، برای کاهش درصد ترک خوردگی دانه توصیه می‌شود. مشابه نتایج این تحقیق، در منابع گزارش شده است که خشک کردن طی دو یا سه مرحله و استفاده از عمل متعادل‌سازی رطوبتی باعث افزایش شاخص عملکرد برنج سالم تولیدی و کاهش درصد دانه‌های ترک خورده می‌شود (۱).

ترک خوردگی دانه و در نتیجه افزایش کیفیت محصول نهایی دارد. از آنجا که فرآیند استراحت دهنده در یک محیط بسته انجام می‌شود و دانه اجازه تبادل رطوبت با محیط بیرون را ندارد؛ طی فرآیند نگهداری رطوبت بخش‌های مرکزی به آرامی به سطح دانه انتشار یافته و باعث کاهش شبیه‌های رطوبتی در داخل دانه می‌شود، هرچند که با افزایش زمان استراحت دهنده این تأثیر کاهش نشان داده است. به عبارت دیگر، بعد از یک زمان مشخص به دلیل یکنواخت شدن رطوبت در اکثر بخش‌های مختلف دانه، ادامه عملیات استراحت دهنده تأثیر معنی داری بر کاهش درصد ترک خوردگی شلتوك ندارد. البته طی خشک کردن به مدت ۶۰ دقیقه به مدت زمان استراحت دهنده بیشتری برای حذف شبیه‌های رطوبتی در مقایسه با خشک کردن به مدت‌های ۲۰ و ۴۰ دقیقه برای هر دو رقم نیاز بوده است. دلیل این موضوع، شبیه‌های رطوبتی بزرگ‌تر ایجاد شده طی



شکل ۲. تغییرات کل زمان فرآیند خشک شدن متناوب (دماهای خشک کردن و استراحت دهی ۶۰ درجه سلسیوس) با زمان استراحت دهی در زمان‌های خشک کردن ۲۰، ۴۰ و ۶۰ دقیقه برای الف- رقم کوهسار (دانه‌متوسط) و ب- رقم هاشمی (دانه‌بلند)

بخش‌های نزدیک به سطح دانه افزایش یافته و در مرحله بعدی خشک کردن، انتقال رطوبت از سطح دانه به محیط با سرعت بیشتری انجام شده و در نتیجه انجام عملیات استراحت دهی کل زمان خشک شدن دانه را کاهش می‌دهد و باعث افزایش ظرفیت کاری خشک‌کن می‌شود، هرچند حذف سریع تر رطوبت باعث افزایش شیب‌های رطوبتی درون دانه می‌گردد.

همان‌طورکه در شکل ۲ مشاهده می‌شود، افزایش زمان استراحت دهی تا یک زمان مشخص باعث کاهش کل زمان فرآیند خشک شدن دانه شد و پس از آن افزایش زمان

زمان کل فرآیند خشک کردن دانه

شکل‌های ۲ الف و ب روند تغییرات کل زمان فرآیند خشک کردن متناوب شلتولک (مجموع زمان‌های خشک کردن و استراحت دهی تا رسیدن به رطوبت نهایی) را با زمان استراحت دهی تحت شرایط خشک کردن در دمای ۶۰ درجه سلسیوس و زمان‌های خشک کردن ۲۰، ۴۰ و ۶۰ دقیقه به ترتیب برای ارقام کوهسار (دانه‌متوسط) و هاشمی (دانه‌بلند) نشان می‌دهند. از آنجا که طی فرآیند استراحت دهی رطوبت از بخش‌های مرکزی دانه به سطح آن انتقال می‌یابد، رطوبت

فرآیند انتقال جرم در جهت قطر دانه انجام می‌شود، پس هرچه قطر دانه بیشتر باشد، بهدلیل انتقال کنترل رطوبت بخش‌های مرکزی به سطح دانه شبیه‌های رطوبتی درون دانه افزایش می‌یابد و در نتیجه امکان ترک‌خوردگی دانه افزایش می‌یابد.

نتایج مشابهی برای ارقام دانه‌بلند (L201) و دانه‌کوتاه (Akitakomachi) گزارش شده است. به طوری که طی فرآیند خشک کردن برنج دانه‌بلند، تعداد ترک کمتری نسبت به برنج دانه‌کوتاه ایجاد شد که بیشتر ترک‌ها در برنج دانه‌بلند از نوع سطحی و در برنج دانه‌کوتاه از نوع عمیق بود (۴). هم‌چنین کرمانی و همکاران چنین نتیجه‌های را برای ارقام هاشمی (دانه‌بلند) و خزر (دانه‌متوسط) به دست آورده‌اند (۷). بنابراین، با توجه به بیشتر بودن درصد ترک‌خوردگی شلتوك کوهسار (دانه‌متوسط) نسبت به رقم هاشمی (دانه‌بلند)، می‌توان چنین نتیجه گرفت که خواص مکانیکی و فیزیکی دانه مانند ضربه رعنایی در ترک‌خوردگی دانه مؤثر است.

