نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۹، شماره ۱، بهار ۱۳۹۲، ص. ۴۹-۴۰

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 9, No. 1, Spring 2013, p. 40-49

تعیین برخی از خواص فیزیکی ارقام برنج‌های اصلاح شده ایرانی

رحمت اله اشتواد[۱]- داود کلانتری[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۷/۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۱/۳

چکیده

در این تحقیق مطالعه تجربی ضریب اصطکاک داخلی و درصد تخلخل چهار رقم از ارقام برنج‌های پرمحصول ایرانی به نام‌های نعمت، ندا، پژوهش و پردیس در چهار سطح رطوبتی ۸ ، ۱۱، ۱۵ و ۲۰ درصد مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که ضریب اصطکاک داخلی برنج‌های ارقام ذکر شده با افزایش رطوبت از ۸ تا رطوبت تعادل ۱±۱۱ درصد کاهش و پس از آن افزایش می‌یابد. مقدار زاویه اصطکاک داخلی در رطوبت تعادلی ۱±۱۱ درصد برای هر یک از ارقام نعمت، ندا، پژوهش و پردیس به ترتیب ۳۹/۳۰، ۳۷/۵۰، ۳۳/۹۵ و ۳۴/۳۸ درجه تعیین شد. با توجه به نتایج بدست آمده، مشاهده گردید که مشخصات بیوفیزیکی ظاهری ارقام نظیر طول دانه، قطر دانه، زبری نسبی سطح خارجی دانه، ریشک انتهایی دانه و موارد دیگر بر رابطه‌ی بین تنش برشی و تنش نرمال موثر است. همچنین میزان تخلخل رابطه مستقیم با نوع رقم و رطوبت دانه دارد. درصد تخلخل این ۴ رقم در رطوبت تعادلی به ترتیب ۷۰/۸ برای نعمت، ۶۳/۹ برای ندا و ۶۲/۷ و ۶۶/۵ برای ارقام پژوهش و پردیس به دست آمد. با توجه به نتایج به نظر می‌رسد تفاوت‌های ظاهری ارقام می‌تواند بر رابطه‌ی بین تنش برشی و تنش نرمال موثر باشد اما نوع واریته تاثیر محسوسی در تنش برشی اولیه ندارد.

واژه های کلیدی: برنج، ضریب اصطکاک داخلی، تخلخل، ارقام اصلاح شده، رطوبت

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) یکی از محصولات غذایی مهم در جهان بوده و پس از گندم دومین محصول غذایی پرمصرف در دنیا و غذای اصلی مردم آسیا محسوب می‌شود. میزان تولید سالانه برنج در دنیا از ۵۲۰ میلیون تن در سال ۱۹۹۰ میلادی به ۶۹۶ میلیون تن در سال ۲۰۱۰ رسیده است (Fao, 2012). طبق آمار موجود، سطح زیر کشت این محصول در ایران ۵۲۶ هزار هکتار و میزان تولید شلتوک نزدیک ۲/۲۸ میلیون تن می باشد (بی‌نام، ۱۳۹۰).

در ایران برنج یکی از محصولات استراتژیک جامعه بوده و طی دو دهه‌ی اخیر میزان مصرف سرانه برنج و الگوی مصرف و تغذیه مردم تغییر یافته و مصرف برنج به عنوان یکی از مواد اولیه اصلی و اساسی غذای روزانه وارد سبد خانوار شده است به طوری که مصرف سرانه برنج از ۱۵ تا ۲۰ کیلوگرم به ۳۸ تا ۴۰ کیلوگرم افزایش یافته است (زمانی و همکاران،۱۳۸۶). با توجه به رشد روزافزون تقاضای این محصول در کشور راهکارهایی برای افزایش عملکرد محصول با کشت ارقام پرمحصول، کشت راتون و نیز قدم‌هایی برای افزایش عملکرد تبدیل شالی با روی آوردن به سمت مکانیزاسیون برداشته شده است. در این میان بالا رفتن هزینه‌های تولید به خصوص هزینه-های کارگری که نزدیک ۴۷/۷ درصد کل هزینه‌های تولید برنج در کشور را به خود اختصاص می‌دهد، اهمیت حرکت به سمت مکانیزه شدن مراحل کاشت و داشت و برداشت و پس از برداشت را بیش از پیش نمایان می‌سازد (بی‌نام، ۱۳۹۰).

