مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی/جلد ۱۶/ شماره ۳/سال ۱۳۹۴/ص ۱۰۶-۹۳

بررسی تأثیر رقم و نوع محصول (اصلی و رتون) بر برخی خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و تبدیل شلتوک به برنج سفید

محمدرضا علیزاده*

* نگارنده مسئول: دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران. ص. پ. ۱۶۵۸، تلفن: ۳۳۶۹۰۰۵۲(۰۱۳)، پیام‌نگار: alizadeh_mohammadreza@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۲/۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۵/۳۱

چکیده

در این تحقیق برخی از خواص فیزیکی، مکانیکی و تبدیل برنج سه رقم محلی متداول به نام‌های هاشمی، علی‌کاظمی و طارم در دو نوع محصول اصلی و رتون بررسی شد. آزمایش به صورت فاکتوریل (۲×۳) در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در پنج تکرار صورت گرفت. نتایج نشان می‌دهد که تنها ضخامت و درجهٔ کرویت دانهٔ برنج محصول اصلی (به ترتیب ۱/٦۸ میلی‌متر و ۰/۳۸۸) به طور معنی‌دار (P<۰/۰۱) کمتر از مقادیر معادل آنها (به ترتیب ۱/۷۱ میلی‌متر و ۰/۳۹۸) در برنج رتون است. بیشترین طول دانهٔ برنج قهوه‌ای (۷/۵۸ میلی‌متر) در رقم هاشمی و بیشترین عرض (۲/۰۳ میلی‌متر)، ضخامت (۱/۸۰ میلی‌متر)، قطر میانگین هندسی (۳/۰۰ میلی‌متر)، درجه کرویت (۰/٤۰۸)، سطح دانه (۲۵/٤۰ میلی متر مربع)، جرم مخصوص توده و جرم مخصوص واقعی (به ترتیب ٥٦۱/٥٤ و ۱۲۹۲/۲٤ کیلوگرم بر متر مکعب) و وزن هزار دانه (۲٦/۹٦ گرم) در رقم علی‌کاظمی به دست آمده است. بیشترین نیروی گسیختگی در بارگذاری خمشی و عملکرد برنج سالم مربوط به برنج رتون رقم هاشمی (به ترتیب ۲٤/٦۸ نیوتن و ۸۱/۳٦ درصد) و کمترین مقدار معادل آنها در برنج محصول اصلی رقم علی‌کاظمی (به ترتیب ۱۹/٦٤ نیوتن و ۷۳/٤۱ درصد) تعیین شد (P<۰/۰۱). بین نیروی گسیختگی در بارگذاری فشاری ارقام مختلف برنج در دو نوع محصول اصلی و رتون اختلاف معنی‌دار نیست.

واژه‌های کلیدی

برنج رتون، تبدیل برنج، خواص فیزیکی، خواص مکانیکی

مقدمه

برنج بعد از گندم مهم‌ترین محصول کشاورزی دنیا است. تولید جهانی شلتوک سالانه حدود ۷۲۰ میلیون تن برآورد شده است که از این مقدار بیش از ۹۰ درصد آن در آسیا تولید و مصرف می‌شود (Anon, 2014). بر اساس آمار وزارت جهاد کشاورزی، در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ سطح زیر کشت برنج در ایران ۵۶۵ هزار هکتار اعلام شده که از این مقدار سالانه حدود ۲/۴۵ میلیون تن شلتوک تولید می‌شود (Anon. 2013).

راتونینگ[1] به حالتی اطلاق می‌شود که در آن ساقه‌های برنج باقیمانده از محصول قبلی دوباره جوانه می‌زنند و به مرحلهٔ خوشه دهی و تولید محصول می‌رسند. از ویژگی‌های این حالت می‌توان به حذف هزینه‌های کارگری مربوط به پرورش نشا، نشاکاری و آماده سازی زمین اشاره کرد. از این رو معرفی ارقامی که قابلیت رتون‌دهی بالایی دارند، یکی از اهداف مهم در برنامهٔ اصلاحی برنج است و این شیوه در مناطقی که شرایط آب و هوایی مناسب برای کشت برنج دارند، شیوه‌ای اقتصادی

1- Ratooning

© 2017,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

خواهد بود (Jelodar, 2005). در کشور ایران نیز کشت رتون به عنوان محصول دوم بعد از برداشت محصول اصلی به دلیل مزایایی همچون کوتاهی دورهٔ رشد، کاهش هزینهٔ تولید و برخورداری از کیفیت مطلوب پخت (عطر و طعم مناسب) با استقبال خوبی از طرف کشاورزان مواجه شده است (Yazdpour *et al.*, 2012). با توسعهٔ سطح برداشت رتون در اراضی شالیزاری، مقایسه و ارزیابی خواص فیزیکی، مکانیکی و تبدیل این نوع برنج با محصول اصلی همواره مطرح شده است.

شناخت خواص فیزیکی و مکانیکی (خواص مهندسی) شلتوک و برنج مانند سایر محصولات کشاورزی از عوامل مؤثر و تعیین کننده در طراحی، بهینه‌سازی و تنظیم ماشین‌های بوجاری، درجه‌بندی و انتقال و نیز مخازن نگهداری محصول و دستگاه‌های تبدیل شلتوک به برنج سفید است. ویژگی‌هایی مانند ابعاد، اندازه و شکل دانه از پارامترهای تعیین کننده در طراحی ماشین‌های بوجاری، درجه‌بندی و جداسازها محسوب می‌شوند (Sahay & Singh, 1994; Omobuwajo *et al.*, 2000). به طور کلی، دانه‌های با درجهٔ کرویت بیشتر، تمایل به غلتیدن بر سطح الک‌ها، غربال‌ها و سایر ماشین‌های فرایند محصول دارند، در صورتی که دانه‌های با درجهٔ کرویت کمتر تمایل به لغزش بر سطوح صاف دارند و این ویژگی عامل مهمی در طراحی بهینهٔ ماشین‌های بوجاری و غربال‌ها محسوب می‌شود (Omobuwajo *et al.*, 2000). تفاوت در ابعاد اصلی دانه می‌تواند بر سایر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی دانه نیز تأثیرگذار باشد (Aviara *et al.*, 2005). در طراحی بهینهٔ مخازن نگهداری شلتوک و چگونگی جریان ثقلی مواد از این مخازن و همچنین درفرآیند خشک‌کردن و انتقال مواد توسط نقاله‌ها، تعیین خواصی مانند جرم مخصوص توده، جرم مخصوص واقعی و درصد تخلخل اهمیت زیادی دارد (Singh & Moysey, 1985; Chang, 1988; Kocabiyik *et al.*, 2004; Correa *et al.*, 2007). در فرایند تبدیل شلتوک به برنج، دانه در معرض انواع تنش‌های مکانیکی قرار می‌گیرد، بنابراین، شناخت رفتار مکانیکی مواد تحت بارگذاری می‌تواند در بهینه‌سازی ماشین‌های پس از برداشت به ویژه برای تحلیل عملکرد تجهیزات تبدیل مانند پوست‌کن‌ها و سفیدکن‌ها مورد استفاده قرار گیرد (Pomeranz & Webb, 1985; Wouters & Baerdermaeker, 1988; Shitanda *et al.*, 2002; Mohapatra & Bal, 2007)، در تحقیقی، برخی از خواص فیزیکی شلتوک ارقام برنج سرخه و سازندگی در رطوبت ۱۰ درصد (بر پایهٔ تر) اندازه‌گیری شدند. در این تحقیق مشخص شد که رقم سازندگی دارای بیشترین طول، عرض، قطر معادل، درجه کرویت، سطح رویی، نسبت وجه و حجم دانه است. چگالی ظاهری (جرم مخصوص ظاهری) در رقم سرخه بیش از چگالی ظاهری رقم سازندگی است. از نظر وزن هزار دانه، چگالی ظاهری، تخلخل و زاویهٔ استقرار نیز اختلاف معنی‌داری بین این دو رقم وجود ندارد (Ghasemi Varnamkhsti *et al.*, 2007). علیزاده و همکاران (Alizadeh *et al.*, 2006) با آزمایش تأثیر ریشک‌زدایی بر خواص فیزیکی شلتوک ارقام هاشمی و بینام (در پنج سطح رطوبت از ۶/۹۲ تا ۲۳/۱۶ درصد) نشان دادند که در تمامی پنج سطح رطوبتی شلتوک، زاویهٔ استقرار، ضریب اصطکاک استاتیکی، جرم مخصوص توده و وزن هزار دانه در شلتوک ریشک‌دار بیشتر بوده است تا در شلتوک ریشک‌زده، آنها همچنین گزارش دادند که ریشک‌زدایی شلتوک سبب کاهش درصد تخلخل شلتوک می‌شود و نسبت و شاخص پوست‌کنی را افزایش می‌دهد (Minaei *et al.*, 2007).

