

بررسی عوامل مؤثر بر ایجاد ترک و خرده برنج در اثر خشک کردن

شلتوک طی فرآیند تبدیل^۱

سعید مینایی، غلامرضا روحی و محمد رضا علیزاده^۲

۱- چکیده:

شلتوک یکی از غلات عمده است که پیش از انبارداری و در ابتدای فرآیند تبدیل نیاز به خشک کردن دارد. بخش مهمی از ضایعات برنج (بروز ترک‌های اولیه)، در مرحله خشک کردن روی می‌دهد. برای مطالعه تأثیر عوامل مختلف بر ضایعات برنج در هنگام خشک کردن، فرآیند خشک کردن دو رقم شلتوک بررسی شد. آزمایش در قالب طرح آماری کورت‌های دوبار خرد شده با چهار پارامتر: رقم شلتوک (بینام و کاظمی)، دمای هوای خشک کن (در سه سطح ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نهایی شلتوک بر اساس وزن تر (در سه سطح ۱۰، ۱۲، ۱۴ درصد) و ضخامت لایه شلتوک در مخزن خشک کن (در سه سطح ۱۰-، ۱۰-۲۰، ۲۰-۳۰ سانتی‌متر)، اجرا شد تا اثرات اصلی و همچنین اثر متقابل پارامترهای مذکور بر میزان ترک ایجاد شده طی خشک کردن و درصد خرده برنج پس از تبدیل بررسی شود. طی این تحقیق مشخص شد که رقم کاظمی نسبت به رقم بینام حساسیت بیشتری به عوامل ایجاد ترک دارد. همچنین میزان برنج خرد شده پس از تبدیل برای رقم کاظمی بیشتر از رقم بینام است. طبق بررسی‌های آماری، دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد هوای خشک‌کن، دمای مناسبی برای خشک کردن شلتوک از نظر میزان ترک ایجاد شده در این مرحله و کاهش خرده برنج پس از تبدیل است. رطوبت مناسب شلتوک برای اجرای عملیات تبدیل این دو رقم، ۱۴ درصد تشخیص داده شد. با افزایش ضخامت لایه شلتوک درون مخزن خشک‌کن، میزان ترک و خرده برنج ایجاد شده به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد.

۲- واژه‌های کلیدی:

درصد ترک، درصد خرده برنج، دمای هوای خشک‌کن، رطوبت نهایی دانه، شلتوک.

۱- برگرفته از تحقیق مستقل

۲- به ترتیب عضو هیأت علمی گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی - دانشگاه تربیت مدرس. تلفن: ۱۴۹۶۴۰۷ (۰۲۱)، دورنگار:

۴۱۹۶۵۲۴ (۰۲۱)، پیام نگار: minae7@hotmail.com کارشناس ارشد مکانیک ماشینهای کشاورزی و عضو هیأت علمی بخش

فنی و مهندسی مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت.

۳- مقدمه:

درصد افزایش می‌دهد. خوشحال و مینایی (۱۳۸۲)، ضمن طراحی و ساخت یک خشک‌کن عمودی لایه نازک و مقایسه عملکرد آن با خشک‌کن سنتی متداول، نتیجه گرفتند که استفاده از خشک‌کن جدید به جای دستگاه‌های سنتی، سبب ۳۱ درصد کاهش مصرف انرژی، ۱۸ درصد کاهش مصرف ویژه سوخت، ۵۷ درصد کاهش زمان خشکاندن، و کاهش بیش از ۲۹ درصد ضایعات می‌شود. تحقیقات نشان می‌دهد که دما و زمان خشکاندن (نسبت به سایر پارامترهایی مثل سرعت هوا، رقم، و رطوبت اولیه محصول) بیشترین اثر را بر ترک خوردگی دانه برنج دارد [۱۴]. در ارتباط با ترک خوردن دانه باید گفت که این حالت هنگامی رخ می‌دهد که تنش حاصل از تغییرات رطوبت، از مقاومت کششی دانه تجاوز کند [۱۳]. تحقیقات وایست و همکاران (Wiset, et al., 2001) نشان می‌دهد که خشک کردن شلتوک با خشک‌کن بستر سیال، نسبت به خشک‌کن بستر ثابت، ضایعات کمتری ایجاد می‌کند. جولیانو (Juliano, 1985) با توجه به تحقیقات مختلف، رطوبت نهایی مناسب را برای تبدیل ۱۴ درصد می‌داند.

با توجه به اهمیت اقتصادی ضایعات برنج، بررسی راه‌های کاهش ضایعات در عملیات پس از برداشت محصول برنج، به ویژه در مرحله خشک کردن قبل از تبدیل شلتوک به برنج سفید، اهمیت بالایی دارد. لذا در این تحقیق علاوه بر تأثیر رقم و رطوبت نهایی شلتوک، اثر دمای هوای خشک‌کن و عمق قرارگیری شلتوک درون محفظه خشک‌کن نیز بر میزان افزایش ترک برنج قهوه‌ای و برنج خرد ایجاد شده پس از تبدیل بررسی شد.

برنج یکی از مهم‌ترین اقلام غذایی در جهان است. میلیون‌ها نفر از آن به عنوان غذای اصلی و یا یکی از غذاهای اصلی استفاده می‌کنند. در کشور ما نیز برنج بعد از گندم، ماده اصلی غذای مردم را تشکیل می‌دهد و با توجه به افزایش جمعیت و محدودیت‌های افزایش سطح زیرکشت این محصول، یکی از مهم‌ترین راهبردها، تلاش برای کاهش ضایعات در عملیات تبدیل شلتوک به برنج سفید است.

تحقیقات نشان می‌دهد که در بازارهای جهانی در صورت وجود خرده برنج در محصول عرضه شده برای فروش، قیمت آن با توجه به شرایط تا یک دهم برنج مرغوب کاهش می‌یابد [۹]. یکی از مراحل تولید برنج خشک کردن شلتوک است که از نظر ایجاد ضایعات مرحله مهمی به شمار می‌آید. تنش‌های وارد شده به دانه برنج در این مرحله و ترکهای ایجاد شده، از نظر میزان خرده برنج تاثیر زیادی در کیفیت برنج سفید حاصل دارد. نتایج تحقیقات عارفی و همکاران (۱۳۷۳) نشان می‌دهد که به کارگیری دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد برای خشکاندن شلتوک ارقام آمل ۳ و هراز به دلیل کاهش میزان خرده برنج، نسبت به دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد مناسب‌تر است. کیانمهر (۱۳۸۰)، تحقیقی با عنوان بررسی عوامل مؤثر فیزیکی در ترک خوردگی شلتوک در خشک‌کن با جریان معکوس شونده انجام داد. وی نتیجه گرفت که زمان خشک شدن محصول فقط بستگی به دمای هوای ورودی به خشک‌کن دارد و متأثر از سایر عوامل همچون وارپته و جهت جریان نیست و نیز افزایش دما از ۳۵ به ۶۵ درجه سانتی‌گراد، میزان ترک خوردگی را ۴۵

