بررسی اثر دمای هوا و رطوبت نهایی شلتوک بر درصد ترک و ضریب تبدیل ارقام برنج ایرانی در خشک‌کن بستر سیال

مهدی خدادادی[۱*]، محمد هاشم رحمتی[۲]، محمدرضا علیزاده[۳]، عباس رضایی اصل[۴]

۱- دانشجوی دکتری رشته مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان
۲- دانشیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۳- عضو هیات علمی مرکز تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران
٤- استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
(تاریخ دریافت: ۹۳/۳/۲۸ تاریخ پذیرش: ۹۳/۹/۲)

چکیده

ارزش اقتصادی محصول برنج به وسیله کیفیت آن بعد از عملیات تبدیل شلتوک به برنج سفید تعیین می‌شود. ضریب تبدیل و درصد ترک دو شاخص مهم جهت تعیین کیفیت برنج بعد از عملیات تبدیل هستند که نوع خشک‌کن مورد استفاده نیز بر میزان این شاخص‌ها تاثیرگذار است. **در** این تحقیق اثر دمای هوای خشک‌کن در چهار سطح ٤٠، ٤٥، ٥٠ و ٥٥ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نهایی شلتوک در سه سطح ۱۰-۸، ۱۲-۱۰ و ۱٤-۱۲ درصد بر مبنای خشک و رقم برنج در سه سطح *طارم دم‌سیاه، هاشمی و شیرودی* بر درصد ترک و ضریب تبدیل طی خشک شدن در خشک‌کن بستر سیال بررسی شد. آزمایشات در سه تکرار و در قالب طرح فاکتوریل سه فاکتوره ۳×۳×٤ انجام شد. نتایج نشان داد ضریب تبدیل ارقام طارم دم‌سیاه، هاشمی و شیرودی با افزایش رطوبت در هر چهار سطح دمایی کاهش می‌یابد. به منظور خشک کردن برنج، دماهای ٤٠ و ٥٠ درجه سانتی‌گراد برای رقم طارم و دمای ٥٥ درجه سانتی‌گراد برای رقم شیرودی منجربه حصول بهترین ضریب تبدیل می‌شود. درصد ترک رقم هاشمی با افزایش دما افزایش می‌یابد درصورتی که درصد ترک رقم شیرودی کاهش می‌یابد. کمترین درصد ترک ارقام طارم، هاشمی و *شیرودی* به ترتیب در دماهای (٤٥ و ٥٠)، ٤٥ و ٥٥ درجه سانتی‌گراد به وجود می‌آید، بنابراین توصیه می‌شود برای ایجاد کمترین میزان ترک از دماهای مذکور برای خشک کردن این ارقام استفاده شود.

کلید واژگان: برنج، خشک‌کن بسترسیال، ضریب تبدیل، درصد ترک، شلتوک

* مسئول مکاتبات: mehdikhodadadi20@gmail.com

۱- مقدمه

برنج یکی از گیاهان مهم تیره غلات و غذای اصلی اغلب کشورهای جهان است. این محصول زراعی بخش زیادی از انرژی غذایی حدود نیمی از جمعیت جهان را تامین می‌کند که اغلب آن‌ها در آسیا زندگی می‌کنند. با توجه به رشد زیاد جمعیت در آسیا که حدود ۹۰ درصد برنج دنیا در آن تولید و مصرف می‌شود، تولید سالیانه برنج باید حدود ۱/۷ درصد افزایش یابد تا نیاز آینده مصرف کنندگان را تامین کند [۱]. ایران تاکنون از نظر تولید برنج به خودکفایی نرسیده و از وارد کنندگان برنج است. با توجه به افزایش جمعیت و محدودیت-های افزایش سطح زیر کشت برنج، مهم‌ترین هدف در صنعت فرآوری این گیاه استراتژیک، تولید محصول با بالاترین کیفیت است. برای دستیابی به این هدف، لازم است شلتوک بلافاصله پس از برداشت خشک شود تا از بروز فساد بیولوژیک و ضایعات میکروبی جلوگیری شود [۲].

تفاوت برنج با سایر غلات که معمولا به صورت آرد مصرف می‌شوند این است که عمدتا بصورت دانه سالم مصرف می-شود [۳]، بنابراین ارزش اقتصادی محصول برنج به میزان زیادی به وسیله کیفیت برنج بعد از عملیات تبدیل شلتوک به برنج سفید تعیین می‌شود. ضریب تبدیل و درصد ترک دو شاخص مهم جهت تعیین کیفیت برنج بعد از عملیات تبدیل هستند که با توجه به تحقیقات انجام شده نوع خشک‌کن مورد استفاده نیز بر میزان این شاخص‌ها تاثیرگذار است. بیشتر شکستگی برنج ناشی از وجود ترک‌های ریز درون آندوسپرم دانه‌ها است. این ترک‌ها که به آن‌ها ترک تنشی نیز گفته می-شود در اثر ترکیبی از تنش‌های مکانیکی، رطوبتی و گرمایی ایجاد می‌شوند. یکی از مهمترین مراحل ایجاد این ترک‌ها مرحله خشک کردن شلتوک است که در نتیجه‌ی آن دانه مستعد شکستن در گذر از مراحل تولید یا فرآوری است. در فرآیند خشک کردن ایجاد تغییرات فشار بخار در بخش‌های مرکزی و سطح دانه سبب القای گرادیان‌های دمایی و رطوبتی درون دانه شده و عامل ایجاد تنش‌های حرارتی و رطوبتی و در نهایت تشکیل ترک درون دانه است. تنش‌ها بسته به مقدار و سرعت برداشت رطوبت بعد از مرحله خشک کردن در دانه توسعه می‌یابند. فرآیند خشک کردن فرآیندی پیچیده شامل انتقال حرارت، جرم و اندازه حرکت است. این پدیده سبب تغییرات برگشت ناپذیر تخریبی و غیر تخریبی در خواص فیزیکی، شیمیای و ظاهر مواد همچون رنگ، ویسکوزیته و شکل هیدرو کربن‌ها می‌شود که این تغییرات ممکن است کیفیت محصول را کاهش دهند. به همین دلیل نیاز است که جهت خشک کردن هر محصولی بهترین روش در حالت بهینه استفاده شود تا کمترین افت کیفیت در محصول مورد نظر ایجاد شده و عملیات در کمترین زمان انجام شود [٤ و ٥].

