تعیین قابلیت شکست دانه های برنج تحت بارگذاری ضربه ای (۶۰۲)

مجید دایی جواد[۱] ، علی اسحاق بیگی[۲] ، امیر حسین افکاری سیاح[۳]

چکیده

برنج یکی از قدیمی ترین غلات است و بعد از گندم، غذای اصلی اکثر مردم کشور ما را تشکیل می دهد. بر اساس اطلاعات منتشر شده از سوی سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO)، سطح زیر کشت شلتوک برنج در ایران برابر با ۶۲۰۰۰۰ هکتار و میزان عملکرد آن ۳/۶ میلیون تن در سال می باشد. یکی از مهم ترین مشکلات تجربه شده در برداشت مکانیزه و عملیات پس از برداشت این محصول، آسیب های مکانیکی وارده به دانه است. در میان مراحل فرآوری برنج، فرآیند خشک کردن نقش عمده ای در ایجاد ضایعات دارد. بنابراین برای کسب اطلاع از تأثیر روش خشک کردن بر تلفات مکانیکی، ارزیابی قابلیت شکست برنج می تواند مفید باشد. طی این پژوهش، اثر رقم (سه رقم به نام های هاشمی، دیلمان و علی کاظمی)، دمای خشک کردن (در سه سطح ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجهٔ سانتیگراد)، روش خشک کردن (استفاده از خشک کن و نیز روش طبیعی) و میزان انرژی به ای (در سه سطح ۱۰، ۲۳ و۳۷ میلی ژول) در ۱۰ تکرار، بر مقاومت مکانیکی دانهٔ برنج بررسی شد. به منظور کمی کردن میزان آسیب وارده به دانه، از معیاری به نام شاخص ترک تنشی (SCI) استفاده شد. نتایج آنالیز واریانس نشان داد که در دانه های خشک شده توسط خشک کن، رقم و میزان انرژی ربه ای تأثیر معنی داری در سطح یک درصد بر قابلیت شکست دانهٔ برنج داشته است. از این نظر، تفاوت معنی داری بین دماهای مختلف خشک کردن مشاهده نشد. همچنین اثر متقابل معنی داری بین رقم و دمای خشک کردن، رقم و میزان انرژی اعمالی و نیز دمای خشک کردن و میزان انرژی اعمالی از نظر قابلیت شکست دانهٔ برنج به دست نیمد. در دانه های خشک شده به روش طبیعی، میزان انرژی اعمالی تأثیر معنی داری بر میزان شکست دانه داشت ولی تفاوت معنی داری بین ارقام مختلف مشاهده نشد. ضمناً، اثر متقابل معنی داری بین رقم و میزان انرژی اعمالی طی آزمون ضربه بدست آمد.

کلیدواژه: برنج، خشک کردن، ضربه، قابلیت شکست، شاخص ترک تنشی

[۱]– دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، پست الکترونیک: majidedaeijavad@yahoo.com
[۲]– استادیار دانشگاه شهرکرد
[۳]– استادیار دانشگاه محقق اردبیلی

مقدمه

برنج یکی از قدیمی ترین محصولات زراعی است و غذای اصلی حدود دو سوم مردم جهان را تشکیل می دهد [۱۰]. یکی از مهم ترین مشکلات در فرآوری برنج، ترک خوردگی دانه می باشد. فرآوری دانهٔ برنج دارای مراحل مختلفی شامل تمیز کردن، خشک کردن، پوست کنی، سفید کردن و درجه بندی است [۱۲]. در این میان، فرآیند خشک کردن یکی از مراحل فرآوری است که نقش عمده ای در ایجاد ضایعات دارد به طوری که در برخی موارد، خشک کردن غیر صحیح می تواند یکی از مهم ترین دلایل ایجاد ترک در دانهٔ برنج باشد [۵]. دانه های ترک خورده ممکن است در فرآیند تبدیل[1] دچار شکستگی شوند. پارامترهای زیادی بر کیفیت دانهٔ برنج طی مرحلهٔ خشک کردن تأثیر گذارند که دما و رطوبت مهم ترین آن ها می باشند. از طریق تعیین خواص مکانیکی دانهٔ برنج پس از فرآیند خشک کردن، می توان قابلیت شکست دانهٔ برنج تحت دماهای مختلف خشک کردن را شناسایی کرد [۱۵]. اجایا و کلارک[2] (۱۹۹۷) گزارش کردند که میزان آسیب وارده به دانهٔ برنج طی عملیات فرآوری، بستگی به خواص فیزیکی و مکانیکی دانه ها دارد [۱۰]. یکی از روش های پی بردن به خواص مقاومتی مواد ترد، استفاده از آزمون ضربه می باشد. به کار گیری این روش به ویژه در مواد بیولوژیک که از هندسهٔ نامنظم و ماهیتی غیر همگن برخوردارند، توجیه پذیر است. از آنجایی که مواد بیولوژیک ماهیتی ویسکوالاستیک دارند، لذا پیش بینی عکس العمل این مواد نسبت به بار اعمال شده به سهولت امکان پذیر نیست. به منظور انجام آزمون ضربه در مواد مهندسی، روش های استانداردی[3] نظیر آزمون آیزود و شارپی[4] وجود دارد، اما در حال حاضر روش استانداردی برای بارگذاری ضربه ای در مواد کشاورزی وجود ندارد [۸].