اوجای و کلارک (Ojayi & Clark, 1997) گزارش کردند که میزان آسیب‌های وارد بر دانه در تبدیل به خواص فیزیکی و مکانیکی آنها بستگی داشته و تعیین این خواص در تحلیل کیفیت یا ترک‌خوردگی دانه حین تبدیل

از اهمیت زیادی برخوردار است. علیزاده و همکاران (Alizadeh *et al.*, 2011) اثر رطوبت نهایی شلتوک را بر مقدار نیروی شکست، راندمان تبدیل و عملکرد برنج سالم بررسی کردند و نشان دادند که با افزایش رطوبت از ۶ به ۱۲ درصد (بر پایهٔ تر)، نیروی شکست (نیروی گسیختگی) دانه برای سه رقم هاشمی، خزر و کادوس کاهش می‌یابد. در بررسی‌های کوریا و همکاران (Correa *et al.*, 2007) مقدار نیروی گسیختگی سه رقم برنج قهوه‌ای در حالت فشاری به طور میانگین ۷۶/۷۳ نیوتن تعیین شد. آنها همچنین اعلام کردند که مقدار نیروی گسیختگی شلتوک به طور معنی‌داری بیش از مقدار نیروی گسیختگی برنج قهوه‌ای و برنج سفید است. موهاپاترا و بال (Mohapatra & Bal, 2007) نیروی گسیختگی دانه در بارگذاری فشاری را برای سه رقم پوسا باسماتی، وارنا و ADT 37 به ترتیب ۷۲/۴۰، ۴۵/۶۰ و ۸۱/۸۰ نیوتن گزارش و اعلام کردند که مقدار این نیرو به نوع رقم و شرایط رطوبتی آنها بستگی دارد. نتایج بررسی لو و سیبن مورگن (Lu & Siebenmorgen, 1995) نشان می‌دهد که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین درصد برنج سالم و مقاومت به گسیختگی برنج تحت بارگذاری خمشی وجود دارد.

محققان زیادی خواص فیزیکی، مکانیکی و سایر پارامترهای مرتبط با تبدیل برنج را در ارقام مختلف بررسی کردند (Kibar *et al.*, 2010; Bagheri *et al.*, 2011; Jouki & Khazaei, 2012)، اما در مورد خواص فیزیکی، مکانیکی و تبدیل برنج رتون و مقایسهٔ آن با برنج کشت اصلی تحقیقات چندانی نشده است. علاوه بر عوامل به زراعی برای افزایش عملکرد در واحد سطح، تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی محصول نیز با هدف بهبود عملیات پس از برداشت و بهینه‌سازی فرایند تبدیل در ارقام مختلف، ضروری است. از این رو این تحقیق با هدف بررسی اثر رقم و نوع محصول (رتون و اصلی) بر برخی خواص فیزیکی، مکانیکی و تبدیل شلتوک به برنج سفید اجرا شد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق برخی از خواص فیزیکی، خواص مکانیکی (نیروی گسیختگی) و تبدیل برنج محصول اصلی و رتون مقایسه شده‌اند. شلتوک سه رقم محلی و متداول در استان‌های گیلان و مازندران به نام‌های هاشمی، علی کاظمی و طارم که پتانسیل رتون‌دهی مناسبی دارند، از مزرعه آزمایشی مؤسسه تحقیقات برنج کشور (رشت) تهیه شد. قبل از شروع آزمایش، تمام ناخالصی‌ها و دانه‌های پوک و شکسته از دانه‌های سالم موجود در نمونه با استفاده از بوجار آزمایشگاهی (KM Model B2, Japan) و به طور دستی جدا شدند. با توجه به اینکه عملیات تبدیل شلتوک برای ارقام محلی در رطوبت حدود ۹ درصد (بر پایهٔ تر) صورت می‌گیرد (Firouzi & Alizadeh, 2013)، از این رو کلیهٔ اندازه‌گیری‌های مربوط به خواص فیزیکی، نیروی گسیختگی و تبدیل برنج در این سطح از رطوبت شلتوک انجام شد. رطوبت اولیهٔ شلتوک با استفاده از یک رطوبت‌سنج دانه از قبل کالیبره شده (GMK Model 303RS, Korea) برای سه رقم هاشمی، علی کاظمی و طارم به ترتیب ۱۳/۷، ۱۴/۳ و ۱۴/۱ درصد (بر پایهٔ تر) اندازه‌گیری شد. برای کاهش مقدار رطوبت تا سطح ۹ درصد، نمونه‌ها را در آون الکتریکی با دمای حدود ۴۰ درجه سلسیوس قرار داده (Yang *et al.*, 2003) و پس از خنک شدن در دمای اتاق، در کیسه‌های پلاستیکی زیپ‌دار ریخته شد.