یکی از موارد مهم برای محصولات غله‌ای در طی مراحل برداشت، انتقال و انبارداری، دانستن مقدار نیروهای اصطکاکی مابین محصول و نیز بین محصول و سطوح درگیر می‌باشد. محصولات مختلف بر حسب خصوصیات فیزیکی آن‌ها بر سطح اجزای ماشین-آلات و یا ساختار اجزای ذخیره‌سازی، نیروهای اصطکاکی اعمال می-کنند. نیروهای اصطکاکی که دانه برنج در طی مراحل مختلف با آن درگیر است را می توان در طی عملیات برداشت مکانیزه (به عنوان نیروهای اثرگذار بر جابجایی محصول)، در کمباین‌های برداشت برنج، در فرآیند حمل و نقل (به عنوان نیروهای مابین دانه و سطوح نوارهای نقاله)، در فرآیند ذخیره‌سازی و انبارداری (به عنوان نیروهای

۱ و ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار گروه مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
(*- نویسنده مسئول: Email: dkalantari2000@yahoo.com)

Archive of SID
www.SID.ir

اصطکاکی وارد بر جداره‌های سیلوها و انبارهای نگهداری) و در فرآیند تبدیل (به عنوان نیروهای وارد بر نقاله‌های انتقال و نیز الگوهای تخلیه و بارگیری) مشاهده نمود.

در حرکت و انتقال مواد دانه‌ای و غلات، نیروی اصطکاک به عنوان نیروی مقاوم در برابر حرکت نسبی به سه صورت نیروهای اصطکاک استاتیکی، دینامیکی و نیروی اصطکاک داخلی ظاهر می شود (Chukwu *et al*., 2007).

زمانی که دانه‌های محصول نسبت به یکدیگر حرکت می‌کنند، در اثر تماس بین آن‌ها یک نیروی مقاوم مانع حرکت می‌شود که مقدار آن به وسیله زاویه اصطکاک داخلی یا ضریب اصطکاک داخلی بیان می‌شود.

یکی از موارد مهم برای محصولات غله‌ای در طی مراحل برداشت، انتقال و انبارداری، دانستن میزان تخلخل توده‌ی مواد می‌باشد. اهمیت دانستن تخلخل یک ماده در آنجاست که این عامل یکی از پارامترهایی است که طی مرحله خشک کردن دچار تغییر می‌شود (Kutz, 2007). تخلخل یکی از خصوصیات مهم در محاسبات مربوط به نرخ هوادهی، نرخ خنک شدن، نرخ خشک شدن و طراحی مبدل‌های حرارتی و دستگاه‌های بسته‌بندی می‌باشد (Davies *et al*., 2011).

در این میان باید توجه داشت که اثر درصد رطوبت بر خصوصیات فیزیکی و حرارتی برنج یکی از کلیدی‌ترین مفاهیم در شناخت شرایط خشک شدن می‌باشد. برخی از خصوصیات فیزیکی شلتوک (از جمله طول، عرض، ضخامت، حجم، چگالی) و خصوصیات حرارتی (مثل گرمای ویژه و ضریب هدایت حرارتی) به‌صورت تابعی خطی از درصد رطوبت به‌دست آمده است (Cnossen *et al*., 2001). از دیگر موارد اهمیت درصد محتوای رطوبتی، دانستن این مقدار در زمان برداشت می‌باشد که به‌صورت رطوبت زمان برداشت بیان می‌گردد. سیبنمورگن و همکاران (۲۰۰۸) در یک مطالعه ۵ ساله برای بررسی اقتصادی‌ترین حالت برداشت برنج در شرایط رطوبتی مختلف عنوان کرده‌اند که در رطوبت ۲۱/۷ درصد میزان ارزش خالص برنج به بالاترین حد خود می‌رسد (Siebenmorgen *et al*., 2008).

لو و همکاران (۱۹۹۵) در مطالعه‌ای که مربوط به بررسی اثر رطوبت برداشت بر روی بازگشت اقتصادی سرمایه داشته‌اند، با توجه به شرایط مختلف مزرعه بهترین حالت را در بازه‌ی رطوبتی بین۱۵ تا ۲۲ درصد عنوان کرده‌اند (Lu *et al*., 1995).

با تعیین درصد رطوبت نمونه برنج و دانستن بهترین شرایط رطوبتی مربوط به زمان برداشت، باید آزمایشات مختلف را در محتوای رطوبتی نزدیک به رطوبت زمان برداشت[1] تا محتوای رطوبت تعادلی[2] و رطوبت نهایی[3] پس از خشک‌کردن انجام داد.