در این ارتباط، بهروزی لار و همکاران سه رقم نخود را در سه سطح رطوبتی ۷، ۱۲ و ۱۸ درصد (بر پایهٔ تر) تحت آزمون ضربه قرار دادند تا تأثیر سرعت ضربه، میزان رطوبت و اندازهٔ نیام[5] دانه های نخود را بر درصد دانه های آسیب دیده در مرحلهٔ کوبیدن نخود نشان دهند. آن ها گزارش کردند که سرعت ضربه تأثیر معنی داری بر درصد دانه های شکسته شده دارد، به صورتی که میزان دانه های آسیب دیده، رابطه ای نمایی با سرعت ضربه دارد [۶]. همچنین، آلن و واتز[6] (۱۹۹۷) یک نوع لوبیای چشم بلبلی را تحت آزمون ضربه با سرعت پایین قرار دادند. نتایج نشان داد که با افزایش رطوبت در سرعت ثابت، میانگین تغییر شکل در نقطهٔ شکست افزایش و میانگین نیروی لازم برای شکست، میانگین انرژی جذب شده طی شکست و ضریب کشسانی دینامیکی کاهش می یابد [۳]. بیلانسکی[7] (۱۹۶۶)، برای اعمال ضربه با سرعت پایین از یک دستگاه آونگی استفاده کرد که در آن یک دانه بوسیلهٔ چسب بر روی سندان قرار می گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که به طور کلی اندازهٔ دانه، میزان رطوبت و جهت دانه هنگام بارگذاری، بر مقاومت غلات نسبت به آسیب دیدگی تأثیر گذارند. ضمناً زمانی که غلات تحت ضربه قرار می گیرند، با افزایش میزان رطوبت، انرژی مورد نیاز برای شکستن دانه ها افزایش می یابد [۷]. افکاری سیاح و مینایی (۱۳۸۵) به منظور انجام آزمایشات بارگذاری ضربه ای بر روی محصولات کشاورزی، یک دستگاه تست ضربهٔ آونگی طراحی کردند. به این منظور، دانه های پنج رقم مختلف گندم در دو سطح رطوبتی تحت آزمون ضربه قرار گرفتند. با استفاده از داده های بدست آمده، کمینه انرژی سینتیک لازم برای گسیختگی در دانه های خشک (با رطوبت ۶٫۵ درصد بر پایهٔ تر) و مرطوب (با رطوبت ۱۵ درصد بر پایهٔ تر) به ترتیب معادل ۳۳ و ۷۲ میلی ژول تعیین گردید [۱].

علی رغم وجود مطالعات مشابه در مورد دانه های غذایی، تحقیقات محدودی در زمینهٔ بررسی آسیب های مکانیکی ناشی از بارگذاری ضربه ای بر روی دانهٔ برنج انجام گرفته است. بنابراین هدف از این تحقیق عبارت است از بررسی اثر رقم، دمای خشک کردن، انرژی ضربه ای و روش خشک کردن بر استحکام دانهٔ برنج از لحاظ مقاومت به ضربه.

---

[1] . Milling
[2] . Ojayi & Clark
[3] . ASTM Standard E23, "Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials."
[4] . Izod and Charpy Tests
[5] . Pod
[6] . Allen & Watts
[7] . Bilanski

مواد و روش ها

نمونه هایی از سه رقم متداول برنج در شمال ایران شامل ارقام هاشمی، دیلمان و علی کاظمی به صورت شلتوک و در شرایط یکسان تهیه شد. به منظور تعیین محتوای رطوبتی نمونه ها، حدود ۵۰ گرم از هر رقم به مدت ۲۴ ساعت در داخل اجاق آزمایشگاهی با دمای ۱۰۳ درجهٔ سانتیگراد قرار داده شد و رطوبت اولیهٔ نمونه ها به روش وزنی بر اساس استاندارد ASAE تعیین شد [۴]. میانگین محتوای رطوبتی ارقام هاشمی، دیلمان و علی کاظمی به ترتیب ابر با ۱۴/۸، ۱۵/۳ و ۱۵/۵ درصد بر پایهٔ تر بود. به منظور ثابت نگه داشتن رطوبت و ممانعت از آسیب دیدن محصول تا پیش از شروع آزمایشات، نمونه ها در داخل کیسه های پلاستیکی و در دمای ۴ درجهٔ سانتیگراد نگهداری شدند. در راستای اهداف این تحقیق، خشک کردن نمونه ها به دو روش مصنوعی و طبیعی صورت گرفت. در روش مصنوعی از یک واحد خشک کن وعده ای بستر عمیق[1] موجود در دانشگاه تربیت مدرس استفاده شد [۱۴]. این سیستم شامل یک واحد گرمادهی الکتریکی، یک لولهٔ منتقل کنندهٔ هوای گرم، یک محفظهٔ هوا، سیستم توزیع هوا و یک سیستم جمع آوری داده[2] بود. مادامبا و همکاران[3] (۲۰۰۵) مناسب ترین دمای خشک کردن برنج را ۴۵ درجهٔ سانتیگراد معرفی کردند، بنابراین سطوح عامل دما در عملیات خشک کردن ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه در نظر گرفته شد. نمونه ها به مدت زمان های مناسب در داخل خشک کن آزمایشگاهی قرار گرفتند تا رطوبت هر تیمار، ۴ درصد کاهش یابد.