۴- مواد و روش‌ها:

- مواد:

در این تحقیق از دو رقم شلتوک بینام و علی کاظمی (۱۵۰ کیلوگرم از هر رقم) استفاده شد. سایر مواد و وسایل مورد استفاده عبارت بودند از:

خشک کن آزمایشگاهی (بستر ثابت) ساخت هیتاچی^۱ ژاپن، رطوبت سنج الکترونیکی مدل GMK-303RS ساخت کره (با دقت ۰/۱ بر پایه‌تر)، ترک بین نوری، پوست کن آزمایشگاهی غلتک لاستیکی ساخت ساتاکه^۲ ژاپن و سفیدکن آزمایشگاهی ساخت بالدور^۳ آمریکا (ظرفیت ۱۰۰ تا ۱۲۰ گرم برنج قهوه‌ای).

برای خشک کردن نمونه‌ها و رساندن رطوبت آنها به سطوح مورد نیاز، خشک کن آزمایشگاهی از نوع ثابت بستر افقی به کار گرفته شد (شکل شماره ۱). سه قسمت اصلی این دستگاه عبارت اند از:

جعبه های شلتوک، محفظه هوای گرم، و مشعل. بیست جعبه به ابعاد ۳۰×۲۰×۱۰ سانتی متر مربع که ظرفیت هر یک حدود ۳/۵ کیلوگرم است در این دستگاه وجود دارد. مشعل خشک کن، نفت سوز است و با یک دمنده، گرمای حاصل از سوختن نفت را به درون محفظه هوای گرم (مخزن) که زیر جعبه های شلتوک واقع است، غیرمستقیم می دمد و موجب به جریان افتادن هوای گرم از لایه های شلتوک می شود. دمای درون محفظه با دماسنجی اندازه گیری می شود که در بدنه آن نصب شده است. با شیر تنظیم سوخت می توان دمای هوا را تغییر داد. ترک بین و پوست کن در دانشگاه تربیت مدرس ساخته شده و عملکرد آن مورد تأیید قرار گرفته بود^۲ [۲]. آزمایش ها در تابستان ۱۳۸۰ و در مؤسسه تحقیقات برنج کشور انجام شد.



شکل شماره ۱- خشک کن نوع ثابت بستر افقی آزمایشگاهی

1- Hitachi

2- Satake

3- Baldor

- برای کسب اطلاعات بیشتر در این زمینه به مرجع شماره ۲ مراجعه شود.

- روش‌ها:

۱۰، ۲۰، و ۳۰ سانتی‌متری مشخص شد تا در هنگام نمونه‌برداری مشکلی پیش نیاید. در آزمایش نخست، دمای خشک‌کن روی ۶۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد. تعداد ۹ جعبه با شلتوک رقم کاظمی و ۹ جعبه دیگر با رقم بینام تا ارتفاع ۳۰ سانتی‌متری پر و به طور تصادفی در خشک‌کن جاگذاری شدند. دو جعبه باقیمانده نیز با شلتوک اضافی پر شد تا پارامترهای مؤثر بر خشک کردن مانند دمای هوا ثابت باشد. پس از شروع عملیات خشک‌کنی، رطوبت شلتوک‌های سطح بالایی جعبه‌ها هر ۱۰ دقیقه یک بار با رطوبت سنج الکترونیکی تعیین می‌شد. وقتی رطوبت شلتوک‌ها به ۱۴ درصد رسید، از آنها نمونه‌گیری شد. شش جعبه (سه جعبه حاوی رقم بینام و سه جعبه حاوی رقم کاظمی)، از خشک‌کن خارج شدند. هر یک از سه جعبه مربوط به یک رقم، نماینده یک تکرار بود. یعنی سه جعبه برداشته شده از رقم بینام نشان دهنده سه تکرار مربوط به دمای هوای ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک‌کن، و رطوبت ۱۴ درصد است. سپس جای خالی آنها با بلوک‌های چوبی پر می‌شد تا دمای هوای خشک‌کن پایین نیاید و خشک کردن برای رسیدن به رطوبت‌های پایین‌تر (۱۰ و ۱۲ درصد) ادامه یابد. از جعبه‌های خارج شده نمونه‌برداری می‌شد. از هر عمق مشخص شده، ۱۸۰ گرم شلتوک خارج و پس از توزین در پلاستیک‌هایی ریخته می‌شد که مشخصات نمونه (تکرار، رقم، دمای هوای خشک‌کن، رطوبت، و عمق نمونه‌برداری) روی آن مشخص شده بود. عملیات خشک کردن برای رسیدن به رطوبت‌های ۱۲ و ۱۰ درصد در همین دما ادامه یافت و به همان صورت ذکر شده

فرآیند خشک کردن شلتوک در قالب طرح آماری کرت‌های دوبار خرد شده با چهار عامل: دمای هوای خشک‌کن (عامل اصلی) در سه سطح ۴۰، ۵۰، و ۶۰ درجه سانتی‌گراد، رقم شلتوک (عامل فرعی اول) علی کاظمی و بینام، رطوبت نهایی شلتوک (عامل فرعی دوم) در سه سطح ۱۰، ۱۲، و ۱۴ درصد بر پایه تر، و ضخامت لایه شلتوک در مخزن (عامل فرعی سوم) در سه سطح ۰-۱۰، ۱۰-۲۰، و ۲۰-۳۰ سانتی‌متر در سه تکرار اجرا شد. از هر رقم چهار نمونه ۲۰۰ گرمی شلتوک به طور تصادفی انتخاب و از آنها برای اندازه‌گیری رطوبت و درصد ترک اولیه استفاده شد. برای اندازه‌گیری رطوبت اولیه شلتوک، ۵ گرم شلتوک (موجود در نمونه‌ها) در محفظه رطوبت سنج الکترونیکی قرار داده شد و با اجرای چهار تکرار مقدار رطوبت اولیه برای رقم‌های کاظمی و بینام به ترتیب ۱۵ درصد و ۱۵/۵ درصد به دست آمد. برای اندازه‌گیری درصد ترک اولیه دانه برنج (قبل از خشک کردن)، از هر نمونه ۲۰۰ گرمی، پوست تعدادی شلتوک جدا گردید و از آنها ۵۰ عدد برنج قهوه‌ای کامل انتخاب و روی دستگاه ترک‌بین قرار داده شد. تعداد دانه‌های دارای ترک تعیین و با استفاده از روش تناسب، درصد ترک اولیه مشخص شد. با اجرای چهار تکرار، مقدار ترک اولیه برای رقم کاظمی ۲۴ درصد و برای رقم بینام ۱۲ درصد محاسبه شد. پس از به دست آوردن اطلاعات اولیه، محصول برای خشک کردن آماده سازی شد.