در این تحقیق برخی خواص فیزیکی (ابعاد اصلی دانه، قطر میانگین هندسی، کرویت، سطح، ضریب لاغری، جرم مخصوص توده، جرم مخصوص توده واقعی، درصد تخلخل و وزن هزار دانه) و خواص مکانیکی (نیروی گسیختگی

دانه در بارگذاری فشاری و خمشی) و پارامترهای تبدیل (راندمان تبدیل و عملکرد برنج سالم) به روش‌های زیر اندازه‌گیری شدند.

برای تعیین ابعاد اصلی دانه‌ها، از هر رقم و دو نوع محصول برنج اصلی و رتون، تعداد ۵۰ دانه شلتوک (در مجموع ۵۰۰ دانه شلتوک برای هر رقم) از بین دانه‌های سالم به طور تصادفی انتخاب و پوستهٔ اولیه آنها با دقت با دست جدا شد. پس از آن، ابعاد اصلی دانه‌ها یعنی طول، عرض و ضخامت برنج قهوه‌ای با استفاده از یک کولیس دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر (Mitutoya caliper, Japan) اندازه‌گیری شد (Cao *et al.*, 2004). قطر میانگین هندسی و درجه کرویت از روابط ۱ و ۲ به دست آمد (Mohsenin, 1986):

$$D_g = (LWT)^{\frac{1}{3}} \qquad (۱)$$

$$\phi = \frac{(LWT)^{\frac{1}{3}}}{L} = \frac{D_g}{L} \qquad (۲)$$

که در آن،

D_g = قطر میانگین هندسی (میلی‌متر)؛ ϕ = درجه کرویت؛ L، W و T به ترتیب طول، عرض و ضخامت دانه‌ها (میلی‌متر) است. برای تعیین سطح دانه‌ها از رابطهٔ ۳ استفاده شد (Jain & Bal, 1997):

$$B = (WT)^{0.5} \quad S = \frac{\pi BL^2}{2L - B} \qquad (۳)$$

که در آن،

S = سطح دانه‌ها (میلی‌متر مربع) است. ضریب لاغری نیز از رابطهٔ ۴ به دست آمد (Bagheri *et al.*, 2011):

$$S_r = \frac{L}{W} \qquad (۴)$$

که درآن،

S_r = ضریب لاغری دانه (بدون واحد) است.

برای تعیین جرم مخصوص توده از یک ظرف استوانه‌ای فلزی با گنجایش ۵۰۰ سانتی‌متر مکعب استفاده شد. دانه‌ها به طور یکنواخت از ارتفاع ۱۵ سانتی‌متری از سطح استوانه به داخل آن ریخته شد تا از این طریق ضمن ایجاد اثر ضربه‌ای باعث ته‌نشین شدن دانه در ظرف نمونه‌گیری شود. پس از پر شدن ظرف، با یک چوب صاف، دانه‌های اضافی از سطح ظرف بدون فشردگی برداشته شد. ظرف حاوی دانه با یک ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شد و جرم مخصوص توده از رابطهٔ ۵ به دست آمد (Sacilik *et al.*, 2003; Jouki & Khazaei, 2012):

$$\rho_b = \frac{m}{V} \qquad (۵)$$

که درآن،

ρ_b = جرم مخصوص تودهٔ نمونه شلتوک (کیلوگرم بر متر مکعب)؛ m = جرم نمونه (کیلوگرم)؛ و V = حجم نمونه (متر مکعب) است. برای اندازه‌گیری جرم مخصوص واقعی از روش جا به جایی تولوئن در یک پیکنومتر استفاده شد، به این ترتیب که در هر بار آزمایش ۱۰ گرم شلتوک توزین و داخل پیکنومتر حاوی تولوئن ریخته و مقدار حجم جا به جا شده تولوئن در پیکنومتر ثبت شد. پس از آن، جرم مخصوص واقعی از رابطهٔ ۶ به دست آمد (Kibar *et al.*, 2010):

$$\rho_a = \frac{m_s + m_w}{V_s + V_w} \qquad (۶)$$

که درآن،

ρ = جرم مخصوص واقعی دانه (کیلوگرم بر متر مکعب)؛ m_s و m_w به ترتیب جرم دانه و تولوئن (کیلوگرم)؛ و V_s و V_w به ترتیب حجم دانه و تولوئن (متر مکعب) است.

برای تعیین درصد تخلخل (ε) نمونه‌های آزمایشی از رابطهٔ ۷ استفاده شد (Singh & Goswami, 1996):

$$\varepsilon = (1-\frac{\rho_b}{\rho_a})\times 100 \qquad (۷)$$

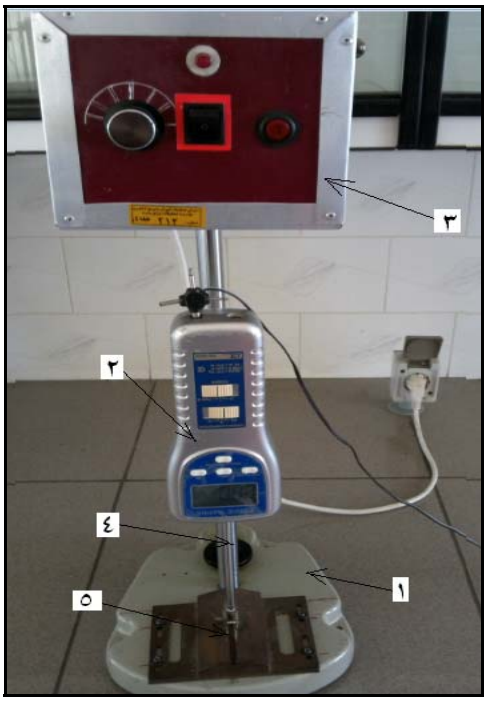
که در آن،

ε = تخلخل نمونهٔ شلتوک (درصد)؛ و ρ_b و ρ_a به ترتیب جرم مخصوص توده و جرم مخصوص واقعی نمونه (کیلوگرم بر مترمکعب) است.

در این تحقیق برای اندازه‌گیری نیروی گسیختگی دانه (برنج قهوه‌ای) در دو حالت بارگذاری فشاری و خمشی و برای سه رقم مورد آزمایش در دو نوع برنج محصول اصلی و رتون از دستگاه سختی‌سنج (سازمان پژوهش‌های علمی، شماره ثبت اختراع ۹۱۰۱۸۷)، مجهز به نیروسنج مدل Lutron FG-5020, Taiwan و با دقت ۰/۰۱ نیوتن استفاده شد (شکل ۱). برای تعیین نیروی گسیختگی دانه، از هر رقم مورد آزمایش ۲۰ دانه شلتوک سالم (در مجموع ۱۲۰ دانه) به طور تصادفی انتخاب شد. پس از جداسازی پوستهٔ اولیهٔ شلتوک با دست، دانهٔ برنج قهوه‌ای روی سطح صاف سکوی بارگذاری سختی‌سنج قرارداده شد. با روشن کردن دستگاه و حرکت رو به پایین پروب بارگذاری (با قطر ۸ میلی‌متر و سرعت بارگذاری ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه) و فشار وارده برسطح دانه، حداکثر نیرویی ثبت شد که در لحظه گسیختگی در صفحه نمایشگر دستگاه نمایش داده شده بود (Bagheri *et al.*, 2011).