در روش طبیعی، در حالی که رطوبت نسبی محیط[4]، ۳۶ درصد و دمای هوا حدود ۲۵ درجهٔ سانتیگراد بود، نمونه ها در داخل سینی های بزرگی در معرض هوای آزاد قرار داده شدند. پس از گذشت مدت زمان هایی متناسب با رطوبت اولیهٔ نمونه ها، رطوبت به سطح رطوبت نمونه های خشک شده توسط خشک کن آزمایشگاهی رسید.

خواص فیزیکی

خصوصیات فیزیکی شامل وزن، ابعاد، حجم، چگالی توده و ضریب کرویت برای هر سه رقم پس از فرآیند خشک کردن تعیین شد. برای محاسبهٔ ضریب کرویت، دانهٔ برنج به صورت یک بیضی گون فرض شده و ضریب کرویت مطابق معادلهٔ (۱) بدست آمد [۱۳]:

$$d = \frac{(abc)^{\frac{1}{3}}}{a} \qquad (۱)$$

که در این فرمول a، b و c، به ترتیب معادل نصف اقطار بزرگ، میانه و کوچک دانه می باشند. حجم تودهٔ دانه نیز به روش جابجایی سیال برای توده های ۳۰ دانه ای از هر تیمار اندازه گیری شد و بر اساس آن، چگالی توده محاسبه گردید. برای بررسی قابلیت شکست دانهٔ برنج، یک دستگاه آزمون ضربهٔ آونگی طراحی و ساخته شد. قسمت های اصلی تشکیل دهندهٔ این دستگاه عبارت بودند از یک شاسی سنگین بدون ارتعاش، یک پاندول چوبی- فلزی و تکیه گاهی برای قرار گیری دانه. جهت اندازه گیری زاویهٔ رها سازی آونگ (زاویهٔ تصادم) و نیز زاویهٔ جهش (بازگشت)[5] آن، از یک پتانسیومتر (۱۰ دور/۲۰ اهم) و یک مدار الکترونیکی استفاده شد. در هر آزمون، یک دانهٔ برنج پس از پوست کنی به صورت دستی، به کمک یک قطره چسب مایع بر روی یک استوانهٔ فولادی (سندان) نگه داشته شد. چسب مذکور به صورت یک لایهٔ بسیار نازک استفاده گردید تا مانند یک مادهٔ ضربه گیر عمل نکند. جهت تعیین سطح انرژی مناسب برای آزمون ضربه، تعدادی آزمایش اولیه بر روی دانه های برنج انجام شد. مطالعات اولیه نشان داد که با افزایش دمای خشک کردن، درصد دانه های شکسته افزایش می یابد [۱۱]. نتایج بدست آمده از آزمایش های اولیه نیز نشان داد که دانه های خشک شده در دمای ۶۰ درجه نسبت به آسیب ناشی از ضربه حساس ترند. بنابراین یک سری آزمایش اولیه بر روی دانه های خشک شده توسط خشک کن از هر سه رقم و در ده تکرار انجام پذیرفت. نتایج حاصله به این صورت بود

---

[1] . Deep bed batch dryer
[2] . Data logger
[3] . Madamba, *et al.*
[4] . RH
[5] . Rebound angle

که مقاوم ترین رقم در دمای خشک کردن ۳۰ درجهٔ سانتیگراد، در سطح انرژی ۱۰ mJ دارای کمترین درصد شکست (حدود ده درصد) بود و در سطح انرژی ۳۷ mJ حساس ترین رقم در دمای خشک کردن ۶۰ درجهٔ سانتیگراد دارای بیشترین درصد شکست (حدود ۹۰ درصد) بود. بنابراین در محدودهٔ شکست دانه های برنج، سه سطح انرژی ضربه ای ۱۰، ۲۳ و ۳۷ میلی ژول برای انجام آزمون ها انتخاب شد. در هر تیمار، اعمال ضربه در ۱۰ تکرار (مجموعاً شامل ۵۴۰ تست ضربه) صورت پذیرفت. در حین آزمایشات، دانه هایی که در اولین بارگذاری دچار گسیختگی نشدند، مجدداً تحت همان میزان انرژی ضربه ای قرار داده شدند. به منظور ایجاد شرایط یکنواخت در مورد این دانه ها حداکثر تعداد پنج ضربه (تکرار) برای هر دانه در نظر گرفته شد. برای انجام آزمایشات از آزمون فاکتوریل بر پایهٔ طرح کامل تصادفی استفاده شده و تجزیه و تحلیل داده ها به کمک نرم افزار SPSS صورت گرفت.