در ابتدا روی جعبه‌های خشک‌کن، عمق‌های

تیمار ۱۵۰ گرم شلتوک وزن و بسا دستگاه پوست‌کن، پوست آنها جدا شد. از برنج قهوه‌ای به دست آمده، ۱۰۰ گرم توزین و وارد دستگاه سفیدکن شد. پس از ۳۰ ثانیه سفیدکنی، برنج سفید حاصل درون کیسه پلاستیکی حاوی مشخصات تیمار و تکرار قرار داده شد تا درصد خرده برنج آن محاسبه شود. برای این کار از هر تیمار ۳ تکرار ۵ گرمی از برنج سفید برداشت شد. سپس با الک‌های موجود در آزمایشگاه و به کمک پنس، برنج سفید سالم از برنج خردا جدا و درصد آن تعیین شد. با میانگین‌گیری از سه تکرار نمونه‌های ۵ گرمی، درصد خرده برنج هر تیمار به دست آمد و با میانگین‌گیری نهایی از سه تکرار اصلی، درصد خرده برنج نهایی هر تیمار مشخص می‌شد. جهت تبدیل داده‌ها به توزیع نرمال از تابع $y = \arcsin \sqrt{x}$ استفاده [۱] و نتایج تجزیه واریانس و آزمون دانکن با نرم افزار MSTATC استخراج شد.

۵- نتایج و بحث:

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش، که در جدول شماره ۱ داده شده است، نتایج زیر استنتاج می‌شود:

تأثیرات اصلی کلیه متغیرها بر میزان ترک ایجاد شده در برنج قهوه‌ای معنی‌دار است. اثر متقابل رقم و دما (C×T)، رقم و رطوبت (C×M)، دما و رطوبت (T×M)، رقم و ضخامت لایه (C×D)، و دما و ضخامت لایه (T×D) نیز در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. اما اثر متقابل رطوبت و ضخامت لایه شلتوک (M×D) بر میزان ترک ایجاد شده

نمونه‌گیری به عمل آمد. روز بعد، دمای هوای خشک‌کن روی ۵۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم و تمام مراحل انجام شده در فرآیند خشک کردن در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد مجدداً اجرا شد. به همین ترتیب روز بعد نمونه‌گیری‌های مربوط به دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد نیز ادامه یافت. در پایان نمونه‌گیری‌های ۵۴ تیمار با سه تکرار، ۱۶۲ نمونه حاوی ۱۸۰ گرم شلتوک خشک شده در دماهای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد، رطوبت‌های ۱۰، ۱۲، و ۱۴ درصد بر پایه‌تر از دو رقم کاظمی و بینام با ضخامت لایه‌های نمونه‌گیری ۲۰-۳۰، ۱۰-۲۰ و ۰-۱۰ سانتی‌متر به دست آمد.

این نمونه‌ها به آزمایشگاه بخش فنی و مهندسی مؤسسه تحقیقات برنج کشور برده شد. از هر تیمار تعدادی شلتوک انتخاب شد، پس از پوست‌کندن ۵۰ دانه برنج قهوه‌ای کامل (شکسته) و قرار دادن آنها روی دستگاه ترک بین، درصد ترک هر تیمار مشخص شد. با میانگین‌گیری از سه تکرار برای هر تیمار، درصد ترک تیمار پس از خشک کردن مشخص شد. سپس مقادیر به دست آمده از درصد ترک تیمار، از میزان درصد ترک اولیه کم شد تا افزایش درصد ترک هر تیمار مشخص شود. بدین ترتیب، تأثیر پارامترهای مورد نظر بر ترک ایجاد شده (افزایش درصد ترک) قابل بررسی شد. در ادامه، نمونه‌ها به آزمایشگاه صنایع غذایی بخش فنی و مهندسی انتقال داده شد و عملیات تبدیل روی آنها صورت گرفت. در هنگام پوست‌کنی، فاصله بین غلتک‌های پوست‌کن مطابق تحقیقات پیمان (۱۳۷۹) ۰/۵۵ میلی‌متر در نظر گرفته شد. زمان سفیدکنی نیز برای همه تیمارها ۳۰ ثانیه در نظر گرفته شد. از هر

معنی دار نیست. (شکل شماره ۲) به گونه‌ای که درصد ترک در رقم کاظمی در مقایسه با بینام به طور متوسط ۵۲/۵ درصد بیشتر است. همچنین، آزمون دانکن نشان می‌دهد که میزان درصد ترک و برنج خرد ایجاد شده به طور میانگین برای دو رقم بینام و کاظمی در سه سطح دمای هوای خشک کن اختلافی معنی دار با یکدیگر دارند (شکل شماره ۳). نمودار نشان می‌دهد که بالارفتن دما موجب افزایش میزان ترک خوردگی می‌شود. این تأثیر در دماهای ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد بیشتر مشهود است.

تأثیرات اصلی کلیه متغیرها بر میزان خرده برنج ایجاد شده در برنج سفید حاصل از تبدیل معنی دار است. نتایج تجزیه واریانس اثرهای متقابل بر میزان درصد خرده برنج ایجاد شده، مانند نتایج آنها بر درصد ترک معنی دار است که ذکر شد.

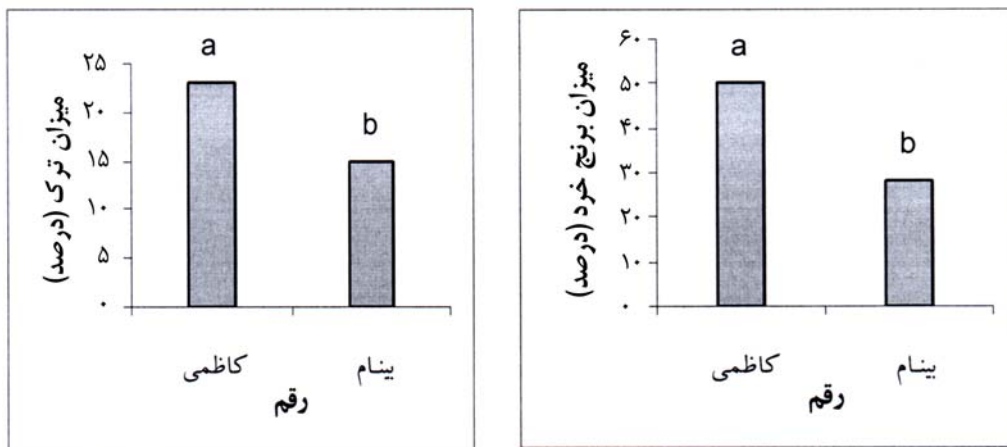
با بررسی نتایج آزمون چند دامنه‌ای دانکن مشخص می‌شود که رقم کاظمی در مقایسه با رقم بینام نسبت به عوامل ایجاد ضایعات حساسیت بیشتری دارد و میزان درصد ترک و برنج خرد ایجاد شده در آن به طور معنی دار بیشتر از رقم بینام است.