به منظور تعیین نیروی گسیختگی دانه در حالت بارگذاری خمشی از روش سه نقطه‌ای استفاده شد (Lu & Siebenmorgen, 1995). برای این منظور پایه‌ای به عنوان تکیه‌گاه و محل قرارگیری دانه ساخته شد. در هر بار آزمایش، یک دانهٔ برنج قهوه‌ای روی پایهٔ مربوطه قرار داده شد و با حرکت رو به پایین پروب بارگذاری (به قطر ۸ میلی‌متر و با سرعت ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه)، حداکثر نیرو در لحظه گسیختگی دانه تحت بارگذاری خمشی در صفحه نمایشگر دستگاه ثبت شد. از هر رقم و محصول مورد نظر ۲۰ دانه برنج قهوه‌ای (در مجموع ۱۲۰ دانه از هر رقم) آزمایش شد.

برای تعیین پارامترهای مرتبط با تبدیل، از هر رقم و برای دو نوع محصول اصلی و رتون، پنج نمونه ۱۵۰ گرمی شلتوک خشک شده تهیه شد. نمونه‌های شلتوک با استفاده از پوست‌کن آزمایشگاهی نوع غلتک‌لاستیکی (Satake Eng. Co. Ltd., Japan) پوست‌گیری شدند. برنج قهوه‌ای حاصل از خروجی پوست‌کن با استفاده از سفیدکن آزمایشگاهی نوع مالشی (اصطکاکی) (McGill Miller, USA) سفید شد. برنج سفید خروجی از دستگاه سفیدکن که مخلوطی از برنج سفید سالم و شکسته بود، در داخل الک دوار (ایندنت) آزمایشگاهی (Satake TRG 058, Japan) ریخته و تمامی دانه‌های شکسته از سالم جدا و توزین شد. راندمان تبدیل از نسبت وزن کل برنج سفید (سالم + شکسته) به وزن شلتوک و عملکرد برنج سالم از نسبت وزن برنج سفید سالم (با طول برابر یا بزرگتر از سه چهارم طول برنج کامل) به وزن کل برنج سفید به دست آمد (Farouk & Islam, 1995). آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل دو عاملی (رقم در سه سطح هاشمی، علی کاظمی و طارم و نوع محصول در دو سطح اصلی و رتون) در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در پنج تکرار اجرا شد. تجزیهٔ واریانس و مقایسهٔ میانگین داده‌ها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS صورت گرفت.



شکل ۱- دستگاه سختی‌سنج مورد استفاده در آزمایش برای اندازه‌گیری نیروی گسیختگی دانه
(۱- سکوی بارگذاری، ۲- نیروسنج دیجیتالی، ۳- موتور محرک و واحد انتقال توان، ٤- پروب بارگذاری و ٥- محل استقرار دانه)

نتایج و بحث

خواص فیزیکی

نتایج حاصل از تجزیهٔ واریانس اثر رقم و نوع محصول بر خصوصیات فیزیکی مورد اندازه‌گیری در جدول ۱ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، اثر رقم بر کلیهٔ خواص فیزیکی (به استثنای درصد تخلخل) معنی‌دار است ($P<0/01$). همچنین، نوع محصول اثر معنی‌داری ($P<0/01$) بر طول، ضخامت، درجهٔ کرویت و ضریب لاغری ($P<0/05$) دارد. اثر متقابل رقم در نوع محصول تنها بر جرم مخصوص واقعی ($P<0/01$) معنی‌دار است.

نتایج مقایسهٔ میانگین‌ها نشان می‌دهد (جدول۲) که از بین سه رقم مورد آزمایش، بیشترین طول دانهٔ برنج قهوه‌ای (۷/۵۸ میلی‌متر) و ضریب لاغری (۳/۹۱) در رقم هاشمی، بیشترین عرض، ضخامت، قطر میانگین هندسی، سطح دانه و درجهٔ کرویت (به ترتیب با میانگین ۱/۸۰،۲/۰۳ و ۳ میلی‌متر و۲۵/۴۰ میلی‌مترمربع و ۰/۴۰۸) در رقم علی کاظمی و کمترین طول، عرض، ضخامت دانه، قطر میانگین هندسی و سطح دانه (به ترتیب با مقادیر میانگین ۷/۲۱، ۱/۸۷، ۱/۶۲ و ۲/۷۹ میلی‌متر و ۲۲/۰۱ میلی‌متر مربع) مربوط به رقم طارم است. طول دانه و ضریب لاغری در محصول اصلی (به ترتیب با میانگین ۷/۴۴ میلی‌متر و ۳/۸۶) بیشتر از مقادیر معادل آنها در محصول رتون (به ترتیب ۷/۲۹ میلی‌متر و ۳/۷۴) دیده می‌شود ولی ضخامت (۱/۷۱ میلی‌متر) و درجه کرویت (۰/۳۹۸) محصول رتون به طور معنی‌داری بیشتر از ضخامت (۱/۶۸ میلی‌متر) و درجه کرویت (۰/۳۸۸) در محصول اصلی است. بین دو نوع محصول اصلی و رتون در مقدار عرض، قطر میانگین هندسی و سطح دانه اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. رقم علی‌کاظمی در مقایسه با دو رقم دیگر دارای درجهٔ کرویت بیشتری است که خود منجر به کاهش ضریب لاغری دانه در این رقم می‌شود.

جدول ۱ - تجزیهٔ واریانس اثر رقم و نوع محصول بر خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و عملکرد تبدیل برنج

منابع تغییر	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات						
		ابعاد اصلی دانه			قطر میانگین هندسی (میلی‌متر)	درجهٔ کرویت (درصد)	سطح (میلی‌متر)	ضریب لاغری
		طول (میلی‌متر)	عرض (میلی‌متر)	ضخامت (میلی‌متر)				
تکرار	۴	۰/۰۰۱۴۶^{ns}	۰/۰۰۱۷۳^{ns}	۰/۰۰۳۴۱^{ns}	۰/۰۰۰۲۳^{ns}	۰/۰۰۰۳^{ns}	۰/۴۸۲۶۲*	۰/۰۵۸۷۷^{ns}
رقم	۲	۰/۴۰۱۷**	۰/۰۸۵۵**	۰/۱۰۴۰۷**	۰/۱۳۶۸۴**	۰/۰۰۱۶۱**	۳۱/۴۸۴۳**	۰/۳۹۵۸۲**
نوع محصول	۱	۰/۱۶۸۷**	۰/۰۰۰۷۵^{ns}	۰/۰۰۷۳۶**	۰/۰۰۰۱۲^{ns}	۰/۰۰۰۶۵**	۰/۰۶۴۴۰^{ns}	۰/۱۸۷۲۳*
رقم در نوع محصول	۲	۰/۰۰۴۵^{ns}	۰/۰۰۱۷۵^{ns}	۰/۰۰۰۲۰^{ns}	۰/۰۰۰۶۳^{ns}	۰/۰۰۰۰۱^{ns}	۰/۱۴۱۵۶^{ns}	۰/۰۴۰۸۷^{ns}
خطا	۲۰	۰/۰۰۳۵	۰/۰۰۱۱۲	۰/۰۰۰۹۰	۰/۰۰۰۶۱	۰/۰۰۰۰۳	۰/۱۳۹۳۴	۰/۳۲۵۷۵

** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، * اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ns: نبود اختلاف معنی‌دار

ادامهٔ جدول ۱- تجزیهٔ واریانس اثر رقم و نوع محصول بر خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و عملکرد تبدیل برنج

منابع تغییر	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات							
		جرم مخصوص ظاهری (کیلوگرم برمترمکعب)	جرم مخصوص واقعی (کیلوگرم بر مترمکعب)	تخلخل (درصد)	وزن هزار دانه (گرم)	نیروی گسیختگی فشاری (نیوتن)	نیروی گسیختگی خمشی (نیوتن)	برنج سالم (درصد)	راندمان تبدیل (درصد)
تکرار	۴	۲۲۸/۰۰۸^{ns}	۴۳۱/۸۱*	۰/۶۹۴۳^{ns}	۰/۱۰۵۳۵^{ns}	۲/۴۰۳۹^{ns}	۱/۷۸۶۴^{ns}	۶/۶۵۰۴^{ns}	۰/۰۳۵۳^{ns}
رقم	۲	۳۴۳۷/۹۱**	۵۴۳۴/۳۸**	۴/۵۷۱۲^{ns}	۲۶/۳۸۷**	۳/۴۹۲۲^{ns}	۷/۱۷۸۹**	۳۵/۶۷۳۵**	۰/۳۴۷۹*
نوع محصول	۱	۷۶۲/۰۴۸^{ns}	۲۵۵/۱۵۰^{ns}	۲/۷۰۰۰^{ns}	۰/۱۰۳۲۵^{ns}	۱/۸۶۵۰^{ns}	۹۶/۸۰۴۴**	۱۳۶/۰۶۴**	۰/۰۰۸۰^{ns}
رقم در نوع محصول	۲	۷۰۶/۲۳^{ns}	۱۶۶۲/۰۹**	۱/۳۵۶۰^{ns}	۰/۱۱۹۱^{ns}	۷/۶۵۵۴^{ns}	۱/۱۱۶۸^{ns}	۲/۷۶۶۷^{ns}	۲/۲۳۶۸**
خطا	۲۰	۲۵۸/۳۳۹	۱۴۶/۶۹۲	۱/۷۴۹۳	۰/۹۲۹۰۲	۵/۵۳۵۰	۰/۸۷۶۹	۲/۸۸۴۶	۰/۰۷۲۴

** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، * اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ns: نبود اختلاف معنی‌دار

جدول ۲ - مقایسه میانگین اثر رقم و نوع محصول بر خواص فیزیکی، مکانیکی و عملکرد تبدیل برنج

عامل	تیمار	ابعاد اصلی دانه+			قطر میانگین هندسی+	درجهٔ کرویت+	سطح دانه+	ضریب لاغری+
		طول (میلی‌متر)	عرض (میلی‌متر)	ضخامت (میلی‌متر)	(میلی‌متر)	(درصد)	(میلی مترمربع)	
اثر رقم	هاشمی	۷/۵۸ a	۱/۹۴ b	۱/۷۱ b	۲/۹۲ b	۰/۳۸۵ b	۲۴/۵۶ b	۳/۹۱ a
	علی کاظمی	۷/۳۵ b	۲/۰۳ a	۱/۸۰ a	۳/۰۰ a	۰/۴۰۸ a	۲۵/۴۰ a	۳/۶۲ b
	طارم	۷/۲۱ c	۱/۸۷ c	۱/۶۲ c	۲/۷۹ c	۰/۳۸۷ b	۲۲/۰۱ c	۳/۸۶ b
اثر نوع محصول	محصول اصلی	۷/۴۴ a	۱/۹۳ a	۱/۶۸ b	۲/۸۹ a	۰/۳۸۸ b	۲۴/۰۳ a	۳/۸۶ a
	رتون	۷/۲۹ b	۱/۹۵ a	۱/۷۱ a	۲/۹۰ a	۰/۳۹۸ a	۲۳/۹۴ a	۳/۷۴ b
اثر رقم در نوع محصول	هاشمی- محصول اصلی	۷/۶۴ a	۱/۹۳ b	۱/۶۹ c	۲/۹۱ b	۰/۳۸۲ d	۲۴/۵۷ b	۳/۹۶ a
	هاشمی- رتون	۷/۵۲ b	۱/۹۵ b	۱/۷۱ c	۲/۹۳ b	۰/۳۹۰ c	۲۴/۵۵ b	۳/۸۵ b
	علی کاظمی- محصول اصلی	۷/۴۳ c	۲/۰۲ a	۱/۷۸ b	۳/۰۰ a	۰/۴۰۳ b	۲۵/۳۶ a	۳/۶۸ bc
	علی کاظمی- رتون	۷/۲۸ d	۲/۰۵ a	۱/۸۲ a	۳/۰۱ a	۰/۴۱۳ a	۲۵/۴۵ a	۳/۵۵ c
	طارم- محصول اصلی	۷/۲۷ d	۱/۸۶ c	۱/۵۸ d	۲/۷۸ c	۰/۳۸۲ d	۲۲/۱۸ c	۳/۹۱ b
	طارم- رتون	۷/۰۹ e	۱/۸۴ c	۱/۶۱ d	۲/۷۶ c	۰/۳۹۰ c	۲۱/۸۲ c	۳/۸۵ b

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

+ اندازه‌گیری‌ها مربوط به برنج قهوه‌ای می‌باشد.