ملاک ارزیابی کیفی برای قابلیت شکست دانه

به منظور بررسی شدت آسیب وارده به دانه ها طی فرآیند خشک کردن، برخی محققین از عملکرد برنج سالم (HRY) و برخی دیگر از درصد دانه های ترک خورده استفاده کرده اند. اما باید توجه کرد که تعدادی از دانه های ترک خورده، به هنگام فرآیند کوبش شکسته نمی شوند و به عنوان برنج سالم باقی می مانند. از این رو عملکرد برنج سالم نمی تواند دقیق ترین معیار برای ارزیابی اثر فرآیند خشک کردن بر مقاومت دانهٔ برنج باشد [۹]. از طرفی، به دلیل اینکه درون یک دانهٔ برنج، ممکن است بیش از یک ترک به وجود آید، به نظر می رسد که درصد دانه های ترک خورده نیز بیانگر شدت صدمهٔ درون دانه نیست [۲]. بنابراین در این تحقیق، برای ارزیابی قابلیت شکست دانه های برنج، معیاری جدید تحت عنوان شاخص ترک تنشی[1] تعریف شد که مطابق با رابطهٔ ۲ بدست می آید.

$$SCI = \frac{N}{RE} \qquad (۲)$$

در این رابطه، SCI شاخص ترک خوردگی تنشی، N تعداد ترک های ایجاد شده در دانه پس از ضربه، R تعداد ضرباتی که منجر به تخریب دانه شده و E کل انرژی ضربه ای وارده به دانه (بر حسب میلی ژول) می باشد. به منظور تعیین این شاخص، پس از انجام هر تست، تک تک دانه ها ترک بینی شده و تعداد ترک های ایجاد شده در دانه ها به صورت چشمی مشخص گردید.

نتایج و بحث

نتایج اولیه و عینی حاصل از این تحقیق نشان داد که مکانیسم ایجاد ترک در تیمارهای مختلف یکسان است. به این ترتیب که اولین ترک به صورت عمود بر محور طولی دانه و شکاف های بعدی اغلب در امتداد محور طولی دانه مشاهده گردید. شکستن دانهٔ برنج در بارگذاری های بعدی، دلالت بر ترد بودن این دانه دارد. وقتی دانه های ترد در معرض بارهای تک ار شونده قرار گیرند، ترک های موجود در آن ها گسترش یافته و نهایتاً منجر به شکست آن ها می شود. بنابراین می توان نتیجه گرفت که هر چند میزان بار وارده به دانه های برنج کم باشد اما تکرار این بارها ممکن است به شکستگی دانه منجر گردد [۸].

اثر فرآیند خشک کردن بر خواص فیزیکی دانه ها

نتایج حاصل از تجزیهٔ واریانس خواص فیزیکی (جدول های ۱ و ۲) نشان داد که در دانه های خشک شده توسط خشک کن، دمای خشک کردن تأثیر معنی داری بر خواص مذکور ندارد. در حالی که از نظر حجم، چگالی توده و ضریب کرویت، بین سه رقم تفاوت معنی داری در سطح یک درصد مشاهده شد. متفاوت بودن خواص فیزیکی در ارقام مختلف بیانگر اختلاف در شکل ظاهری دانه بین ارقام مذکور می باشد. این موضوع در طراحی دستگاه هایی که به نحوی با شکل دانه سر و کار دارند، کاربرد دارد.

[1] . Stress Cracking Index (SCI)

جدول۱- نتایج تجزیهٔ واریانس خواص فیزیکی در نمونه های خشک شده توسط خشک کن

منبع تغییرات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات (MS)			
		جرم (g)	حجم (cm^3)	ضریب کرویت	چگالی توده (g/cm^3)
رقم	۲	۰/۰۰۰۲۲^{ns}	۰/۰۰۰۱۵**	۰/۰۲۰۷۶**	۰/۳۲۴۹۶**
دمای خشک کردن	۲	۰/۰۰۰۱۶^{ns}	۱/۸۲×۱۰$^{-۷ns}$	۰/۰۰۰۱۸^{ns}	۰/۰۱۷۳۶^{ns}
رقم × دمای خشک کردن	۴	۰/۰۰۰۱۴^{ns}	۱/۷۶×۱۰$^{-۶ ns}$	۰/۰۰۰۴۴^{ns}	۰/۶۳۲۱۶^{ns}
خطا	۲۶۱	۰/۰۰۰۱۶	۱/۵۰۸×۱۰$^{-۶}$	۰/۰۰۰۲۲	۰/۰۰۰۰۰

** در سطح ۰،۰۱ معنادار است.
^{ns} در سطح ۰،۰۵ معنادار نیست.

جدول۲- نتایج تجزیهٔ واریانس خواص فیزیکی در نمونه های خشک شده به روش طبیعی

منبع تغییرات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات (MS)			
		جرم (g)	حجم (cm^3)	ضریب کرویت	چگالی توده (g/cm^3)
رقم	۲	۵/۶۹×۱۰$^{-۵**}$	۳/۰۴×۱۰$^{-۵ **}$	۰/۰۰۷۸۲**	۰/۰۰۵۲۵^{ns}
خطا	۸۷	۳/۶۳۹×۱۰$^{-۶}$	۱/۶۳۹×۱۰$^{-۶}$	۰/۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۰۰