استفاده از شناورسازی ذرات جامد یکی از موفق‌ترین روش-های خشک کردن در صنعت به ویژه صنایع غذایی می‌باشد. در این روش جریانی از هوای گرم که در آن سطح تماس ذرات با جریان هوای گرم در حد گسترده انجام می‌گیرد باعث خشک کردن یکنواخت و افزایش سرعت خشک شدن می‌شود که دمای این جریان هوا نیز قابل کنترل می‌باشد [٤ و ٥]. طی تحقیقی خدادادی و همکاران [٦] میزان درجه سفیدی نوری (DOMmm) و درجه سفیدی جرمی(DOMm) ارقام مختلف برنج در خشک‌کن بستر سیال را بررسی کردند. نتایج نشان داد که درجه سفیدی جرمی بسیار کمتر از درجه سفیدی نوری است و هردو با افزایش رطوبت افزایش می‌یابند لذا برای حصول بالاترین درجه سفیدی بهتر است برای انجام عملیات تبدیل هر یک از این ارقام از رطوبت‌های بالاتر استفاده شود. فیروزی و علیزاده [۷] اثر زمان برداشت و محتوای رطوبت شلتوک (رقم هاشمی) بر میزان ترک و شکستگی برنج تبدیل شده را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که زمان برداشت ۳۰ روز بعد از ۵۰ درصد گل‌دهی محصول و رطوبت ۹-۸ درصد بر مبنای خشک منجربه کمترین میزان شکستگی و ترک خوردگی می‌شود. نتایج آزمایشات خوش تقاضا و همکاران [۸] که فرآیند خشک‌کردن شلتوک در شرایط بستر ثابت و سیال را مورد بررسی قرار دادند نشان داد بیشترین مقدار ترک دانه و بیشترین زمان خشک شدن مربوط به حالت بستر ثابت و کمترین مقدار ترک و کمترین زمان خشک شدن مربوط به حالت بستر نیمه سیال است. در تحقیقی کورتویس و همکاران به این نتیجه رسیدند که افزایش درجه حرارت در فرآیند خشک شدن از عوامل بسیار موثر در افزایش درصد شکستگی دانه در مرحله تبدیل است که البته می‌توان تا حدودی با کاهش ظرفیت تبخیر هوای خشک‌کن از اثر نامطلوب آن کم کرد [۹]. تحقیقات وایست و همکاران [۱۰] نشان داد که خشک کردن شلتوک با خشک‌کن بستر سیال نسبت به خشک‌کن بستر ثابت ضایعات کمتری ایجاد می‌کند. با

توجه به اهمیت محصول برنج در ایران و جهان و ضایعات بالای آن در مرحله خشک کردن و با توجه به تحقیقات ذکر شده بررسی اثر دمای هوای خشک‌کن و رطوبت نهایی شلتوک از نظر میزان درصد ترک و ضریب تبدیل شلتوک به برنج سفید در خشک‌کن بستر سیال ضروری به نظر می‌رسد. این تحقیق به دنبال این است که با بکارگیری مفهوم شاخص‌های درصد ترک و ضریب تبدیل، میزان صدمه ایجاد شده بر روی برنج و ضریب تبدیل شلتوک به برنج سفید را طی خشک شدن به وسیله یک خشک‌کن بستر سیال را مورد مطالعه قرار داده و بهترین شرایط خشک‌کردن برای حصول بهترین کیفیت برنج را ارائه دهد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- خشک‌کن مورد استفاده

دستگاه خشک‌کن بستر سیال مجهز به سامانه کنترل دما و سرعت هوای خشک کردن در گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در سال ۱۳۹۲ ساخته شد. این دستگاه شامل یک دمنده سانتریفیوژ نوع جریان شعاعی با موتور به قدرت ۳ اسب بخار است. محفظه سیال سازی خشک‌کن، استوانه‌ای به قطر ۲۰ و ارتفاع ٦٠ سانتی‌متر از جنس پلکسی گلاس است که به منظور تسهیل در سیال سازی دانه‌ها و ایجاد سیال سازی یکنواخت، یک مخزن کمکی از جنس استیل به قطر سه برابر قطر محفظه پلکسی گلاس در بالای آن نصب شد. در قسمت ورودی، وسط و انتهای محفظه سنسورهای دقیق درجه حرارت نصب شده است که در صورت هرگونه تغییر ناگهانی، شرایط را تنظیم و تعدیل می‌کند.

۲-۲- تهیه نمونه‌ها

برای انجام آزمایشات با توجه به سطح زیر کشت و عملکرد شلتوک در واحد سطح و همچنین بنا به اهمیت تولید در منطقه از ارقام طارم دم‌سیاه و هاشمی که جزء ارقام دانه بلند [۱۱] و شیرودی که جزء ارقام پر محصول هستند [۱] استفاده شد. این ارقام از موسسه تحقیقات برنج ایران واقع در شهر رشت تهیه و سعی شد در هنگام حمل و نقل از وارد آمدن صدمات مکانیکی، تنش‌های رطوبتی و عوامل منفی موثر در انجام آزمایش‌ها جلوگیری شود. این ارقام از ارقام متداولی است که در استان‌های شمالی ایران کشت می‌شود.