جدول شماره ۱- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی*

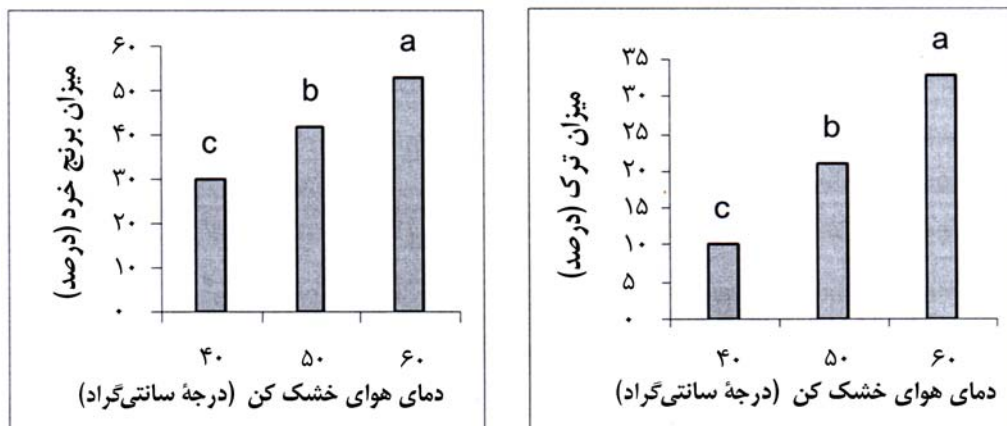
میانگین مربعات (MS)		درجات آزادی	منبع تغییرات
خرده برنج سفید	افزایش ترک		
۶/۶۷۶n.s.	۲۴/۷۴۹n.s.	۲	تکرار
۶۵۷۰/۱۴۵	۹۶۱/۱۶۷	۱	رقم (C)
۲۹۷۸/۲۹۸	۳۹۳۴/۲۹۷	۲	دما (T)
۲۸۲/۲۷۵	۵۴۰/۳۶۰	۲	رطوبت (M)
۳۶۵/۷۵۲	۵۳۷/۷۵۶	۲	عمق (D)
۹۹/۵۲۰	۶۰/۶۹۱	۲	رقم×دما (C×T)
۳۰۳/۹۲۹	۱۸۷/۷۹۸	۲	رقم×رطوبت (C×M)
۴۹/۳۷۷	۱۵۹/۱۵۷	۲	رقم×عمق (C×D)
۴۶۸/۲۷۰	۴۶۶/۳۸۹	۴	دما×رطوبت (T×M)
۲۶۲/۳۱۸	۲۱۶/۲۶۴	۴	دما×عمق (T×D)
۲۷/۶۴۰n.s.	۲۹/۹۰n.s.	۴	رطوبت×عمق (M×D)

*کلیه موارد فوق در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار هستند.

n. s. : فاقد اثر معنی دار



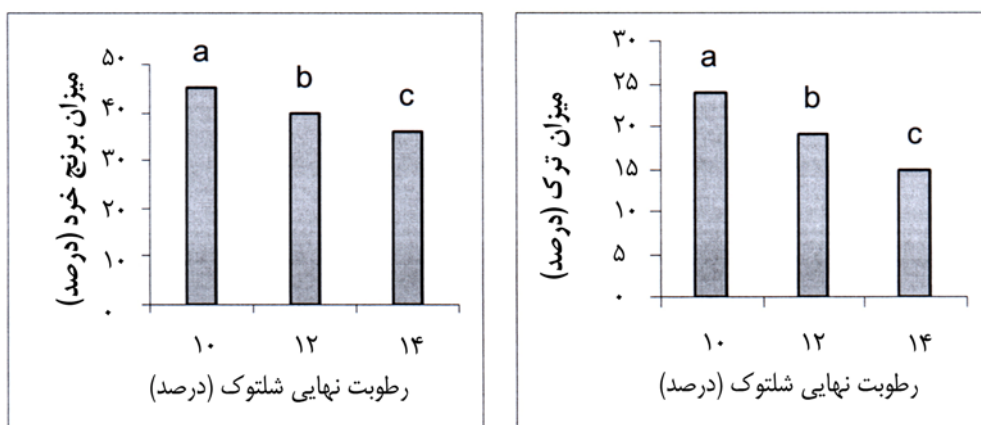
شکل شماره ۲- نمودار میانگین درصد ترک و برنج خرد ایجاد شده برای دو رقم شلتوک



شکل شماره ۳- نمودار اثر دمای هوای خشک کن بر میزان درصد ترک و برنج خرد ایجاد شده

شکل شماره ۴ مقایسه بین میانگین درصد برنج خرد و ترک ایجاد شده در دو رقم بینام و کازمی نشان داده شده است. با افزایش رطوبت شلتوک از ۱۰ به ۱۴ درصد، میزان برنج خرد و میزان ترک دانه به طور متوسط در حدود ۱۰ درصد کاهش می‌یابد.

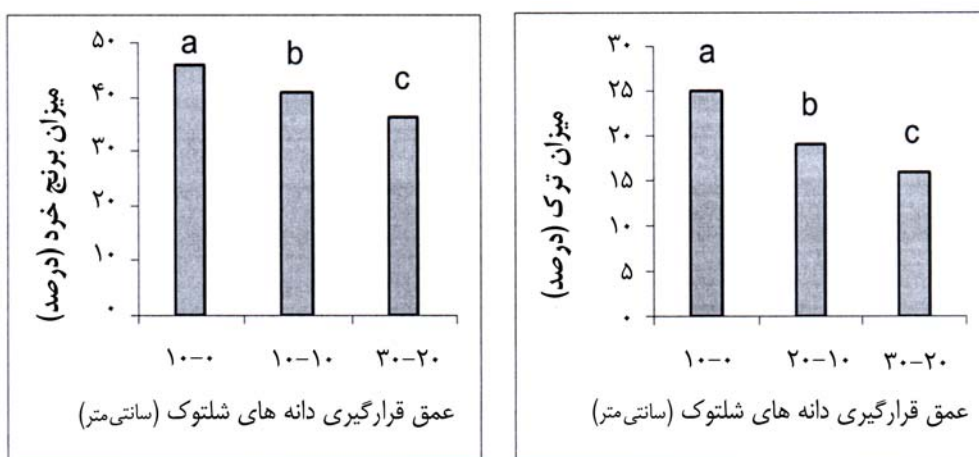
طبق نتایج جدول شماره ۱، اثر رطوبت نهایی شلتوک بر میزان درصد ترک و برنج خرد ایجاد شده معنی‌دار است. نتایج آزمون دانکن نشان می‌دهد که کاهش رطوبت نهایی شلتوک تا ۱۰ درصد باعث افزایش معنی‌دار میزان ترک و برنج خرد می‌شود.