بهینه‌سازی خشک کردن متناوب

شکل ۳ نمودار تغییرات درصد ترک‌خوردگی دانه‌ها را با زمان‌های خشک کردن و استراحت‌دهی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش زمان خشک کردن، درصد ترک‌خوردگی دانه‌ها افزایش یافت. با افزایش زمان فرآیند استراحت‌دهی نیز تا یک زمان مشخص، درصد ترک‌خوردگی دانه‌ها کاهش یافت و پس از آن تقریباً ثابت ماند. بنابراین، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که با گذشت زمان مشخصی از فرآیند استراحت‌دهی تقریباً شبیه‌های رطوبتی درون دانه از بین می‌روند و پس از آن افزایش زمان استراحت‌دهی تأثیر معنی‌داری بر کاهش درصد ترک‌خوردگی دانه ندارد. بنابراین، تعیین زمان بهینه عملیات استراحت‌دهی دانه به‌نحوی که تقریباً تمام بخش‌های مختلف دانه دارای رطوبت یکسانی باشند و شبیه‌های رطوبتی درون دانه از بین رفتہ باشند، اهمیت بسیاری دارد.

همان‌طور که از شکل ۲ مشاهده می‌شود، کمترین زمان

استراحت‌دهی کل زمان فرآیند خشک شدن دانه را افزایش داد. در زمان خشک کردن ۲۰ دقیقه، فرصت تبادل رطوبت کم بوده است و در هنگام خشک کردن به مدت ۶۰ دقیقه نیز بهدلیل بالا بودن شبیه‌های رطوبتی درون دانه، ادامه انجام عملیات استراحت‌دهی نتوانسته از تعداد مراحل خشک کردن کم کند، اما در خشک کردن به مدت ۴۰ دقیقه در هر مرحله، از آنجا که شبیه‌های رطوبتی کمتری درون دانه ایجاد شده و هم‌چنین در مرحله خشک کردن دانه فرصت تبادل رطوبت کافی نیز وجود داشته است، برای رقم کوهسار با افزایش زمان استراحت‌دهی از ۱۲۰ به ۱۶۰ دقیقه و برای رقم هاشمی با افزایش زمان استراحت‌دهی از ۱۶۰ به ۲۰۰ دقیقه هم‌چنان کل زمان خشک کردن دانه بهدلیل کم کردن تعداد مراحل استراحت‌دهی کاهش یافته است.

اثر رقم بر درصد ترک‌خوردگی دانه

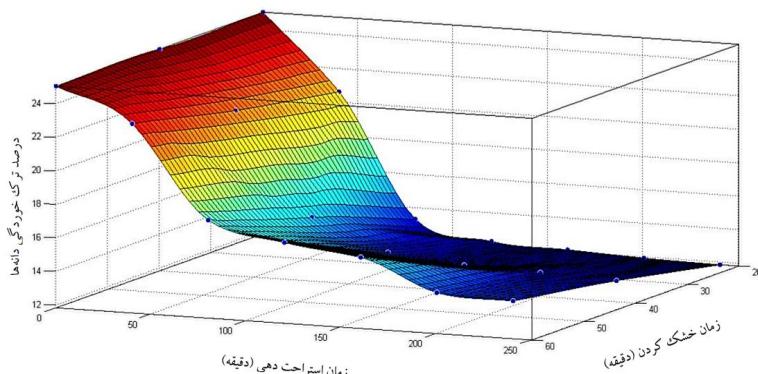
طبق اندازه‌گیری‌های انجام شده میانگین ضربه رعنایی ارقام کوهسار و هاشمی به ترتیب برابر ۲/۳۸ و ۴/۸۹ بوده است. هم‌چنین میانگین طول ارقم کوهسار و هاشمی به ترتیب برابر با ۸/۸ و ۱۰/۱ میلی‌متر بود، بنابراین، طبق استاندارد ۱۲۷ مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران رقم کوهسار جزء ارقم دانه متوسط و رقم هاشمی در دسته دانه بلند طبقه‌بندی می‌شوند.