۲-۳- روش‌ها

۲-۳-۱- انجام آزمایشات

قبل از آغاز هر آزمایش برای اطمینان از یکنواختی و ثبات وضعیت آزمایش نظیر دمای خشک‌کن و سرعت جریان هوا، ۳۰ دقیقه قبل از آزمایش، دستگاه روشن شد تا به شرایط پایدار برسد، پس از اطمینان از یکنواختی وضعیت آزمایش، نمونه‌ها در محفظه خشک‌کن قرار داده شدند. برای تعیین رطوبت اولیه دانه‌ها از استاندارد انجمن مهندسان کشاورزی آمریکا [۱۲] استفاده و رطوبت اولیه نمونه‌های شلتوک مورد آزمایش برای رقم طارم دم‌سیاه، هاشمی و شیرودی به ترتیب ۱۹/۳۸، ۱۸ و ۱۸ درصد بر مبنای خشک اندازه‌گیری شد. در طی عملیات خشک کردن، توزین نمونه‌ها با استفاده از یک ترازوی دیجیتال با دقت ٪۰/۱± انجام شد. نمونه‌های ۲۵۰ گرمی از ۳ رقم طارم دم‌سیاه، هاشمی و شیرودی تا سطوح رطوبتی ۱۰-۸، ۱۲-۱۰ و ١٤-۱۲ درصد بر پایه خشک و در چهار سطح دمای ٤٠، ٤٥، ۵۰ و ۵۵ درجه سانتی‌گراد با سه تکرار خشک شدند، چون در شرایط متداول بستر ثابت، دمای حدود ٤٠ درجه سانتی‌گراد برای خشک کردن شلتوک استفاده می‌شود، با توجه به اینکه یکی از مزایای خشک‌کن‌های بستر سیال استفاده از دمای بالا است، بنابراین برای بررسی اثر دما بر زمان خشک شدن علاوه بر دمای ٤٠ درجه سانتی‌گراد، دماهای ٤٥، ۵۰ و ۵۵ نیز در نظر گرفته شد [۸]. آزمایش‌ها با توجه به تحقیقات سایر محققین [۱۳] و با توجه به ابعاد دستگاه با سرعت هوای ورودی ثابت ٤m/s انجام شد. بعد از اتمام عملیات خشک کردن نمونه‌ها، عملیات تبدیل برنج خشک شده به برنج سفید انجام شد. برای این منظور ازهر نمونه خشک شده ۱۵۰ گرم برای انجام عملیات تبدیل انتخاب شد. عملیات پوست کنی نمونه‌ها توسط دستگاه پوست کن برنج با نام تجاری SATAKE مدل THU ساخت کشور ژاپن استفاده شد. برای سفید کردن نمونه‌ها یک سفید کن با نام تجاری BALDOR ساخت کشور آلمان مورد استفاده قرار گرفت که هر یک از نمونه‌ها به مدت ٤٥ ثانیه برای سفید شدن در این دستگاه قرار داده شدند. همچنین برای جدا کردن دانه‌های سالم از شکسته از یک الک دوار با نام تجاری SATAKE ساخت کشور ژاپن استفاده شد. بعد از عملیات تبدیل، مقدار وزنی برنج قهوه‌ای، برنج

سفید، وزن برنج سفید سالم و وزن برنج سفید شکسته بدست آمد و شاخص‌های درصد ترک و ضریب تبدیل محاسبه شد.

۲-۳-۲- محاسبه درصد ترک و ضریب تبدیل

برای اندازه‌گیری درصد ترک خوردگی شلتوک، یک دستگاه ترک‌بین که در مرکز تحقیقات برنج ایران طراحی و ساخته شده بود مورد استفاده قرار گرفت. این دستگاه شامل یک لامپ فلوئورسنت است که زیر یک صفحه مشبک نصب می‌شود. برای محاسبه درصد ترک قبل از انجام عملیات خشک کردن ابتدا به طور تصادفی سه نمونه ۱۰۰ تایی از هر یک از ارقام برنج مورد نظر انتخاب و پوست خارجی آن‌ها با دقت توسط دست از دانه شلتوک جدا شد. سپس دانه‌های بدون پوست برنج قهوه‌ای بر روی شیارهای دستگاه ترک بین قرار داده شد و دانه‌های ترک دار (دانه‌های با ترک عرضی کامل) شمارش شد و به صورت درصد، نسبت به کل دانه‌ها در نظر گرفته شد. این عدد ترک ناشی از عملیات برداشت، خرمنکوبی، حمل و نقل و یا تنش‌های رطوبتی است. پس از انجام هر آزمایش خشک کردن در دما و رطوبت‌ها مختلف دوباره میزان ترک برای هر نمونه تعیین شد و میزان ترک قبل از عملیات خشک کردن از آن کسر گردید. میزان ترک قبل از عملیات خشک کردن برای ارقام طارم، هاشمی و شیرودی به ترتیب ۱۰/۵، ٤/٥ و ۵،۷ درصد بود [۸]. ضریب تبدیل برابر است با نسبت وزن برنج سفید (مجموع وزن برنج سالم و خرده برنج) به وزن اولیه شلتوک ضرب در ۱۰۰ [١٤].

۲-۳-۳- تجزیه و تحلیل آماری

برای بررسی اثر تیمارهای مختلف بر درصد ترک و ضریب تبدیل، آزمایش‌ها در چهار سطح دمای هوای ورودی (٤٠، ٤٥، ۵۰ و ۵۵ درجه سانتی گراد)، سه سطح رطوبت (۱۰-۸، ۱۲-۱۰ و ١٤-۱۲ درصد) و سه رقم برنج (*طارم دمسیاه*، *هاشمی* و *شیرودی*) و سه تکرار در قالب طرح فاکتوریل سه فاکتوره ۳×۳×٤ انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها در قالب طرح کاملا تصادفی و تجزیه واریانس سه طرفه با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS (PASWstatistic 18) انجام گرفت و نمودارها و وسیله نرم‌افزار Microsoft office Excel 2010 رسم شد.

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- اثر عوامل مختلف (دما و رطوبت نهایی) بر ضریب تبدیل ارقام برنج

در جدول۱ نتایج آنالیز واریانس اثر ارقام برنج (*طارم دمسیاه*، *هاشمی و شیرودی*)، دما (٤٠، ٤٥، ۵۰ و ۵۵ درجه سانتی‌گراد) و سطح رطوبت نهایی (۱۰-۸، ۱۲-۱۰ و ١٤-۱۲ درصد) بر ضریب تبدیل نشان داده شده است.