شکل شماره ۴- نمودار اثر رطوبت نهایی شلتوک بر میزان درصد ترک و برنج خرد ایجاد شده

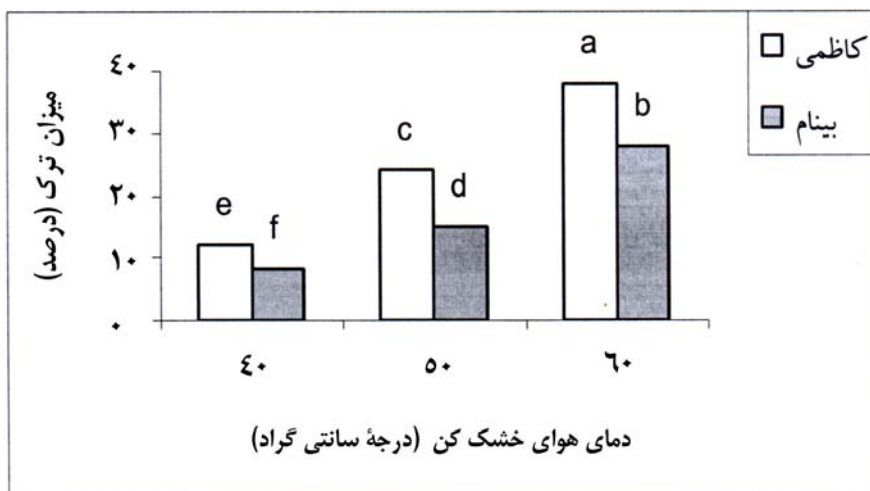
حدود ۳۵ درصد است که به طور متوسط ۱۰ درصد کاهش یافته است. همچنین میزان ترک دانه در ضخامت لایه ۰-۱۰ سانتی متر ۲۵ درصد و در لایه ۲۰-۳۰ سانتی متر در حدود ۱۶ درصد است (که در حدود ۹ درصد کاهش نشان می‌دهد). شکل شماره ۵، درصد برنج خرد و ترک ایجاد شده را به طور میانگین برای دو رقم بینام و کاظمی در سطوح مختلف عمق قرارگیری شلتوک نشان می‌دهد.

همان‌گونه که قبلاً ذکر شد، ضخامت لایه شلتوک درون محفظه خشک‌کن، تأثیری معنی‌دار بر درصد ترک و برنج خرد ایجاد شده دارد (جدول شماره ۱). هر چه فاصله دانه‌های شلتوک از کف مخزن خشک‌کن (محل ورود هوای گرم) بیشتر شود، درصد ترک و برنج خرد ایجاد شده کاهش می‌یابد. میانگین میزان برنج خرد در لایه ۰-۱۰ سانتی متر ۴۵ درصد و در لایه ۲۰-۳۰ سانتی متر در

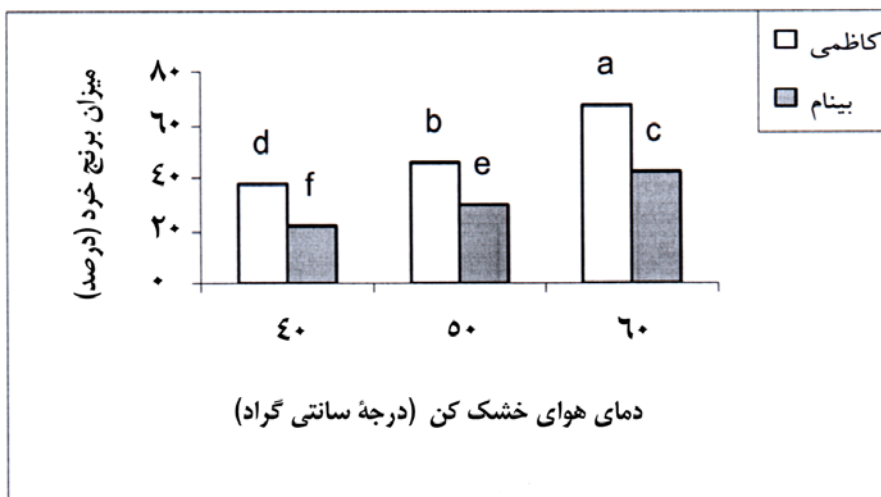


شکل شماره ۵- نمودار اثر ضخامت لایه شلتوک درون محفظه خشک‌کن بر درصد ترک و برنج خرد

بررسی اثر متقابل رقم و دما نشان می‌دهد که برای هر سه سطح دمای مورد آزمایش، میزان ترک ایجاد شده در رقم کاظمی بیشتر از بینام است. از طرفی، افزایش دمای هوای خشک‌کن برای هر دو رقم باعث افزایش معنی دار در میزان درصد ترک می‌شود (شکل شماره ۶). نتیجه بررسی این اثر متقابل بر میزان برنج خرد ایجاد شده پس از تبدیل نیز مانند اثر آن بر میزان درصد ترک است (شکل شماره ۷).
 اثر متقابل رقم و رطوبت بر میزان ترک ایجاد شده معنی دار است (جدول شماره ۱). در رطوبت ۱۴ درصد، از نظر میزان ترک ایجاد شده در دو رقم اختلافی معنی دار وجود ندارد. ولی در دو سطح رطوبتی دیگر (۱۲ درصد و ۱۰ درصد)، اختلافی معنی دار مشاهده شد (شکل شماره ۸). علت این موضوع را باید در خواص فیزیکی و حساسیت ارقام به تنش‌های رطوبتی جستجو کرد. در این آزمایش‌ها مشخص شد که رقم کاظمی در مقایسه با رقم بینام در ایجاد ترک حساسیت بیشتری دارد.