جدول ۲ نتایج مقایسه میانگین درصد ترک‌خوردگی دانه‌ها برای ارقم کوهسار (دانه‌متوسط) و هاشمی (دانه‌بلند) در زمان‌های استراحت‌دهی ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۸۰، ۱۲۰، ۱۶۰ و ۲۰۰ دقیقه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در کلیه شرایط خشک کردن متناوب به جز خشک کردن به مدت‌های ۱۲۰ و ۲۰۰ دقیقه درصد ترک‌خوردگی رقم کوهسار (دانه‌متوسط) نسبت به رقم هاشمی (دانه‌بلند) به‌طور معنی‌داری بیشتر بوده است. دلیل این امر را می‌توان به علت کمتر بودن ضربه رعنایی و در نتیجه بزرگ‌تر بودن قطر رقم کوهسار نسبت به هاشمی دانست، با توجه به اینکه مقاومت در برابر انتقال جرم در جهت قطر کمتر از طول دانه است بنابراین،

جدول ۲. مقایسه میانگین درصد ترک خورده‌گی دانه‌ها برای ارقام کوهسار (دانه‌متوسط) و هاشمی (دانه‌بلند)
در زمان‌های استراحت‌دهی ۰، ۴۰، ۸۰، ۱۲۰، ۱۶۰ و ۲۰۰ دقیقه

| زمان استراحت‌دهی | صفر (خشک کردن پیوسته) | کوهسار (دانه‌متوسط) | هاشمی (دانه‌بلند) | درصد ترک خورده‌گی |
|------------------|-----------------------|---------------------|-------------------|-------------------|
| ۰ | ۲۶/۳** | ۲۳/۷** | | |
| ۴۰ | ۲۲/۹* | ۲۰/۷* | | |
| ۸۰ | ۱۶/۲* | ۱۴/۹* | | |
| ۱۲۰ | ۱۴/۹ | ۱۳/۶ | | |
| ۱۶۰ | ۱۴/۶* | ۱۳/۱* | | |
| ۲۰۰ | ۱۲/۹ | ۱۲/۴ | | |
| ۲۴۰ | ۱۲/۸* | ۱۲/۲* | | |

* و ** بهترتب معنی دار در سطوح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد



شکل ۳. تغییرات درصد ترک خورده‌گی دانه طی خشک کردن شلنگ
بهروش متناوب با زمان‌های مختلف خشک کردن و استراحت‌دهی

برای ارقام کوهسار و هاشمی بهترتب انجام عملیات استراحت‌دهی به مدت‌های ۱۶۰ دقیقه و ۲۰۰ دقیقه بعد از خشک کردن به مدت ۴۰ دقیقه پیشنهاد می‌شود. در این حالت زمان کل فرآیند خشک کردن برای ارقام کوهسار و هاشمی بهترتب برابر ۲۴۰ و ۲۸۰ دقیقه و درصد ترک خورده‌گی نیز برابر ۱۴/۱۷ درصد و ۱۲/۴۹ درصد به دست آمد.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد استفاده از روش خشک کردن متناوب نسبت به روش خشک کردن پیوسته (انجام ندادن

فرآیند خشک شدن هنگام خشک کردن به مدت ۲۰ دقیقه و به دنبال آن ۸۰ دقیقه انجام عملیات استراحت‌دهی حاصل شده است که زمان آن برای ارقام هاشمی و کوهسار بهترتب برابر ۲۰۰ و ۱۹۰ دقیقه بود. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در این حالت مدت کل فرآیند خشک شدن نسبت به حالت خشک کردن بدون استراحت‌دهی تقریباً ۳/۵ برابر کمتر است که این امر، مصرف انرژی را بسیار کاهش می‌دهد. بهر صورت، درصد ترک خورده‌گی دانه در این حالت نسبتاً زیاد است. بنابراین، به منظور بهینه‌سازی فرآیند خشک کردن متناوب از نظر هر دو فراسنجه کیفی (کاهش مصرف انرژی و کاهش ضایعات)

انجام بهینه فرآیند خشک کردن متناوب (زمان عملیات خشک کردن متناوب کمتر و کیفیت محصول بالاتر)، طی عملیات خشک کردن و استراحت دهی در دمای ۶۰ درجه سلسیوس برای ارقام هاشمی و کوهسار به ترتیب انجام عملیات استراحت دهی به مدت های ۲۰۰ و ۱۶۰ دقیقه پس از خشک کردن به مدت ۴۰ دقیقه توصیه می شود.

سپاسگزاری

بدین وسیله از کارکنان مؤسسه تحقیقات برنج کشور معاونت مازندران (آمل) که در تهیه نمونه های آزمایش همکاری لازم را مبذول داشتند، تشکر و قدردانی می شود.