** در سطح ۰،۰۱ معنادار است.
^{ns} در سطح ۰،۰۵ معنادار نیست.

تأثیر فرآیند خشک کردن بر قابلیت شکست دانهٔ برنج

شاخص ترک تنشی به کار رفته در این تحقیق اگر چه نمی تواند میزان دقیق شدت صدمهٔ وارده به دانه را به صورت کمی بیان کند، ولی در شرایط یکسان، می تواند معیار خوبی برای مقایسهٔ تیمارهای مختلف از نظر قابلیت شکست دانه باشد. شاخص ترک بالا نشانگر قابلیت شکست بیشتری برای دانهٔ برنج می باشد. نتایج بدست آمده نشان داد که با افزایش دمای خشک کردن و میزان انرژی ضربه ای وارده به دانه طی آزمون ضربه، مقدار شاخص ترک تنشی و در نتیجه قابلیت شکست دانهٔ برنج افزایش یافته است. این موضوع اهمیت خشک کردن با دمای هر چه پایین تر و در نتیجه طولانی تر شدن زمان خشک کردن را در تولید برنج سالم نشان می دهد. نتایج بدست آمده از تحقیقات کیانمهر (۱۳۸۰) و کرمانی (۱۳۸۵) نیز این مطلب را تأیید می کند.

نتایج حاصل از تجزیهٔ واریانس متغیرها برای شاخص ترک تنشی در نمونه های خشک شده توسط خشک کن (جدول ۳) نشان داد که اثر رقم و میزان انرژی ضربه ای بر این شاخص در سطح یک درصد معنی دار است، ولی از این نظر، اختلاف معنی داری بین دماهای خشک کردن مشاهده نشد.

جدول۳- نتایج تجزیهٔ واریانس متغیرها برای شاخص ترک تنشی (SCI) در نمونه های خشک شده توسط خشک کن

منبع تغییرات	درجهٔ آزادی	مجموع مربعات (SS)	میانگین مربعات (MS)
رقم	۲	۰/۰۰۹۴۵	۰/۰۰۴۷۳**
دمای خشک کردن	۲	۳/۵۳×۱۰$^{-۶}$	۱/۷۷×۱۰$^{-۶}$ ^{ns}
انرژی سینتیکی	۲	۰/۰۲۷۱۰	۰/۰۱۳۵۵**
رقم × دمای خشک کردن	۴	۰/۰۰۲۰۴	۰/۰۰۰۵۱^{ns}
رقم × انرژی سینتیکی	۴	۰/۰۰۲۶۵	۰/۰۰۰۶۶^{ns}
دمای خشک کردن × انرژی سینتیکی	۴	۰/۰۰۰۷۷	۰/۰۰۰۱۹^{ns}
رقم × دمای خشک کردن × انرژی سینتیکی	۸	۰/۰۰۲۸۲	۰/۰۰۰۳۵^{ns}
خطا	۲۴۳	۰/۰۸۳۴۴	۰/۰۰۰۳۴

** در سطح ۰،۰۱ معنادار است.
^{ns} در سطح ۰،۰۵ معنادار نیست.

مقایسهٔ مقادیر میانگین شاخص ترک تنشی بین سطوح دمای خشک کردن (جدول ۴)، نشان داد که میزان آسیب وارده به دانه ها در دمای ۶۰ درجهٔ سانتیگراد بیشتر از دو دمای دیگر است و کمترین آسیب در دمای خشک کردن ۳۰ درجه مشاهده گردید. اما با این وجود، تفاوت معنی داری بین این سه دما از نظر شاخص ترک تنشی مشاهده نشد.

جدول٤- مقایسهٔ مقادیر میانگین شاخص ترک تنشی بین دماهای خشک کردن (آزمون دانکن)

دمای خشک کردن (°C)	شاخص ترک تنشی (SCI)
۳۰	۰/۰۱۵۱ a
۴۵	۰/۰۱۵۲ a
۶۰	۰/۰۱۵۴ a

حروف غیر مشابه نشان دهندهٔ اختلاف معنی‌دار (سطح احتمال ۵٪) در بین مقادیر میانگین می‌باشد.

دلیل این امر احتمالاً رابطهٔ معکوس دمای خشک کردن با مدت زمان خشک کردن می باشد. به این ترتیب که در این پژوهش، مدت زمان خشک کردن متغیر بوده است و از آنجایی که افزایش دمای خشک کردن همزمان با کاهش مدت زمان خشک کردن (یا بالعکس) صورت گرفته است، اثر دمای خشک کردن کمرنگ شده است. نتایج این تحقیق با مطالعات نوسن و ساینمورگن[1] (۲۰۰۰) تطابق دارد که در آن بیان شده است مشکل ترک خوردگی دانهٔ برنج زمانی بسیار جدی می شود که محصول در دماهای بالا (حدود ۶۰ درجه) خشک گردد. بررسی های اولیه در منابع نیز نشان می دهد که با افزایش دمای هوای خشک کردن، درصد دانه های ترک خورده افزایش یافته، کیفیت برنج پس از خشک کردن و در نتیجه شاخص HRY کاهش می یابد. بنابراین بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق، بهتر است که از دماهای پایین برای خشک کردن محصول برنج استفاده شود، زیرا افزایش دمای خشک کردن باعث ایجاد تنش های حرارتی در دانه شده و بنابراین مقاومت و انرژی شکست دانه ها کاهش و در نتیجه قابلیت شکست دانه ها افزایش می یابد.