جدول ۱ نتایج آنالیز واریانس سه طرفه مربوط به اثر ارقام برنج، دما و رطوبت نهایی بر میزان ضریب تبدیل

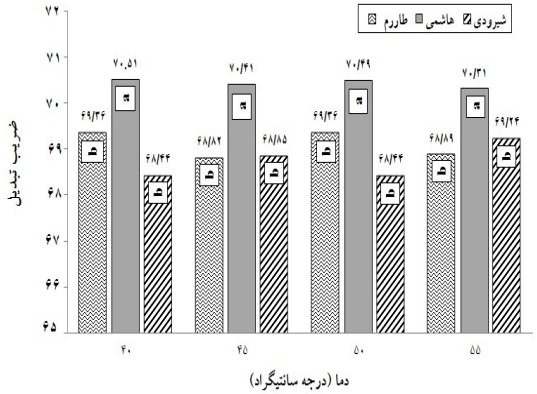
منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات (SS)	میانگین مربعات	F
رقم	۲	٥٦/٨٩٨	۲۸/٤٤٩	۱۳۱/٥۷۰**
رطوبت	۲	٦٤/۷۷٤	۳۲/۳۸۷	۱٤۹/۷۸۱**
دما	۳	۰/۲۱۱	۰/۰۷۰	۰/۳۲٦ns
رقم×رطوبت	٤	۲/٦۷۳	۰/٦٦۸	۳/۰۹۰*
رقم×دما	٦	٦/۳۸۱	۱/۰٦۳	٤/۹۱۸**
دما×رطوبت	٦	۲/۹۷۰	۰/٤۹٥	۲/۲۸۹*
رقم×دما×رطوبت	۱۲	٤/۲۱۰	۰/۳٥۱	۱/ ٦۲۳ ns
خطا	۷۲	۱٥/٥٦۸	۰/۲۱٦	
کل	۱۰۸	٥۲۰۷۲۰/۳۸۷		

** تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد ($p<0.001$)، * تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد($p<0.005$)، ns عدم معنی‌داری

نتایج این جدول نشان می‌دهد اثرات اصلی رقم و رطوبت و همچنین اثر متقابل رقم در دما بر ضریب تبدیل در سطح خطای یک درصد معنی‌دار و اثر متقابل رقم در رطوبت و دما در رطوبت در سطح خطای پنج درصد معنی‌دار است. لذا باید مقایسه میانگین‌های ضریب تبدیل حاصل از ترکیب این تیمارها انجام شود [۱۵]. بدین منظور در شکل‌های ۱، ۲ و۳

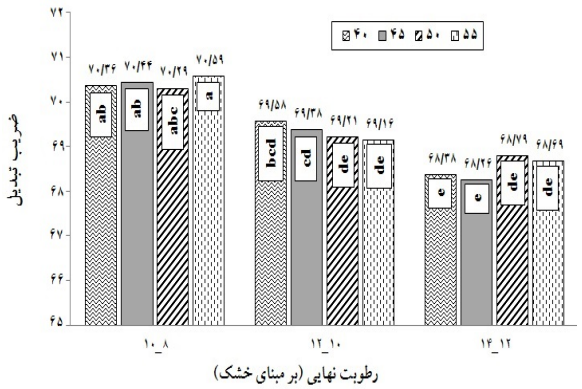
مقایسه میانگین‌های حاصله از اثرات متقابل با استفاده از آزمون دانکن ارائه شده است.

آنالیز آماری اثرات متقابل رقم در دما در شکل۱ نشان می‌دهد که ضریب تبدیل ارقام طارم و شیرودی در دماهای مختلف باهم اختلاف معنی‌داری ندارند و همه در گروه b جای می‌گیرند در حالی که ضریب تبدیل رقم هاشمی بطور معنی‌داری از دو رقم دیگر بیشتر است و در گروه a قرار می‌گیرد. همچنین، ضریب تبدیل رقم هاشمی در هر چهار دمای مورد نظر نسبت به دو رقم دیگر بیشترین مقدار است. که با توجه به فرمول محاسبه ضریب تبدیل و نتایج تحقیقات وانگ و همکاران، مو و همکاران و هدایتی‌پور و رحمتی بیشتر بودن ضریب تبدیل رقم هاشمی نسبت به دو رقم دیگر به دلیل بیشتر بودن نسبت وزنی برنج سفید به شلتوک است که علت آن خصوصیات ژنتیکی، شرایط محیطی، نوع عملیات کاشت و نوع کود مصرفی می‌باشد [۱۶، ۱۷ و ۱۹]. به منظور خشک کردن برنج، دماهای ۴۰ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد برای رقم طارم و دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد برای رقم شیرودی منجربه حصول بهترین ضریب تبدیل می‌شود در حالی که ضریب تبدیل در هر یک از این چهار دما برای رقم *هاشمی* تقریبا یکسان است.



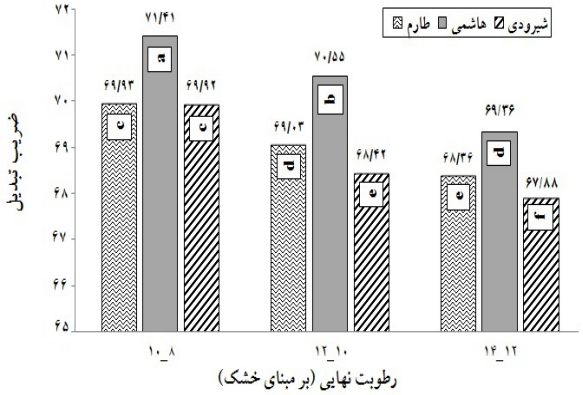
شکل۱ نمودار متوسط ضریب تبدیل در دماهای مختلف برای ارقام مختلف

آنالیز آماری اثر متقابل رطوبت در دما در شکل۲ نشان می‌دهد درجه سفیدی رطوبت‌های مختلف در دماهای مورد آزمایش با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارد به عبارت دیگر افزایش یا کاهش دما تغییری بر میزان درجه سفیدی در یک سطح رطوبتی ایجاد نمی‌کند. همچنین مشاهده می‌شود ضریب تبدیل با افزایش رطوبت در هر چهار سطح دمایی کاهش می‌یابد به عبارت دیگر ضریب تبدیل با رطوبت نسبت عکس دارد و در سطح رطوبتی ۱۰-۸ درصد شاهد بیشترین ضریب تبدیل هستیم. علت این پدیده افزایش سختی برنج قهوه‌ای و در نتیجه کاهش رطوبت است. با افزایش سختی جدا کردن سبوس از سطح برنج قهوه‌ای مستلزم صرف نیروی بیشتر از طرف سفید-کن می‌باشد. با توجه به اینکه تنظیمات اولیه سفیدکن برای تمام آزمایشات یکسان در نظر گرفته شده است، با کاهش درصد رطوبت، میزان سبوس جدا شده از سطح برنج قهوه‌ای کمتر می‌شود و لذا ضریب تبدیل افزایش می‌یابد [۱۸]. هدایتی‌پور و رحمتی [۱۹] نیز در تحقیقات خود به نتایج مشابهی دست یافتند.