عملیات استراحت دهی در تمامی زمان های خشک کردن سبب کاهش معنی دار درصد ترک خوردگی دانه شد. افزایش زمان استراحت دهی تا یک زمان مشخص، بدلیل یکنواخت کردن محتوای رطوبتی بخش های مختلف درون دانه، باعث کاهش معنی دار درصد ترک خوردگی دانه و کل زمان خشک کردن دانه شد و افزایش زمان استراحت دهی پس از آن بدلیل کامل شدن فرآیند استراحت دهی تأثیر معنی داری بر درصد ترک خوردگی دانه نداشت. همچنان با توجه به بیشتر بودن درصد ترک خوردگی شلتوك کوهسار (دانه متوسط) نسبت به رقم هاشمی (دانه بلند) می توان نتیجه گرفت که خواص مکانیکی و فیزیکی دانه مانند ضربه رعنایی در ترک خوردگی دانه مؤثر است. با توجه به نتایج بدست آمده می توان دریافت، به منظور

منابع مورد استفاده

1. Aquerreta, J., A. Iguaz, C. Arroqui and P. Vírseda. 2007. Effect of high temperature intermittent drying and tempering on rough rice quality. *Journal of Food Engineering* 80: 611–618.
2. Chandan, K., M. A. Karim and M. U. H. Joardder. 2014. Intermittent drying of food products: A critical review. *Journal of Food Engineering* 121: 48-57.
3. Cnossen, A. G. and T. J. Siebenmorgen. 2000. The glass transition temperature concept in rice drying and tempering: effect on milling quality. *Transactions of the ASAE* 43:1661-1667.
4. Dong R., Z. Lu, Z. Liu, Y. Nishiyama and W. Cao. 2009. Moisture distribution in a rice kernel during tempering drying. *Journal of Food Engineering* 91: 126-132.
5. FAOSTAT. 2013. Rice production. Available online at: <http://www.faostat.org>. Accessed 27 November 2013.
6. Iranian National Standards. No. 127. Rice-Specifications and Test Methods. First Revision. Institute of Standards and Industrial Research of Iran. Tehran. (In Farsi).
7. Kermani, A. M., T. Tavakoli Hashjin and M. H. Khoshtaghaza. 2006. Stress cracking susceptibility of rice kernels (Hashemi and Khazar) during thin-layer drying of rough rice. *Iranian Journal of Agricultural Science* 37(4): 697-706. (In Farsi).
8. Khoshtaghaza, M. H., M. Sadeghi and R. Amirchayjan. 2007. Study of rough rice drying process in fixed and fluidized bed conditions. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources* 14(2): 127-137. (In Farsi).
9. Khoshtaghaza, M. H., M. Soleimani and M. Shahedi. 2001. Correlation of head rice yield (HRY) with rough rice fissuring and bending strength in drying process. *Iranian Journal of Agricultural Science* 33: 115-121. (In Farsi).
10. Lee, K. W. 1979. Fissuring of the rice grain after heated air drying. *Transactions of the ASAE* 22: 1197-1199.
11. Mohajeran, S. H., M. H. Khoshtaghaza and A. Moazami Gudarzi. 2006. Effect of rough rice temperature and air velocity on grain crack during infrared radiation drying. *Journal of Food Science and Technology* 3(2): 57-66. (In Farsi).
12. Nasrnia, E., M. Sadeghi and A. A. Masoumi. 2012. Effect of drying and tempering conditions on degree of milling during the two-stage drying, *Iranian Food Science and Technology Research Journal* 8: 40-48. (In Farsi).
13. Sarker, N. N., O. R. Kunze and T. Strouboulis. 1996. Transient moisture gradients in rough rice mapped with finite element model and related to fissures after heated air drying. *Transactions of the ASABE* 39: 625-631.
14. Siebenmorgen, T. J., G. Qin and C. Jia. 2005. Influence of drying on rice fissure formation rates and mechanical strength distributions. *Transactions of the ASABE* 48: 1835-1841.
15. Stefe, J. F. and R. P. Singh. 1980. Theoretical and practical aspect of rough rice tempering. *Transactions of the ASAE* 23: 775-82.

16. Tajaddodi Talab, 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 Farsi).
17. Toshizo, B. 1971. Rice cracking in high rate drying. *Japan Agricultural Research Quarterly* 6: 113-116.
18. Zamani, G. H. and M. Alizadeh. 2007. Characterization and Processing of Different Varieties of Rice in Iran. Pelk Publication. Tehran. (In Farsi).
19. Zhang, Q., W. Yang and Z. Sun. 2005. Mechanical properties of sound and fissured rice kernels and their implication for rice breakage. *Journal of Food Engineering* 68: 65-72.