در مورد دو فاکتور رقم و انرژی که در تجزیهٔ واریانس معنی دار تشخیص داده شدند، آزمون چند دامنه ای دانکن انجام پذیرفت که نتایج آن در جداول ۵ و ۶ آمده است.

[1] . Cnossen & Siebenmorgen

جدول۵- مقایسهٔ مقادیر میانگین شاخص ترک تنشی بین سه رقم (آزمون دانکن)

رقم	شاخص ترک تنشی (SCI)
هاشمی	۰/۰۱۲۲ b
دیلمان	۰/۰۲۳۵ a
علی کاظمی	۰/۰۱۰۱ b

حروف غیر مشابه نشان دهندهٔ اختلاف معنی‌دار (سطح احتمال ۵٪) در بین مقادیر میانگین می‌باشد.

جدول٦- مقایسهٔ مقادیر میانگین شاخص ترک تنشی بین سطوح انرژی سینتیکی (آزمون دانکن)

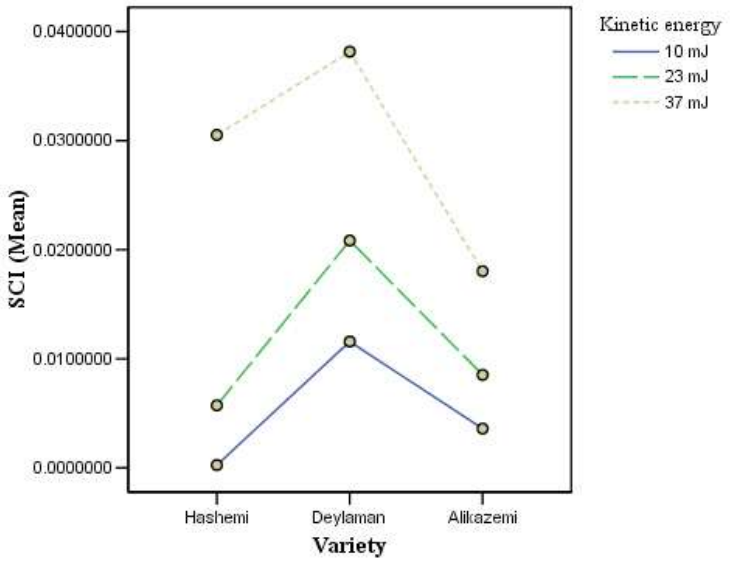
انرژی سینتیکی (mJ)	شاخص ترک تنشی (SCI)
۱۰	۰/۰۰۵۱ c
۲۳	۰/۰۱۱۷ b
۳۷	۰/۰۲۸۹ a

حروف غیر مشابه نشان دهندهٔ اختلاف معنی‌دار (سطح احتمال ۵٪) در بین مقادیر میانگین می‌باشد.

همانطور که مشاهده می شود، ارقام دیلمان و علی کاظمی به ترتیب بیشترین و کمترین مقادیر میانگین مربوط به شاخص ترک تنشی را به خود اختصاص می دهند و از این نظر، رقم هاشمی بین دو رقم دیگر قرار دارد. بنابراین طی بارگذاری ضربه ای، ارقام علی کاظمی و دیلمان به ترتیب مقاوم ترین و حساس ترین رقم نسبت به تنش های ناشی از فرآیند خشک کردن توسط خشک کن می باشند. به عبارت دیگر با افزایش دمای خشک کردن، دانه های برنج رقم دیلمان با صدمهٔ بیشتری مواجه می شوند. محصولات کشاورزی طی برداشت، حمل و نقل و فرآوری در اثر ضربه آسیب زیادی می بینند. بنابراین با استفاده از مقاوم ترین رقم می توان در مراحل مختلف، ضایعات ناشی از ضربه را کاهش داد.

در مورد انرژی ضربه ای، نتایج عینی در آزمایش های اولیه نشان داد که با افزایش زاویهٔ رها سازی آونگ و در نتیجه افزایش میزان انرژی ضربه ای اعمالی، شدت صدمهٔ وارده به دانه افزایش خواهد یافت. مطابق با جدول ۶، بیشترین و کمترین شاخص ترک تنشی به ترتیب مربوط به سطوح انرژی ۳۷ و ۱۰ میلی ژول بود. بنابراین واضح است که طی مراحل فرآوری برنج، هر چقدر انرژی ضربه ای کمتری به محصول وارد شود میزان آسیب مکانیکی وارده به دانه ها و درصد شکست کمتر خواهد بود.