ادامهٔ جدول۲- مقایسه میانگین اثر رقم و نوع محصول بر خواص فیزیکی، مکانیکی و عملکرد تبدیل برنج

عامل	تیمار	جرم مخصوص ظاهری++ (کیلوگرم بر مترمکعب)	جرم مخصوص واقعی++ (کیلوگرم بر مترمکعب)	تخلخل++ (درصد)	وزن هزار دانه++ (گرم)	نیروی گسیختگی فشاری (نیوتن)	نیروی گسیختگی خمشی (نیوتن)	برنج سالم (درصد)	راندمان تبدیل (درصد)
اثر رقم	هاشمی	۵۴۱/۸۳ b	۱۲۶۲/۶۷ b	۵۷/۰۸ ab	۲۴/۹۷ b	۷۰/۲۸ a	۲۲/۷۵ a	۷۹/۷۵ a	۶۶/۰۴ a
	علی کاظمی	۵۶۱/۵۴ a	۱۲۹۲/۲۴ a	۵۶/۵۶ b	۲۶/۹۶ a	۶۹/۵۰ a	۲۱/۰۶ b	۷۶/۰۷ b	۶۵/۷۴ b
	طارم	۵۲۴/۴۸ c	۱۲۴۶/۲۳ c	۵۷/۹۱ a	۲۳/۷۴ c	۷۰/۶۶ a	۲۱/۸۶ b	۷۸/۶۱ a	۶۶/۰۸ a
اثر نوع محصول	محصول اصلی	۵۴۷/۶۶ a	۱۲۶۹/۹۷ a	۵۶/۸۸ a	۲۵/۲۸ a	۶۹/۹۰ a	۲۰/۰۹ b	۷۶/۰۱ b	۶۵/۹۴ a
	رتون	۵۳۷/۵۸ a	۱۲۶۴/۱۳ a	۵۷/۴۸ a	۲۵/۱۷ a	۷۰/۴۰ a	۲۳/۶۸ a	۸۰/۲۷ a	۶۵/۹۷ a
اثر رقم در نوع محصول	هاشمی- محصول اصلی	۵۴۷/۱۲ b	۱۲۷۳/۴۸ bc	۵۷/۰۳ ab	۲۵/۱۲ b	۷۱/۰۴ a	۲۰/۸۲ c	۷۸/۱۵ c	۶۶/۲۳ b
	هاشمی- رتون	۵۳۶/۵۴ bc	۱۲۵۱/۸۵ d	۵۷/۱۳ ab	۲۴/۸۳ bc	۶۹/۵۳ a	۲۴/۶۸ a	۸۱/۳۶ a	۶۵/۸۷ dc
	علی کاظمی- محصول اصلی	۵۷۴/۸۶ a	۱۳۰۲/۱۴ a	۵۵/۸۴ b	۲۷/۰۶ a	۶۸/۷۵ a	۱۹/۶۴ c	۷۳/۴۱ d	۶۶/۰۷ bc
	علی کاظمی- رتون	۵۴۸/۲۳ b	۱۲۸۲/۳۴ b	۵۷/۲۹ ab	۲۶/۸۷ a	۷۰/۲۶ a	۲۲/۴۷ b	۷۸/۷۲ bc	۶۵/۴۲ e
	طارم- محصول اصلی	۵۲۱/۰۰ c	۱۲۳۴/۲۸ e	۵۷/۷۸ a	۲۳/۶۸ c	۶۹/۹۲ a	۱۹/۸۲ c	۷۶/۴۸ c	۶۵/۵۳ de
	طارم- رتون	۵۲۷/۹۷ bc	۱۲۵۸/۲۰ dc	۵۸/۰۳ a	۲۳/۸۱ c	۷۱/۴۱ a	۲۳/۹۱ a	۸۰/۷۴ ab	۶۶/۶۴ a

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

++اندازه گیری‌ها مربوط به شلتوک می‌باشد.

جدول ۲ نشان می‌دهد که از بین سه رقم برنج مورد آزمایش، بیشترین جرم مخصوص توده (۵۶۱/۵۴ کیلوگرم بر مترمکعب) در رقم علی‌کاظمی و کمترین آن (۵۲۴/۴۸ کیلوگرم بر مترمکعب) در رقم طارم است. همچنین، نتایج به دست آمده نشان دهندهٔ آن است که بین دو نوع محصول و نیز اثر متقابل رقم در نوع محصول از لحاظ جرم مخصوص توده اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. به طورکلی، مقدار جرم مخصوص تودهٔ شلتوک به نوع رقم، مقدار رطوبت و سایر خصوصیات فیزیکی آنها بستگی دارد. بالاتر بودن جرم مخصوص توده شلتوک رقم علی‌کاظمی، در مقایسه با دو رقم دیگر را می‌توان به وزن هزار دانه بیشتر این رقم نسبت داد. در مورد جرم مخصوص واقعی، اثر ساده رقم و نوع محصول بر جرم مخصوص واقعی شلتوک روند مشابهی داشته است. اثر متقابل رقم در نوع محصول بر مقدار جرم مخصوص واقعی نشان می‌دهد که شلتوک رقم علی‌کاظمی در هر دو نوع محصول اصلی و رتون به ترتیب با ۱۳۰۲/۱۴ و ۱۲۸۲/۳۴ کیلوگرم بر مترمکعب بیشترین جرم مخصوص واقعی و رقم طارم به ترتیب با مقادیر ۱۲۳۴/۲۷ و ۱۲۵۸/۲۰ کیلوگرم بر مترمکعب کمترین جرم مخصوص واقعی را دارا است.

آشتیانی عراقی و همکاران (Ashtiani Araghi *et al.*, 2010) جرم مخصوص تودهٔ شلتوک دو رقم سرخه و سازندگی متداول در استان اصفهان را به ترتیب ۵۹۸ و ۵۷۶ کیلوگرم بر مترمکعب و جوکی و خزایی (Jouki & Khazaei, 2012) جرم مخصوص توده و جرم مخصوص واقعی شلتوک رقم صدری را به ترتیب ۵۴۱ و ۱۱۰۸/۹۸ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کردند. ذرعی‌فروش و همکاران (Zareiforoush *et al.*, 2011) جرم مخصوص توده رقم هاشمی را در رطوبت حدود ۱۱ درصد برابر ۳۹۰/۰۳ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کردند که به طور قابل توجهی کمتر از جرم مخصوص به دست آمده در این تحقیق است. یکی از دلایل این امر نوع شلتوک مورد استفاده در تحقیق آنها است که به صورت ریشک‌دار مورد آزمایش قرارگرفته است. تحقیقات علیزاده و همکاران (Alizadeh *et al.*, 2006) نشان می‌دهد که ریشک زدایی سبب ایجاد تغییرات معنی‌دار در خواص فیزیکی می‌شود. بین سه رقم هاشمی، علی‌کاظمی و طارم و نیز بین دو نوع محصول اصلی و رتون از نظر درصد تخلخل اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. همچنین، مقایسه بین میانگین‌های اثر متقابل رقم در نوع محصول بر درصد تخلخل اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای مختلف دیده نمی‌شود.

نیروی گسیختگی دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر رقم و نوع محصول بر نیروی گسیختگی دانه در بارگذاری فشاری معنی‌دار نیست ولی این عوامل اثر معنی‌داری ($P<0/01$) بر نیروی گسیختگی دانه تحت بارگذاری خمشی دارد (جدول۱). نیروی گسیختگی دانه در بارگذاری فشاری برای سه رقم به طور میانگین ۷۰/۱۴ نیوتن تعیین شده است (جدول۲).