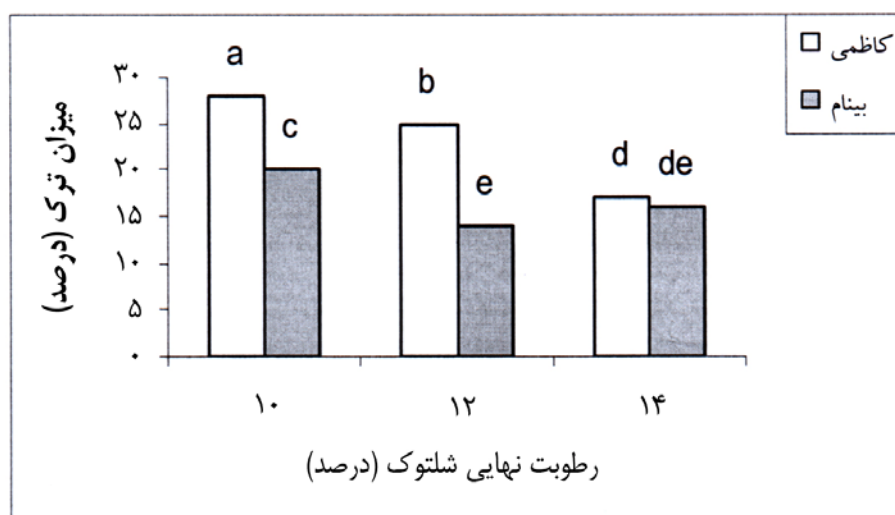
شکل شماره ۶- نمودار اثر متقابل رقم و دما بر میزان ترک ایجاد شده پس از خشک کردن



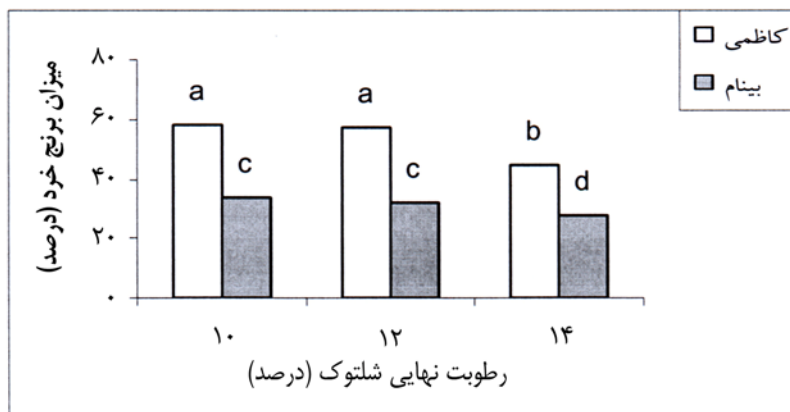
شکل شماره ۷- نمودار اثر متقابل رقم و دما بر میزان برنج خرد ایجاد شده پس از تبدیل

نتیجه بررسی حاکی از معنی دار بودن اثر متقابل رقم و رطوبت بر میزان خرده برنج ایجاد شده است (جدول شماره ۱). در تمام سطوح رطوبتی، میزان برنج خرد ایجاد شده برای رقم کاظمی بیشتر از رقم بینام است که با نتایج مربوط به درصد ترک مطابقت دارد (شکل شماره ۹). در هر دو رقم، از نظر میزان برنج خرد ایجاد شده در سطوح رطوبتی ۱۲ درصد و ۱۰ درصد، اختلافی معنی دار وجود ندارد. ولی بین این دو سطح و سطح رطوبتی ۱۴ درصد، اختلافی معنی دار مشاهده می شود (شکل شماره ۹). کاهش درصد ترک در رطوبت بالاتر از ۱۰ درصد عامل اصلی کاهش درصد برنج خرد در مرحله تبدیل است. برای کاهش درصد رطوبت به میزان ۱۰ درصد، تنش های حرارتی بیشتری بر دانه شلتوک وارد می شود و در نتیجه میزان برنج خرد در مرحله تبدیل (پوست کنی و سفید کردن) افزایش می یابد.

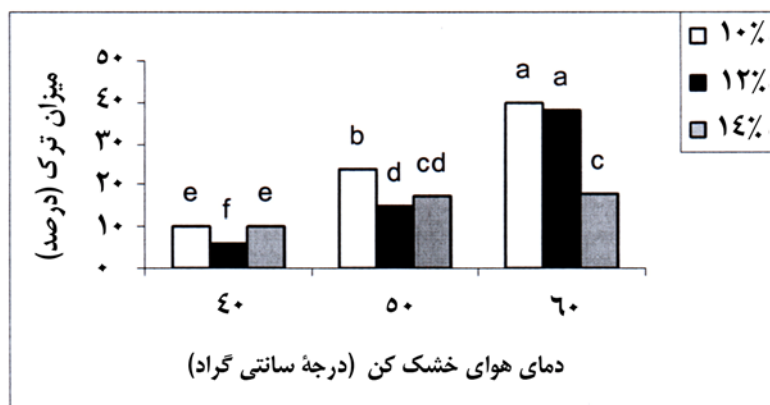
بررسی اثر متقابل دما و رطوبت نشان می دهد که در رطوبت ۱۴ درصد، از نظر ترک ایجاد شده در دو سطح دمای ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی گراد اختلافی معنی دار وجود ندارد. ولی در همین سطح رطوبتی، بین ترک ایجاد شده در دو دمای ذکر شده و دمای ۴۰ درجه سانتی گراد اختلافی معنی دار وجود دارد و کاهش معنی داری است (شکل شماره ۱۰). طبق نتایج مندرج در شکل شماره ۹، در دو سطح رطوبتی ۱۰ درصد و ۱۲ درصد، با افزایش دمای هوای خشک کن، درصد ترک ایجاد شده افزایش می یابد، برای رطوبت ۱۰ درصد افزایش ترک بیشتر است. اثر متقابل دما و رطوبت بر میزان خرده برنج ایجاد شده، مانند اثر آن بر درصد ترک ایجاد شده است (شکل شماره ۱۱).



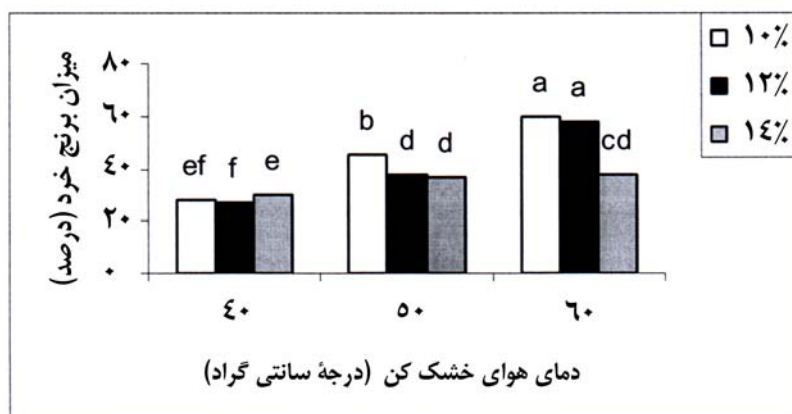
شکل شماره ۸- نمودار اثر متقابل رقم و رطوبت بر میزان ترک ایجاد شده پس از خشک کردن



شکل شماره ۹- نمودار اثر متقابل رقم و رطوبت بر میزان برنج خرد ایجاد شده پس از تبدیل