شکل ۱ اثر متقابل رقم و انرژی ضربه ای را بر شاخص ترک تنشی نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود با انتخاب مقاوم ترین رقم و نیز به حداقل رساندن میزان انرژی سینتیکی وارده به محصول طی عملیات فرآوری، می توان میزان آسیب وارده به دانه های برنج را کاهش داد.



شکل۱- اثر متقابل رقم و انرژی ضربه ای بر شاخص ترک تنشی

نتایج تجزیهٔ واریانس داده ها برای نمونه های خشک شده به روش طبیعی، تفاوت معنـی داری را در سـطح یـک درصـد بـین سطوح مختلف انرژی سینتیکی از نظر شاخص ترک تنشی نشان داد. در حالی که اثر رقم برنج بر قابلیت شکست دانه معنی دار نبود (جدول۷). این نتایج اهمیت تأثیر فرآیند خشک کردن بر بافت دانه را از نظر قابلیت آسیب پذیری نشان می دهد.

جدول۷- نتایج تجزیهٔ واریانس متغیرها برای شاخص ترک تنشی (SCI) در نمونه های خشک شده به روش طبیعی

منبع تغییرات	درجهٔ آ ادی	مجموع مربعات (SS)	میانگین مربعات (MS)
رقم	۲	۰/۰۰۰۳۷	۰/۰۰۰۱۹^{ns}
انرژی	۲	۰/۰۰۱۲۸	۰/۰۰۰۶۴**
رقم × انرژی	۴	۰/۰۰۱۰۴	۰/۰۰۰۲۶*
خطا	۸۱	۰/۰۰۷۲۹	۸/۹۹×۱۰$^{-۵}$

* در سطح ۰،۰۵ معنادار است.
** در سطح ۰،۰۱ معنادار است.
^{ns} در سطح ۰،۰۵ معنادار نیست.

با استفاده از داده های بدست آمده، حد بحرانی انرژی ضربه ای برای تخریب دانه های برنج خـشک شـده بـه خـصوص رقـم دیلمان، حدود ۳۷ میلی ژول تعیین شد. البته در ارقام مقاوم تر مثل علی کاظمی و هاشمی، این سطح انرژی می تواند افزایش یابد. افکاری سیاح و مینایی (۱۳۸۵) آزمون ضربهٔ مشابهی را بر روی دانهٔ گندم انجام دند. بر اساس نتایج ایشان، کمینه انرژی سینتیک لازم برای گسیختگی در دانه های خشک (با رطوبت ۶/۵٪ بر پایهٔ تر) و مرطوب (با رطوبت ۱۵٪ بر پایهٔ تر)، به ترتیب معادل ۳۳ و ۷۲ میلی ژول تعیین گردید. همچنین لهٔ اسبی (۱۳۸۲) حد بحرانی انرژی ضربه ای منجر به شکست تحت بارگـذاری ضـربه ای را برای دانهٔ ذرت ۱۲۸ میلی ژول گزارش کرده است [۱].

مقایسهٔ دو روش خشک کردن :

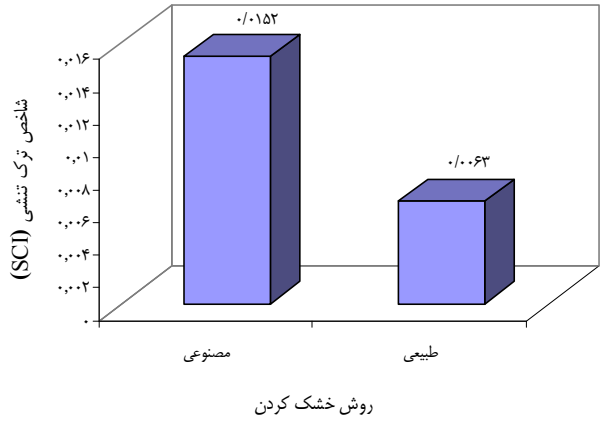
نتایج حاصل از تجزیهٔ واریانس برای دو روش خشک کردن نشان داد که روش خشک کردن اثر معنی داری در سطح ۵ درصد بر قابلیت شکست دانهٔ برنج دارد (جدول ۸).

جدول۸- نتایج تجزیهٔ واریانس شاخص ترک تنشی (SCI) برای دو روش خشک کردن

منبع تغییرات	درجهٔ آزادی	مجموع مربعات (SS)	میانگین مربعات (MS)
روش خشک کردن	۱	۰/۰۰۰۳۶	۰/۰۰۰۳۶*
خطا	۱۶	۰/۰۰۱۵۸	۹/۸۴×۱۰$^{-۵}$

* در سطح ۰,۰۵ معنادار است.

نمودار شکل ۲ مقادیر میانگین شاخص ترک تنشی را برای دو روش مذکور نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود وقتی شلتوک برنج به روش طبیعی خشک شده است، قابلیت شکست دانه ها به طور قابل ملاحظه ای (در حدود ۶۰ درصد) کاهش یافته است.