از بین سه رقم برنج مورد آزمایش، بیشترین نیروی گسیختگی دانه در بارگذاری خمشی (۲۲/۷۵ نیوتن) مربوط به رقم هاشمی و کمترین آن (۲۱/۰۵ نیوتن) در رقم طارم است. ولی بین دو رقم طارم و علی کاظمی در این مورد اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (جدول ۲). همچنین، میانگین نیروی گسیختگی دانهٔ تحت بارگذاری خمشی در برنج محصول رتون (۲۳/۶۸ نیوتن) به طور معنی‌دار بیش از نیروی گسیختگی دانه در محصول اصلی (۲۰/۰۹ نیوتن) است. مقایسهٔ بین میانگین‌های اثر متقابل رقم در نوع محصول نیز نشان می‌دهد که در تمام ارقام مورد آزمایش، نیروی گسیختگی در بارگذاری خمشی برنج رتون بیشتر از نیروی گسیختگی در بارگذاری خمشی برنج

محصول اصلی است (جدول۲). کمتر بودن طول دانه در محصول رتون در مقایسه با محصول اصلی می‌تواند از دلایل اصلی افزایش نیروی گسیختگی در بارگذاری خمشی باشد.

خصوصیات تبدیل برنج

نتایج تحزیهٔ واریانس نشان می‌دهد که اثر رقم و نوع محصول بر عملکرد برنج سالم معنی‌دار است ($P<۰/۰۱$). همچنین، اثر رقم ($P<۰/۰۵$) و اثر متقابل رقم × نوع محصول بر راندمان تبدیل ($P<۰/۰۱$) معنی‌دار است (جدول ۱). درصد برنج سالم در ارقام هاشمی (۷۹/۷۵ درصد) و طارم (۷۸/۶۱ درصد) بیشتر از درصد برنج سالم در رقم علی‌کاظمی (۷۶/۰۶ درصد) است. نتایج همچنین نشان می‌دهد که از بین دو نوع محصول، درصد برنج سالم در برنج رتون (۸۰/۲۷ درصد) اختلاف معنی‌داری ($P<۰/۰۱$) با درصد برنج سالم در محصول اصلی (۷۶/۰۱ درصد) دارد. بیشترین درصد برنج سالم (۸۱/۳۶ درصد) در رقم هاشمی محصول رتون و کمترین مقدار (۷۳/۴۱ درصد) در رقم علی‌کاظمی و محصول اصلی به دست آمده است (جدول۲).

راندمان تبدیل (یعنی نسبت وزن برنج سفیدشده به وزن شلتوک اولیه) در ارقام هاشمی (۶۶/۰۴ درصد) و طارم (۶۶/۰۸ درصد) به صورت معنی‌دار بیش از راندمان تبدیل در رقم علی‌کاظمی (۶۵/۷۴ درصد) است، ولی بین دو نوع محصول اصلی و رتون از این نظر اختلاف معنی‌دار نیست. نتایج اثر متقابل رقم در نوع محصول نشان می دهد که در ارقام هاشمی و علی‌کاظمی راندمان تبدیل محصول رتون کمتر از راندمان تبدیل محصول اصلی ولی در رقم طارم بر عکس است (جدول۲). راندمان تبدیل به عواملی مانند رقم و خصوصیات ژنتیکی و فیزیکی هر یک از ارقام بستگی دارد.

کاهش درصد برنج سالم در محصول اصلی را می‌توان به طول و ضریب لاغری بیشتر آن، نسبت به برنج رتون، مربوط دانست. سگوی و کلمنت (Seguy & Clement, 1994) گزارش کردند که با افزایش طول برنج قهوه‌ای ضایعات در مرحلهٔ تبدیل افزایش می‌یابد. تحقیقات نگوین و کونز (Nguyen & Kunze, 1984) نشان می‌دهد که کیفیت تبدیل برنج با افزایش ضریب لاغری کاهش می‌یابد. عملکرد برنج سالم به عواملی مانند رقم، خصوصیات فیزیکی و مکانیکی آن و شرایط دستگاه‌های تبدیل بستگی دارد. با توجه به اینکه در این تحقیق نوع دستگاه‌های تبدیل مورد استفاده در همهٔ تیمارها یکسان بود، بنابراین اختلاف بین درصد برنج سالم در دو نوع محصول اصلی و رتون ارقام مختلف را می‌توان ناشی از تفاوت بین خصوصیات فیزیکی و مکانیکی آنها دانست.

نتیجه‌گیری

از میان خواص فیزیکی اندازه‌گیری شده، طول و ضریب لاغری دانه (برنج قهوه‌ای) در محصول اصلی بیشتر از مقادیر معادل آنها در محصول رتون است، در حالی که برنج رتون در مقایسه با برنج محصول اصلی ضخامت و درجهٔ کرویت بیشتری دارد. در سایر خواص فیزیکی، بین برنج رتون و محصول اصلی اختلاف معنی‌داری مشاهده نمی‌شود. در هر یک از ارقام مورد آزمایش، نیروی گسیختگی خمشی و درصد برنج سالم در برنج محصول رتون به طور معنی‌دار بیشتر از نیروی گسیختگی خمشی و درصد برنج سالم برنج محصول اصلی است. به طوری که بیشترین مقدار نیروی گسیختگی و برنج سالم (به ترتیب ۲۴/۶۸ نیوتن و ۸۱/۳۶ درصد) مربوط به برنج رتون رقم هاشمی و کمترین مقادیر معادل آنها (به ترتیب ۱۹/۶۴ نیوتن و ۷۳/۴۱ درصد) در برنج رتون رقم علی‌کاظمی تعیین شد.

قدردانی

از کلیه مسئولان مؤسسهٔ تحقیقات برنج کشور، دفتر برنج وزارت جهاد کشاورزی و همکاران بخش تحقیقات فنی و مهندسی مؤسسه، به دلیل حمایت‌های مالی و همکاری در اجرای این تحقیق سپاسگزاری می‌شود.

مراجع

Alizadeh, M. R., Dabbaghi, A. and Rahimi-Ajdadi, F. 2011. Effect of final paddy moisture content on breakage force and milling properties of rice varieties. Elixir Agric. 36, 3186-3189.

Alizadeh, M. R., Minaei, S., Tavakoli, T. and Khoshtaghaza, M. H. 2006. Effect of de-awning on physical properties of paddy. Pakistan J. Biol. Sci. 9, 1726-1731.

Anon. 2014. FAO STAT Statistical Database. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Available at http://apps.fao.org.

Anon. 2013. Agricultural Statistics. Vol. 1: Crop Products 1391-92. Ministry of Jihade Agriculture. 1st Ed. Tehran. Iran.

Ashtiani Araghi, H., Sadeghi, M. and Hemmat, A. 2010. Physical properties of two rough rice varieties affected by moisture content. Int. Agrophys. 24, 205-207.

Aviara, N. A., Oluwole, F. A. and Haque, M. A. 2005. Effect of moisture content on some physical properties of sheanut (Butyrospernum Paradoxum). Int. Agrophys. 19, 193-198.

Bagheri, I., Dehpour, M. B., Payman, S. H., and Zareiforoush, H. 2011. Rupture strength of brown rice varieties as affected by moisture content and loading rate. Australian J. Crop Sci. 5, 1239-1246.