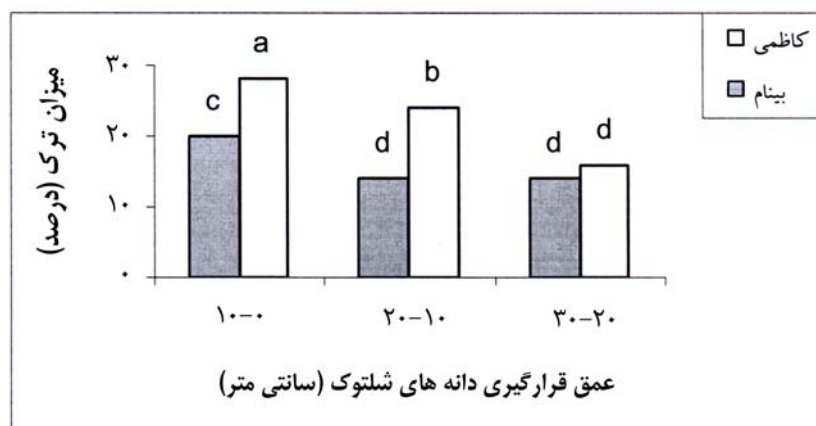


شکل شماره ۱۰- نمودار اثر متقابل دما و رطوبت بر میزان ترک ایجاد شده پس از خشک کردن

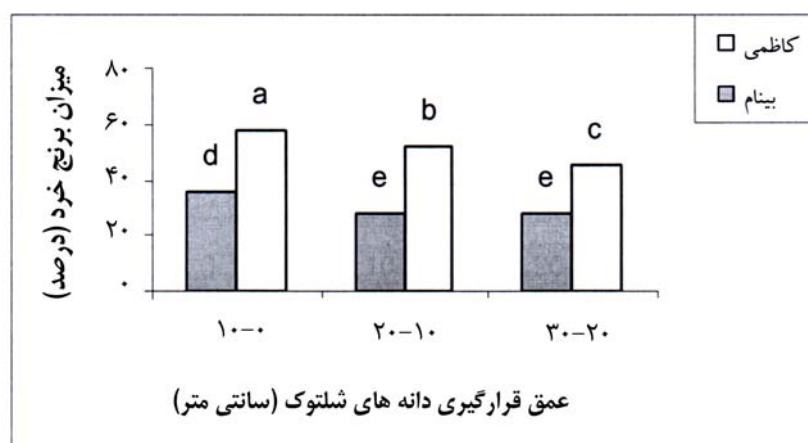


شکل شماره ۱۱- نمودار اثر متقابل دما و رطوبت بر میزان برنج خرد ایجاد شده پس از تبدیل

اثر متقابل رقم و ضخامت لایه شلتوک در (شکل شماره ۱۲).
 بررسی اثر متقابل فوق بر میزان خرده برنج
 ایجاد شده (شکل شماره ۱۳) نشان می‌دهد که در
 سه ضخامت لایه شلتوک، درصد خرده برنج ایجاد
 شده رقم کاظمی به طور معنی‌دار بیشتر از رقم بینام
 است. ولی در رقم بینام، ضخامت لایه‌های ۲۰-۳۰ و
 ۱۰-۲۰ سانتی متری از نظر خرده برنج ایجاد شده
 اختلافی معنی‌دار با یکدیگر ندارند.



شکل شماره ۱۲- نمودار اثر متقابل رقم و عمق بر میزان ترک
 ایجاد شده پس از خشک کردن



شکل شماره ۱۳- نمودار اثر متقابل رقم و عمق بر میزان
 برنج خرد ایجاد شده پس از تبدیل

نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که هرچه فاصله قرارگیری دانه‌های شلتوک از کف مخزن بیشتر شود، درصد ترک و خردشدگی به طور معنی‌دار کمتر می‌شود. دلیل آن، تنش حرارتی بیشتر در دانه‌های شلتوک نزدیک به کف خشک‌کن به علت تماس با هوای گرم است. از سوی دیگر، مدت زمانی که طول می‌کشد تا لایه‌های بالایی رطوبت خود را از دست بدهند، بیشتر از زمانی است که دانه‌های شلتوک واقع شده در لایه‌های پایینی محفظه خشک‌کن رطوبت خود را از دست می‌دهند و این تفاوت زمانی، موجب کاهش بیشتر رطوبت دانه‌های شلتوک لایه‌های پایینی و در نتیجه ایجاد ترک بیشتر می‌شود. نتایج بررسی‌های هاشمی سلیمانی (۱۳۷۴) نشان می‌دهد که ضخامت لایه شلتوک در معرض هوای گرم، بر ضایعات برنج تأثیر گذار است. بررسی‌های رفیعی (۱۳۷۶) نیز نشان می‌دهد که میزان ضایعات در لایه‌های زیرین توده شلتوک داخل مخزن خشک‌کن، به طور معنی‌دار بیشتر از لایه‌های بالایی است.

۶- نتیجه‌گیری:

از یافته‌های این تحقیق می‌توان توصیه‌ها و پیشنهادهایی به شرح زیر ارائه داد:

- ۱- تبدیل ارقام حساس به شکست، از لحاظ دمای هوای خشک‌کن، رطوبت نهایی شلتوک و ضخامت لایه شلتوک در خشک‌کن باید با کنترل و دقت بیشتری صورت گیرد.
- ۲- رطوبت نهایی شلتوک در هنگام تبدیل در کارخانه‌های برنجکوبی با دقت سنجیده شود تا عملیات تبدیل با حداقل ضایعات همراه باشد.

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که رقم کاظمی در مقایسه با رقم بینام، نسبت به عوامل مؤثر در ایجاد ضایعات حساسیت بیشتری دارد. رقم بینام از ارقام دانه کوتاه و رقم کاظمی از ارقام دانه بلند است. تحقیقات نشان می‌دهد که ارقام دانه بلند نسبت به ارقام دانه کوتاه حساسیت بیشتری به عوامل ایجاد ترک و خرد شدن دارند و درصد خرد شدن آنها در شرایط یکسان بیشتر است. [۱۶]

نتایج نشان می‌دهد که دمای هوای خشک‌کن تأثیر بسزایی بر میزان درصد ترک و خرده برنج ایجاد شده دارد. افزایش دمای هوای خشک‌کن تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد، موجب افزایش معنی‌دار در ترک و میزان برنج خرد می‌شود. علت این امر دفع سریع رطوبت شلتوک در دماهای بالاست که باعث ایجاد تنش ناگهانی کششی در سطح و تنش فشاری در مرکز دانه می‌شود [۱۵]. نتایج تحقیقات سلیمانی (۱۳۷۷) نیز نشان می‌دهد که افزایش دمای هوای خشک‌کن از ۳۰ به ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد، باعث کاهش کیفیت تبدیل و افزایش میزان خرده برنج می‌شود. نتایج تحقیقات جوما و یاماشیتا (Juma and Yamashita, 1987) نیز نشان می‌دهد که با افزایش دمای هوای خشک‌کن، درصد ترک ایجاد شده افزایش می‌یابد.