شکل ۲ نمودار متوسط ضریب تبدیل در رطوبت‌های مختلف برای دماهای مختلف

بر اساس آنالیز آماری اثر متقابل رقم در رطوبت در شکل۳ مشاهده می‌شود ضریب تبدیل هر سه رقم *طارم*، *هاشمی* و *شیرودی* در رطوبت‌های مختلف با هم اختلاف معنی‌داری دارند. ضریب تبدیل هر سه رقم با رطوبت نسبت عکس داشته و با افزایش رطوبت ضریب تبدیل کاهش می‌یابد که این امر نتایج تحقیق شاکر و همکاران[۲۰]، هدایتی‌پور و رحمتی [۱۹] و نصیر احمدی و همکاران [۲۱] را تایید می‌کند. همچنین ضریب تبدیل رقم هاشمی در هر سه سطح رطوبتی بیشترین مقدار و ضریب تبدیل رقم شیرودی کمترین مقدار است.



شکل ۳ نمودار متوسط ضریب تبدیل در رطوبت‌های مختلف برای ارقام مختلف

۳-۲- اثر عوامل مختلف (دما و رطوبت نهایی) بر درصد ترک ارقام برنج

در جدول۲ نتایج آنالیز واریانس اثر ارقام برنج (طارم دم‌سیاه، هاشمی و شیرودی)، دما (۴۰، ۴۵، ۵۰ و ۵۵ درجه سانتی‌گراد) و سطح رطوبت نهایی (۱۰-۸، ۱۲-۱۰ و ۱۴-۱۲ درصد) بر درصد ترک آمده است که فاکتور اول مربوط به رقم، فاکتور دوم مربوط به رطوبت و فاکتور سوم دما می‌باشد.

جدول ۲ نتایج آنالیز واریانس سه طرفه مربوط به اثر ارقام برنج، دما و رطوبت نهایی بر میزان درصد ترک

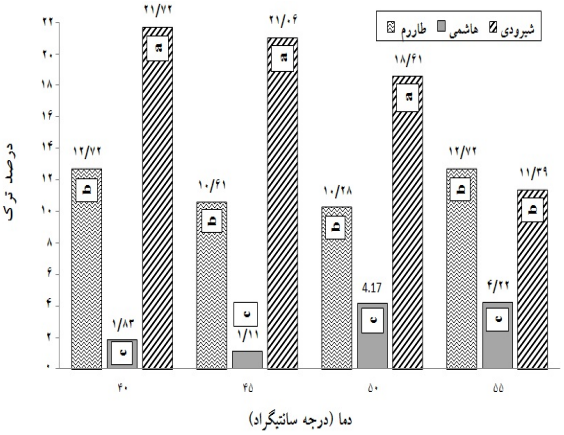
منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات (SS)	میانگین مربعات	F
رقم	۲	٤۲۷٤/۷۹٦	۲۱۳۷/۳۹۸	۲۵۵/۷۰٦**
رطوبت	۲	۲٤/۰۸۸	۱۲/۰٤٤	۱/٤٤۱ ns
دما	۳	۹۵/۹۰۷	۳۱/۹٦۹	۳/۸۲۵*
رقم×رطوبت	٤	۱۳۵/۳٤۳	۳۳/۸۳٦	٤/۰٤۸**
رقم×دما	٦	٦۲٤/٤۲٦	۱۰٤/۰۷۱	۱۲/٤۵۰**
دما×رطوبت	٦	۳٦٤/۸۵٦	٦۰/۸۰۹	۷/۲۷۵ ns
رقم×دما×رطوبت	۱۲	۳۲۷/٤۳۵	۲۷/۲۸٦	۳/۲٦٤**
خطا	۷۲	٦۰۱/۸۳۳	۸/۳۵۹	
کل	۱۰۸	۱۹۲۱۰/۵۰۰		

** تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد ($p<0.001$)، * تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد ($p<0.001$)، ns عدم معنی‌داری.

نتایج جدول۲ نشان می‌دهد اثرات اصلی رقم و دما همچنین اثرات متقابل رقم در دما، رقم در رطوبت، و رطوبت در دما در رطوبت بر درصد ترک در سطح خطای یک درصد و اثر اصلی دما در سطح خطای پنج درصد معنی‌دار است ولی اثر اصلی رطوبت و اثر متقابل رطوبت در دما اثر معنی‌داری بر درصد ترک ندارد. لذا به دلیل آنکه اثرات متقابل تیمارهای اصلی معنی‌دار می‌باشد، بایستی مقایسه میانگین‌های درصد شکستگی حاصل از ترکیب این تیمارها انجام شود [۱۵]. بدین منظور در شکل‌های ٤ و ۵ و نمودار۳ مقایسه میانگین‌های حاصله از اثرات متقابل با استفاده از آزمون دانکن ارائه شده است.

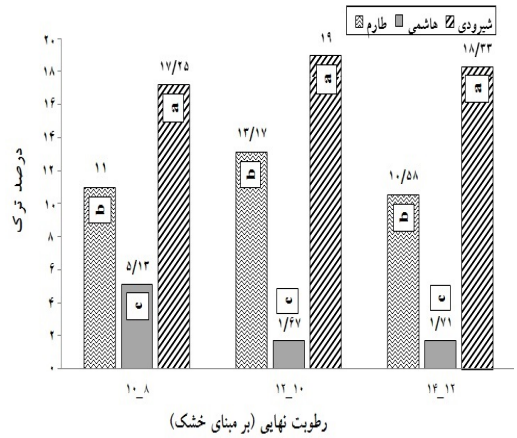
باتوجه به شکل٤ و آنالیز آماری اثر متقابل رقم در دما مشاهده می‌شود که درصد ترک رقم *طارم*، در دماهای ۴۰، ۴۵، ۵۰ و ۵۵ درجه سانتی‌گراد با هم اختلاف معنی‌داری نداشته و در یک گروه قرار می‌گیرند. این نتیجه همچنین برای ارقام *هاشمی* و *شیرودی* نیز قابل مشاهده است. در حالی که مینایی و همکاران [۲۲]، Juma Omar و Yamashita [۲۳] و سلیمانی [۲٤] برای خشک‌کن بستر ثابت به این نتیجه رسیدند که با افزایش دما درصد ترک افزایش می‌یابد که این امر نشان می‌دهد از خشک‌کن بستر سیال می‌توان برای خشک کردن محصولات با دمای بیشتر بدون افزایش معنی‌دار در درصد ترک استفاده کرد و این یکی ار مزیت‌های مهم خشک‌کن بستر سیال است. اما درصد ترک بین ارقام مختلف تفاوت معنی‌داری داشته بطوریکه رقم *شیرودی* با بیشترین مقدار در گروه **a**، رقم طارم

در گروه b و رقم *هاشمی* با کمترین میزان در بین سه رقم در گروه c قرار می‌گیرند. یعنی زمانی شاهد تغییر درصد ترک خواهیم بود که نوع رقم تغییر کند اما تغییر دما برای یک نوع رقم اثر معنی‌داری در درصد ترک ندارد که این به دلیل خواص فیزیکی و ژنتیکی هر یک از ارقام است.