شکل۲- مقایسهٔ شاخص ترک تنشی بین دو روش خشک کردن

نتیجه گیری و پیشنهاد:

به طور خلاصه می توان نتایج تحقیق حاضر را به صورت زیر بیان نمود:

۱. بارگذاری ربه ای کنترل شده، روشی قابل اعتماد برای پی بردن به ویژگی های مقاومتی دانهٔ برنج از نظر قابلیت شکست می باشد.

۲. دستگاه تست ضربه ای که در این پژوهش ساخته شد، می تواند برای تعیین قابلیت شکست دانهٔ برنج مورد استفاده قرار گیرد.

۳. به منظور تعیین قابلیت شکست دانه های برنج، معیاری جدید تحت عنوان شاخص ترک تنشی تعریف شد. بر این اساس، در میان دانه های خشک شده توسط خشک کن، ارقام علی کاظمی و هاشمی مقاومت مکانیکی بالاتری نسبت به رقم دیلمان داشتند که احتمالاً بیانگر تفاوت در ترکیب ساختمانی بافت آندوسپرم دانهٔ برنج در ارقام مختلف است. همچنین از نظر این شاخص، تفاوت معنی داری بین دو روش خشک کردن مشاهده شد.

۴. نتایج تجزیهٔ واریانس نشان داد که میزان انرژی سینتیکی اعمالی به دانهٔ برنج، تأثیر معنی داری بر میزان شکست دانه دارد. در این ارتباط سطح انرژی ۳۷ میلی ژول به عنوان حداقل انرژی ضربه ای منجر به هر گونه شکست در دانهٔ برنج تعیین شد.

۵. بر اساس اختلاف مشاهده شده بین مقادیر شاخص ترک تنشی در دماهای مختلف خشک کردن، پیشنهاد می شود که با بهینه سازی پارامترهای موجود در واحدهای خشک کن، تا حد امکان از بروز تنش های رتی اضافی در دانه های شلتوک برنج جلوگیری شود تا کیفیت محصول پس از خشک کردن افزایش یابد.

۶. بر مبنای نتایج حاصل از بررسی مقادیر شاخص ترک تنشی در دو روش خشک کردن، خشک کردن به روش مصنوعی (استفاده از خشک کن ها)، میزان قابلیت شکست دانه های برنج را تا بیش از ۶۰ درصد افزایش می دهد.

منابع

۱- افکاری سیاح، ا. ح. و س. مینایی. ۱۳۸۵. طراحی و ساخت دستگاه بارگذاری ضربه ای برای مطالعهٔ رفتار مکانیکی محصولات کشاورزی و آزمایش آن با گندم. مجلهٔ علوم صنایع غذایی.

۲- کرمانی، ع. م. ۱۳۸۵. تعیین خواص گسیختگی و ویسکوالاستیک دانهٔ برنج در اثر دما و رطوبت. رسالهٔ دورهٔ دکتری. گروه مهندسی مکانیک ماشین های کشاورزی. دانشگاه تربیت مدرس.

3-Allen, A. W. and K. C. Watts. 1997. Properties of cowpeas. Journal of Agricultural Engineering Research, 68:159-167.

4-ASAE Standards (1999). D245.5. *Moisture relationship of plant based agricultural products* (46th ed.). St. Joseph, Mich.: ASAE.

5-Ban, T. 1971. Rice Cracking in high rate drying. Japanese Agricultural Research Quarterly, 6:113-116.

6-Behroozi-Lar, M. and B. K. Huang. 2002. Design and development of chick pea combine. AMA, 33(1):35-38.

7-Bilanski, W. K. 1966. Damage resistance of seed grains. TRANS. ASAE, 9(3):360-363.

8-Callister, W. D. 2000. Material Science And Engineering, An Introduction. 5th edn., John Wiley & Sons pub., pp.184-208.

9-Cnossen, A. G., M. J. Jimenez and T. J. Siebenmorgen. 2003. Rice fissuring response to high drying and tempering temperatures. Journal of Food Engineering, 59:61-69.

10-Correa, P. C., F. S. Silva, C. Jaren, P. C. Afonse Junior and I. Arana. 2007. Physical and mechanical properties in rice processing. Journal of Food Engineering, 79:137-142.
11-Madamba, P. S. and R. P. yabes. 2005. Determination of the optimum intermittent drying conditions for rough rice (Oryza sativa, L.). Lebensm.-Wiss. u.-Technol 38:157-165.
12-Shitanda, D., Y. Nishiyama and S. Koide. 2002. Compressive strength properties of rough rice considering variation of contact area. Journal of Food Engineering, 53:53-58.
13-Stroshine, R., D. Hamann. 1994. Physical Properties of Agricultural Materials and Food Products. 1st edn. West Lafayette, Indiana, USA.
14-Zare, D., S. Minaei, M. Mohamad Zadeh and M. H. Khoshtaghaza. 2006. Computer simulation of rough rice drying in a batch dryer. Energy Conversion and Management, 47:3241-3254.
15-Zhang, Q., W. Yang and Z. Sun. 2005. Mechanical properties of sound and fissured rice kernels and their implications for rice breakage. Journal of Food Engineering, 68:65-72.