کاهش رطوبت نهایی شلتوک تا ۱۰ درصد، باعث افزایش در میزان ترک و خردشدگی برنج می‌شود. تحقیقات سلیمانی (۱۳۷۷) نشان می‌دهد که خرده برنج ایجاد شده در رطوبت نهایی ۱۰/۵ درصد به طور معنی‌دار بیشتر از زمانی است که رطوبت نهایی ۱۴ درصد باشد.

- محدوده رطوبتی ۱۲-۱۴ درصد را می توان برای خشک کن را کاهش داد تا تنش های ایجاد شده در اثر کاهش ناگهانی رطوبت باعث افزایش ترک در دانه برنج نشود. با توجه به نتایج این تحقیق، دمای ۴۰ درجه سانتی گراد توصیه می شود.
- ۳- با توجه به تأثیر ضخامت لایه شلتوک در محفظه خشک کن بر میزان ضایعات، توصیه می شود که ضخامت لایه شلتوک درون خشک کن های سنتی کمتر از ۲۰ سانتی متر در نظر گرفته شود.
- ۴- برای کاهش ضایعات تبدیل، باید دمای هوای خشک کن را کاهش داد تا تنش های ایجاد شده در اثر کاهش ناگهانی رطوبت باعث افزایش ترک در دانه برنج نشود. با توجه به نتایج این تحقیق، دمای ۴۰ درجه سانتی گراد توصیه می شود.
- ۵- به منظور کاهش زمان خشک کردن و جلوگیری از کاهش کیفیت برنج تبدیل شده، اثر پارامترهای تحقیق در انواع خشک کن های دیگر نیز مورد بررسی قرار گیرد.

۷- مراجع:

- ۱- ارقامی، ن. و بزرگ نیا، ا. (مترجم). ۱۳۷۰. آمار چند متغیره کاربردی. چاپ اول. آستان قدس رضوی، ۴۲۰ ص.
- ۲- پیمان، م. ۱۳۷۹. بررسی عوامل شکستگی دانه در فرآیند پوست کنی شلتوک. رساله دوره دکتری مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی. دانشکده کشاورزی. دانشگاه تربیت مدرس.
- ۳- خوشحال، م. و مینایی، س. بهینه سازی مصرف انرژی در فرآیند خشکاندن شلتوک با استفاده از خشک کن عمودی لایه نازک. مجموعه مقالات چهارمین همایش ملی انرژی، ۱۳۸۲. ۷۷۳-۷۸۳.
- ۴- رفیعی، ش. ۱۳۷۶. بررسی روش متداول خشک کردن شلتوک. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی. دانشکده کشاورزی. دانشگاه تهران.
- ۵- سلیمانی، م. ۱۳۷۷. تأثیر پارامترهای خشک کن بر خصوصیات کیفی در شکنندگی برنج. پایان نامه کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی. دانشکده کشاورزی. دانشگاه تربیت مدرس.
- ۶- عارفی، ح. باباپور، ج. اشراقی، ا. و فقیه نصیری، ز. ۱۳۷۳. بررسی و تعیین بهترین درصد رطوبت شلتوک هنگام تبدیل به برنج سفید و تعیین راندمان تبدیل ارقام آمل ۳ و هراز. گزارش پژوهشی مؤسسه تحقیقات برنج شمال. مازندران.
- ۷- کیانمهر، م. ۱۳۸۰. بررسی عوامل مؤثر فیزیکی در ترک خوردگی شلتوک در خشک کن با جریان معکوس شونده هوا. رساله دوره دکتری مکانیک ماشینهای کشاورزی. دانشکده کشاورزی. دانشگاه تربیت مدرس.

۸- هاشمی سلیمانی، س. ۱۳۷۴. طرح بهینه سازی خشک کن ثابت بستر افقی با بررسی ضایعات. پایان نامه

کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی. دانشکده کشاورزی. دانشگاه تربیت مدرس.

- 9- Courtois, F., Abud, M. and Bonazzi, C. 2001. Modeling and control of a mixed- flow rice dryer with emphasis on breakage quality. *J. of Food Eng.* 49: 303-309.
- 10- Juliano, B. O., 1985. Rice, Chemistry and technology. American Association of Cereal Chemists.
- 12- Juma Omar, S. and Yamashita, R. 1978. Rice drying, husking and milling. Part1, Drying. *Agricultural mechanization in asia, africa and latin america*, 18(2): 43-46.
- 13- Kunze, O. R. and Chudhury, M. 1972. Moisture adsorption related to the tensile strenght of rice. In: *Rice, production and utilization*. Ed. Bor S. Luh. AVI Publishing Co. INC. 49, 684-696.
- 14- Mondoza, E. E. and Rigor, A. C. 1983. Quality deterioration in on from level of operation, Naphir project. *Research reports of food terminal*. Manila.
- 15- Teter, N. 1987. Paddy drying manual. *FAO of the United Nations*.
- 16- Wiset, L., Srzednicki, G. and Driscoll, R. 2001. Effects of high temperature drying on rice quality. *Agricultural engineering international: the CIGR J. of Sci. Res. and Development*. Manuscript. FP01003.

Investigation of the Effects of Drying Parameters on Rice Cracking and Breakage During Milling

S. Minaei, Gh. R. Rouhi and M. R. Alizadeh

Paddy, is one of the principal grains and before storage, and at the beginning of the milling process needs to be dried. A major part of grain losses occurs during drying. In order to examine the different factors affecting rice losses due to the drying process, this research was conducted. The experimental design used in this project was a split-split plot design with four factors of rice variety (*Beenam* and *Kazemi*), drying air temperature (40, 50 and 60 °C), final paddy moisture content (10, 12 and 14% w.b.), and depth of grain in the drying bin (0-10, 10-20 and 20-30 cm) at three replications. Effects of these factors on percentage of cracked (after drying) and broken rice kernels (after milling) were investigated. Results of the experiments showed that *Kazemi* variety was more sensitive to cracking than *Beenam* variety. Paddy moisture content of 14% was found to be appropriate for milling of both varieties. Statistical analysis of the data indicated that drying-air temperature of 40 °C was suitable for drying of paddy. In this way, the cracked and broken grains were reduced after milling. Amount of cracking as well as rice breakage (after milling) increased with increasing depth of paddy in the dryer bin.

Key words: Breaking Percentage, Cracking Percentage, Drying Air Temperature, Final Paddy Moisture Content, Rice