شکل٤ نمودار متوسط درصد ترک در دماهای مختلف برای ارقام مختلف

با توجه به شکل۵ مشاهده می‌شود که درصد ترک رقم *طارم*، در رطوبت‌های ۱۰–۸، ۱۲–۱۰ و ١٤–١٢ درصد با هم اختلاف معنی‌داری نداشته و در یک گروه قرار می‌گیرند. این نتیجه همچنین برای ارقام هاشمی و شیرودی نیز قابل مشاهده است در حالی که میبایی و همکاران [۲۲] و سلیمانی [٢٤] به این نتیجه رسیدند که در دیگر خشک‌کن‌های برنج کاهش رطوبت باعث افزایش درصد ترک می‌شود. اما درصد ترک بین ارقام مختلف تفاوت معنی‌دار داشته بطوریکه رقم شیرودی، طارم و هاشمی به ترتیب در گروه‌های a، b و c قرار می‌گیرند. که این نیز به دلیل خواص فیزیکی و ژنتیکی دانه‌ها و همچنین نوع خشک‌کن به کار رفته است. یعنی زمانی شاهد تغییر درجه سفیدی خواهیم بود که نوع رقم تغییر کند. همچنین طبق این نمودار بیشترین درصد ترک برای ارقام *طارم*، *هاشمی* و *شیرودی* به ترتیب مربوط به رطوبت‌های ۱۲–۱۰، ۱۰–۸ و ۱۲–۱۰ درصد است.



شکل۵ نمودار متوسط درصد ترک در رطوبت‌های مختلف برای ارقام مختلف

با توجه به جدول۳ مربوط به آنالیز آماری اثرات متقابل رقم در رطوبت در دما بر درصد ترک مشاهده می‌شود که برای رقم *طارم* در سطوح رطوبتی و دمایی مختلف در درصد ترک اختلاف معنی‌داری مشاهده نمی‌شود اما برای رقم هاشمی در رطوبت ۱۰–۸ درصد ترک در دمای ٤٥ درجه سانتی‌گراد کمترین مقدار است و اختلاف معنی‌داری با درصد ترک در دماهای ۵۰ و ۵۵ درجه سانتی‌گراد دارد که کرمانی و همکاران نیز طی تحقیقی برای بررسی میزان ترک خوردگی تنشی رقم هاشمی به نتایج مشابهی دست یافتند [۲۵] ولی در سطوح رطوبتی ۱۲–۱۰ و ١٤–١٢ درصد در دماهای مختلف با هم اختلاف معنی‌داری ندارند. برای رقم شیرودی افزایش دما از ٤٠ به ۵۰ درجه سانتی‌گراد باعث ایجاد تغییر معنی‌دار در درصد ترک نمی‌شود. درصد ترک در دماهای ٤٥ و ۵۵ درجه سانتی‌گراد با هم و با درصد ترک در دماهای ٤٠ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد اختلاف معنی‌داری دارند. همچنین درصد ترک در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد با قرار گرفتن در گروه fg کمترین مقدار درصد ترک در سطح رطوبتی ۱۰–۸ درصد می‌باشد. در رطوبت ۱۲–۱۰ درصد درصد ترک تنها در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد با درصد ترک در دماهای دیگر اختلاف معنی‌دار داشته و کمترین مقدار است. در رطوبت ١٤–١٢ درصد، درصد ترک در دماهای ٤٠ و ٤٥ درجه سانتی‌گراد با هم و با درصد ترک در دماهای ۵۰ و ۵۵ درجه سانتی‌گراد اختلاف معنی‌داری دارند. برای رقم *شیرودی* تنها با افزایش دما ٤٠ به ٤٥ درجه سانتی‌گراد شاهد افزایش ترک خواهیم بود اما با افزایش دما به بالای ٤٥ درجه سانتی‌گراد درصد ترک کاهش می‌یابد.

جدول ۳ اثرات متقابل رقم در رطوبت در دما و آزمون دانکن مربوط به درصد ترک (میانگین± انحراف معیار)