Cao, W., Nishiyama, Y. and Koide, S. 2004. Physicochemical, mechanical and thermal properties of brown rice grain with various moisture content. Int. J. Food Sci. and Technol. 39, 899-906.

Chang, C. S. 1988. Porosity and density of grain kernels. Cereal Chem. 65, 13-15.

Correa, P. C., Schwans da Silav, F., Jaren, C., Afonso Junior, P. C. and Arana, I. 2007. Physical and mechanical properties in rice processing. J. Food Eng. 79, 137-142.

Farouk, S. M. and Islam, M. N. 1995. Effect of parboiling and milling parameters on breakage of rice grains. Agric. Mech. Asia Africa Latin Am. 26(4): 33-38.

Firouzi, S. 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. Int. J. Biosci. 3(10): 133-138.

Ghasemi Varnamkhasti, M., Mobli, H., Jafari, A., Rafiee, S., Heidarysoltanabadi, M. and Kheiralipour, K. 2007. Some engineering properties of paddy (Var Sazandegi). Int. J. Agric. Biol. 9, 763-766.

Jain, R. K. and Bal, S. 1997. Physical properties of pearl millet. J. Agric. Eng. Res. 66, 85-91.

Jelodar, N. B. 2005. Yield, yield components and physic- chemical characters of the ratoon crop of Iranian rice cultivars. Acta. Agron Hung. 53(3): 329-337

Jouki, M. and Khazaei, N. 2012. Some physical properties of rice seed (*Oryza sativa* L.). Res. J. Appl. Sci. Eng. Technol. 4, 1846-1849.

Kocabiyik, H., Akta, T. and Kay, B. 2004. Porosity rate of some kernel crops. J. Agron. 3(2): 76-80.

Kibar, H., Ozturk, T. and Esen, B. 2010. The effect of moisture content on physical and mechanical properties of rice (*Oryza sativa* L.). Spanish J. Agric. Res. 8, 741-749.

Lu, R. and Siebenmorgen, T. J. 1995. Correlation of head rice yield to selected physical and mechanical properties of rice kernels. Trans. ASAE. 38, 889-894.

Minaei, S., Alizadeh, M. R., Khoshtaghaza, M. H. and Tavakoli, T. 2007. Effects of de-awning and moisture content on husking characteristics of paddy in rubber-roll husker. American-Eurasian J. Agric. Eviron. Sci. 2(1): 01-05.

Mohapatra, D. and Bal, S. 2007. Effect of degree of milling on specific energy consumption, optical measurements and cooking quality of rice. J. Food Eng. 80, 119-125.

Mohsenin, N. N. 1986. Physical properties of plant and animal materials. 2nd Ed. Gordon and Breach Science Pub. New York.

Nguyen, C. N. and Kunze, O. R. 1984. Fissures related to post-drying treatments in rough rice. Cereal Chem. 6(1): 63-68.

Ojayi, O. A. and Clark, B. 1997. High velocity impact of maize kernels. J. Agric. Eng. Res. 67, 97-101.

Omobuwajo, T. O., Sanni, L. A. and Olajide, J. O. 2000. Physical properties of ackee apple (Blighia sapida) seeds. J. Food Eng. 45, 45-48.

Pomeranz, Y. and Webb, B. D. 1985. Rice hardness and functional properties. Cereal Foods World. 30, 784-790.

Sacilik, K., Ozturk, R. and Keskin, R. 2003. Some physical properties of hemp seed. Biosys. Eng. 86(2): 191-198.

Sahay, K. M. and Singh, K. K. 1994. Unit operations of Agricultural Processing, 1st Ed. Vikas Pub. Hose, Pvt. Ltd. New Delhi. India.

Seguy, J. and Clement, C. J. 1994. Behavior of rice during processing. J. Agric. Res. Dev. 16, 38-46.

Shitanda, D., Nishiyama, Y. and Koide, S. 2002. Compressive strength properties of rough rice considering variations of contact area. J. Food Eng. 53, 53-58.

Singh, K. K. and Goswami, T. K. 1996. Physical properties of cumin seed. J. Agric. Eng. Res. 642, 93-98.

Singh, D. and Moysey, E. B. 1985. Grain bin wall pressure. Theoretical and experimental. Canadian Agric. Eng. 27, 43-48.

Wouters, A. and Baerdemaeker, J. 1988. Effect of moisture content on mechanical properties of rice kernel under quasi-static compressive loading. J. Food Eng. 7, 83-111.

Yang, W., Siebenmorgen, T. G., Thielen, T. P. H. and Cnossen, A. G. 2003. Effect of glass transition on conductivity of rough rice. Biosys. Eng. 84, 193-200.

Yazdpour, H., Shahri, M. M., Soleymani, A. and Mobasser, H. R. 2012. Effects of harvesting time and harvesting height on grain yield and agronomic characters in rice ratoon (*Oryza sativa* L.). J. Food Agric. Environ. 10(1): 438-440.

Zareiforoush, H., Hosseinzadeh, B., Adabi, M. E. and Motasebi, A. 2011. Moisture-dependent physical properties of paddy grains. J. Ame. Sci. 7, 175-182.

Journal of Agricultural Engineering Research/Vol.16/No.3/2015/P:93-106

Effect of Variety and Type of Ratoon and Main Crops on Physical, Mechanical, and Milling Properties of Rice

M. R. Alizadeh*

* Corresponding Author: Associate Professor, Agricultural Engineering Research Department, Rice Research Institute of Iran (RRII), AREEO, P. O. Box: 1658, Rasht, Iran. Email: alizadeh_mohammadreza@yahoo.com
Received: 27 February 2015, Accepted: 22 August 2015

The present study examined the physical properties, rupture force, and milling characteristics of the common *Hashemi*, *Alikazemi*, and *Tarom* rice varieties in main and ratoon crops. The experiment was conducted as a factorial(3×2) randomized complete block design with five replications. The results revealed that the thickness (1.68 mm) and sphericity of grains (0.388) were less in the main crop thanin the ratoon rice (1.71 mm and 0.398, respectively). The *Hashemi* variety recorded the greatest length (7.58 mm). *Alikazemi* recorded the greatest width (2.03 mm), thickness (1.80 mm), geometric mean diameter (3.00 mm), sphericity (0.408), surface area (25.40 mm^2), bulk density (561.54kgm^{-3}), true density (1292.24 kgm^{-3}), and thousand grain mass (26.96 g). The highest bending rupture force(24.68 N) and head rice yield (81.36%) was obtained for the ratoon rice crop of the *Hashemi* variety and the lowest corresponding values (19.6 N and 73.41%, respectively) were recorded for the main rice crop of the *Alikazemi* variety ($P<0.01$). There was no significant difference in compressive grain rupture force between varieties or between the main and ratoon crops.

Keywords: Physical Properties, Ratoon Rice, Rice Milling, Rupture Force