میانگین درصد ترک	برش‌دهی اثرات متقابل		
	دما	رطوبت	رقم
۱۱/۱۷±۱/۵۳^{defg}	٤٠	۸–۱۰	طارم
۷/۵۰±٦/۲۵^{gh}	٤٥	۸–۱۰	طارم
۱۱/۵۰±۷/۲۱^{defg}	۵۰	۸–۱۰	طارم
۱۳/۸۳±۲/۵۲^{def}	۵۵	۸–۱۰	طارم
۱۳/۱۷±۲/۰۸^{def}	٤٠	۱۰–۱۲	طارم
۱۲/۱۷±۱/۵۲^{defg}	٤٥	۱۰–۱۲	طارم
۱۱/۸۳±٤/۷۳^{defg}	۵۰	۱۰–۱۲	طارم
۱۵/۵۰±۱/۰۰^{cde}	۵۵	۱۰–۱۲	طارم
۱۳/۸۳±۲/۰۸^{def}	٤٠	۱۲–۱٤	طارم
۱۲/۱۷±۳/۰٦^{defg}	٤٥	۱۲–۱٤	طارم
۷/۵۰±۳/٦۱^{gh}	۵۰	۱۲–۱٤	طارم
۸/۸۳±۳/۵۱^{fg}	۵۵	۱۲–۱٤	طارم
۳/۵۰±۱/۰۰^{hi}	٤٠	۸–۱۰	هاشمی
۱/۰۰±۱/۳۲^{i}	٤٥	۸–۱۰	هاشمی
٦/۸۳±۱/۵۳^{gh}	۵۰	۸–۱۰	هاشمی
۹/۱۷±۳/۷۹^{fg}	۵۵	۸–۱۰	هاشمی
۱/۵۰±۱/۰۰^{i}	٤٠	۱۰–۱۲	هاشمی
۱/۰۰±۰/۵۰^{i}	٤٥	۱۰–۱۲	هاشمی
۲/۸۳±۲/۰۸^{i}	۵۰	۱۰–۱۲	هاشمی
۱/۳۳±۰/۷٦^{i}	۵۵	۱۰–۱۲	هاشمی
۰/۵۰±۰/۵۰^{i}	٤٠	۱۲–۱٤	هاشمی
۱/۳۳±۱/۰٤^{i}	٤٥	۱۲–۱٤	هاشمی
۲/۸۳±۱/۵۳^{hi}	۵۰	۱۲–۱٤	هاشمی
۲/۱۷±۵۳/۱^{hi}	۵۵	۱۲–۱٤	هاشمی
۲۱/۸۳±۳/۵۱^{b}	٤٠	۸–۱۰	شیرودی
۱٦/۱۷±٤/۱٦^{cd}	٤٥	۸–۱۰	شیرودی
۲۱/۸۳±۱/۵۳^{b}	۵۰	۸–۱۰	شیرودی
۹/۱۷±٤/۰٤^{fg}	۵۵	۸–۱۰	شیرودی
۲۱/۵۰±۲/٦۵^{b}	٤٠	۱۰–۱۲	شیرودی
۱۹/۵۰±٤/۵۸^{bc}	٤٥	۱۰–۱۲	شیرودی
۲۳/۵۰±۱/۰۰^{ab}	۵۰	۱۰–۱۲	شیرودی
۱۱/۵۰±۲/٦۵^{defg}	۵۵	۱۰–۱۲	شیرودی
۲۱/۸۳±۱/۵۳^{b}	٤٠	۱۲–۱٤	شیرودی
۲۷/۵۰±۱/۰۰^{a}	٤٥	۱۲–۱٤	شیرودی
۱۰/۵۰±۳/۰۰^{efg}	۵۰	۱۲–۱٤	شیرودی
۱۳/۵۰±۲/۰۰^{def}	۵۵	۱۲–۱٤	شیرودی
۱۹/۹۸۵**		F	
۰/۰۰۰		Sig.	

a, b, c,... حروف متفاوت در هر ستون بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح یک درصد است.

٤- نتیجه‌گیری

تغییرات رقم و رطوبت و اثر متقابل رقم در دما و رقم در رطوبت و دما در رطوبت اثر معنی‌داری بر ضریب تبدیل دارند در حالی که اثر مستقل دما و اثر متقابل رقم، دما و رطوبت اختلاف معنی‌داری بر ضریب تبدیل ندارند. ضریب تبدیل ارقام *طارم*، *هاشمی* و *شیرودی* با رطوبت نسبت عکس داشته و با افزایش رطوبت ضریب تبدیل در هر چهار سطح دمایی کاهش می‌یابد. دماهای ٤٠ و ٥٠ درجه سانتی‌گراد برای رقم *طارم* و دمای ٥٥ درجه سانتی‌گراد برای رقم شیرودی منجربه حصول بهترین ضریب تبدیل می‌شود در حالی که ضریب تبدیل در هر یک از این چهار دما برای رقم *هاشمی* تقریبا یکسان است. تغییر دما و نوع رقم باعث ایجاد تغییرات معنی‌داری در میزان درصد ترک می‌شود. درصد ترک در دمای ٤٠ درجه سانتی‌گراد در هر سه سطح رطوبت تقریبا ثابت است در حالی که در دمای ٤٥ درجه سانتی‌گراد با افزایش رطوبت افزایش می‌یابد. در دماهای ٥٠ و ٥٥ درجه سانتی‌گراد با افزایش رطوبت، درصد ترک کاهش می‌یابد. رقم *هاشمی* در بین همه ارقام کمترین مقدار درصد ترک را دارد که با افزایش رطوبت میزان ترک این رقم در حین عملیات تبدیل کاهش می‌یابد. درصد ترک رقم هاشمی با افزایش دمای خشک کردن افزایش می‌یابد در صورتی که درصد ترک رقم شیرودی کاهش می‌یابد. بنابراین رطوبت ١٠-٨ درصد برای هر یک از ارقام و دماهای ٤٠ و ٥٠ درجه سانتی‌گراد برای رقم طارم و دمای ٥٥ درجه سانتی گراد برای رقم شیرودی مناسب‌ترین شرایط خشک کردن برای حصول بهترین ضریب تبدیل و برای ارقام طارم، شیرودی و هاشمی به ترتیب دماهای ٥٠، ٤٥ و ٥٥درجه سانتی‌گراد و رطوبت‌های ١٤-١٢ و ١٠-٨ و ١٢-١٠ درصد مناسب‌ترین شرایط خشک کردن برای حصول کمترین درصد ترک می‌باشد.

٥- منابع

[1] Mohaddesi, A., Eshraghi, A., Nasiri, M., Bahrami, M., Allah gholi poor, M., Kiyanoosh, GH. A., Tavassoli, F., Oskoo, T., Aref, H., Mohammad Salehi, M., Padam, H., Omrani, M., Vafadar, A., Saeidi, M. and Mohammad yoosofi, M. (2008). ShiroodiT, The new rice variety with high yielding and desirable quality. Seed and Plant Improvment Journal. 25 (4): 655- 659.

[2] Nasrnia, A., Sadeghi, M. And Masoomi, A. (2012). Effect of different drying and tempering conditions on milling index during the two-stage drying. Journal of Iranian Food Science and Technology. 8 (1): 40-48.

[3] Sarker, N.N., O.R. Kunze & Strouboulis, T. (1996). Transient moisture gradients rough rice mapped with finite element model and related to fissure after heated air drying. Transactions of the ASAE 39(2): 625-631.

[4] Soponronnarit, S. Swasdisevi, T. Wetchacama, S. and Wutiwiwatchai, W. (2001). Fluidized bed drying of soybeans. Journal of Stored Products Research. 37:133-151.

[5] Prachayawarakorn, S. Poomsa-ad, N. and Soponronnarit, Somchart. (2005). Quality maintenance and economy with high-temperature paddy-drying processes. Journal of Stored Products Research. 41:333–351.

[6] Khodadadi, M., Rahmati, M.H., Alizadeh, M.R. and Yousefi, M.R. (2014). Evaluation of rice different varieties optical degree of milling (DOMmm) and mass degree of milling (DOMm) under the factors affecting on drying in fluidized bed dryer. International Journal of Biosciences. 5 (1): 21-28.

[7] Firouzi, F. and Alizadeh, M.R. (2013). An investigation of the effects of harvesting time and milling moisture content of paddy on the quality of milled rice. International Journal of Biosciences. 3 (10): 133-138.

[8] Khoshtaqaza, M. H., Sadeghi, M. and Amiri Chayjan, R. (2007). Study of rough rice drying process in fixed and fluidized bed conditions. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources. 14 (2): 127-136.

[9] Courtois, F., Abud Archila, M., Bonazzi, C., Meot J.M. and Trystram, G. (2001). Modelling and control of a mixedflow rice dryer with emphasis on breakage quality. Journal of Food Engineering. 49(4): 303-309.

[10] Wiset, L, Srzednicki, G. and Driscoll, R. (2001). Effects of high temperature drying on rice quality. Agricultural Engineering International: the CIGR journal of Scientific Research and Development. FP01003

[11] Zamani, Q. and Alizadeh, M. R. (2007). Characteristics and technology of different rice varieties in Iran. Pelk Press. First Edition. 213 pp.

[12] ASAE (2000). ASAE Standard S352.2: moisture measurement-unground grain and seeds in ASAE tandards 2000. St. Joseph, MI.

[13] Habibian, M., Kazemi, R. and Shafiei, Sh. (2006). Practical drying investigation of agricultural cereals in fluidized bed dryer. 16th National Congrees of Iran Food Industry. Gorgan. Iran.

[14] Faraji, F., Isfehani, M., Nahvi, M. And Rabiei, B. (2011). Effect of nitrogen fertilizer on rice yield and conversion efficiency of Khazar variety. Journal of Iran Crop Sciences. 13(1): 61-77.

[15] Soltani, A. (2007). Application of SAS software in statistical analysis. Iranian Academic Center for Education, Culture and Research (ACECR), Mashhad. 181 pp.

[16] Wang, Z., Y. J. GU, G. Chen, F. Xiong and Y. X. Li. (2003). Rice quality and its affecting factors. Molecular Plant Breeding. 1(2): 231-241.

[17] Mo, Y. W., Z. Wang, G. B. Liang, S. Q. Qian, G. Chen and Y. J. Gu. (2004). Effects of various nitrogen applications on the quality of the progeny seedlings in rice. Acta Agronomica Sinica. 30(3): 227-231.

[18] Web, B. D., and Calderwood, D. L. (1977). Relationship of Moisture Content to degree of milling in rice. Cereal World. 22: 884.

[19] Hedayatipour, A. and Rahmati, M. H. (2007). Study of the effect of drier temperature and paddy moisture content on broken percentage and yield in high varieties of Mazandaran province. Journal of aggriculture sciences and natural resorces. 13 (6): 93-99.

[20] Shaker, M., Afzalinia, S. and Zare, A. (2002). Compare of different combinations conversion devices and choosing the best them. Second national congress of Agricultural Machinery Engineering and Mechanization.

[21] Nasirahmadi, A., Emadi, B., Abbaspourfard, M.H. and Aghagolzadeh, H. (2011). Suitable moisture for optimizing conversion coefficient of Tarom and Fajr rice varieties. The 5th Regional Congress on Advances in Agricultural Research (West of Iran). 18-19 may 2011. University of Kordestan.Sanandaj, Iran.

[22] Minaee, S., Roohi, Gh. R. and Alizadeh, M.R. (2005). Investigation of the Effects of Drying Parameters on Rice Craking and Breakage during Milling. Journal of Agricultural Engineering Research. 6 (22): 97-112.

[23] Juma Omar, S. and Yamashita, R. (1987). Rice drying, husking and milling. Part1, drying. Agricultural mechanization in Asia, Africa and Latin America. 18 (2): 43-46

[24] Soleymani, M. (1998). The effect of drier parameters on quality characteristics of the fragility of rice. Food Science and Technology Master's Thesis. Faculty of Agriculture, Tarbiat Modarres University.

[25] Kermani, A.M., Tvakolihashtjin, T., Khoshtaqaza, M.H. (2006). Evaluating the stress cracking of two rice varieties of Khzar and Hashemi during drying of thin layer paddy. Iranian Journal of Agriculture science. 37 (4): 697-705.

Investigating the effect of air temperature and paddy final moisture on the crack percent and conversion coefficient of Iranian rice varieties in fluidized bed dryer

Khodadadi, M. [1*], Rahmati, M. H. [2], Alizadeh, M. R. [3], Rezaei Asl, A. [4]

1. PhD student of Biosystems Engineering, Department of Agriculture Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
2. Associate Prof, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
3- Assistant Prof, Rice Research Center, Rasht, Iran
4. Assistant Prof, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
(Received: 93/3/28 Accepted: 93/9/2)

Economic value of the rice product is determined by the quality of rice after paddy conversion operation to white rice. Conversion Coefficient and crack percent are two important indices for determining the quality of rice after conversion operation that type of dryer used is effective on level of these indices. In this study effect of air temperature was studied in four levels (40, 45, 50 and 55°C); final moisture in three levels (8-10, 10-12, and 12-14%) and rice variety in three levels (Tarom-domsiah, Hashemy, Shirudy) on crack percent and conversion coefficient during the drying in a fluidized bed dryer. Experiments were conducted in the factorial design with three replications and three factors 3×3×4. Results showed that conversion coefficient of Tarom-domsiah, Hashemi and Shiroodi varieties reduced with increasing of moisture at all four temperature levels. In order to dry rice, temperatures 40°C and 50°C for Tarom-domsiah variety and temperature 55°C for Shiroodi variety lead to the best conversion coefficient. Crack percent of Hashemi variety increases with rising of drying temperature but crack percent of Shiroodi variety is reduced. Minimal crack percent of Tarom-domsiah, Hashemi and Shiroodi varieties is gained at temperatures (45°C and 50°C), 45°C and 55°C respectively. Hence, it is recommended to use temperatures mentioned for drying of these varieties in order to obtain minimal crack content.

Keywords: Rice, Fluidized bed dryer, Conversion coefficient, Crack percent, Paddy

* Corresponding Author E-Mail Address: mehdikhodadadi20@gmail.com