لذا در این تحقیق سعی شده است اندازه گیری برخی از خصوصیات بیوفیزیکی[4] رقم از ارقام پرمحصول برنج ایرانی به نام‌های نعمت، ندا، پژوهش و پردیس شامل زاویه اصطکاک داخلی و تخلخل در رطوبت‌های مختلف از رطوبت زمان برداشت تا رطوبت نهایی (شلتوک خروجی از دستگاه خشک‌کن) مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

اندازه‌گیری زاویه اصطکاک داخلی

برنج‌های استفاده شده در این طرح از ارقام پرمحصول و اصلاح شده‌ی نعمت، ندا، پژوهش و پردیس بوده و به صورت شلتوک (برنج پوست نشده) از پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری کشاورزی طبرستان تهیه گردیدند (شکل ۱). برای اندازه‌گیری رطوبت از دستگاه رطوبت سنج دیجیتال (*GMK-303/303RS,Korea*) در مراحل مختلف آزمایش استفاده شد (شکل ۲). آزمایش انجام شده در ۴ سطح رطوبتی ۱±۸ ، ۱±۱۱، ۱±۱۵ و ۱±۲۰ درصد و بر مبنای وزن خشک دانه انجام شد (Zareiforoush *et al*., 2009). رطوبت اولیه شلتوک بر اساس رطوبت زمان برداشت ۱±۲۰ در صد در نظر گرفته شده و سایر سطوح رطوبتی به روش خشک‌کردن لایه نازک به دست آمد.

برای خشک‌کردن نمونه‌ها به روش بستر نازک از دستگاه آون آزمایشگاهی (Fan Azma Gostar, I.R.Iran) مجهز به سنسور PID Controller (Atbin Mega 600) با دقت ۰/۵ درجه سلسیوس استفاده شد. زمان و درجه حرارت خشک شدن در هر مرحله آزمایش با توجه به هدف مورد نظر مطالعاتی مختلف بوده است. نمونه‌هایی به وزن ۲۵۰ گرم درون ظرف‌های استوانه‌ای کوچک به آون انتقال پیدا کردند، طوری که ضخامت لایه دانه در هر ظرف معادل ۳ برابر عرض دانه برنج بود.

نمونه‌ها پس از خارج شدن از آون به مدت ۲ ساعت در هوای آزاد قرار داده شدند تا با سپری کردن حالت استراحت از ایجاد تنش‌های حرارتی در مراحل بعدی جلوگیری شود (Thakur *et al*., 2006). برای رسیدن به رطوبت بالاتر از روش رطوبت دهی مجدد[4] استفاده شد. بدین منظور با توجه به دانستن رطوبت اولیه میزان معینی از نظر وزنی، آب به نمونه‌ها بصورت افشانه‌ای اضافه گردید. سپس نمونه ها درون پاکت‌های دربسته پلاستیکی درون یخچال با دمای ۵ درجه به‌مدت یک هفته نگهداری شد تا رطوبت نمونه‌ها افزوده گردد سپس دو ساعت قبل از آزمایش نمونه‌ها در محیط قرار گرفته تا به حالت تعادل

1- Harvest Moisture Content, HMC
2- Equlibrium Moisture Content, EMC
3- Final Moisture Comtent, FMC
4- Rewetting

Archive of SID

www.SID.ir

برسـند و رطوبـت نهـایی توسـط رطوبـت سـنج کنتـرل گردیـد (Zareiforoush *et al*., 2009).

شکل ۱- تصویر تهیه شده توسط بینیکولر از چهار نمونه برنج مورد آزمایش

شکل ۲- دستگاه رطوبت‌سنج دیجیتالی برای اندازه‌گیری درصد رطوبت نمونه‌ها

برای اندازه‌گیری زاویه اصطکاک داخلی ϕ_i و یا ضریب اصطکاک داخلی μ_i که این نیرو در بین ذرات مواد دانه ای شکل مثل دانه‌های برنج به صورت یک نیروی مقاوم و اصطکاکی عمل مـی‌کنـد و مـانع حرکت ذرات نسبت به یکدیگر می‌شود، از یک دستگاه سـلول بـرش[1] استفاده شد (Mohsenin, 1986). سلول برش مورد استفاده در ایـن آزمایش از یک رینگ متحرک و یک استوانه ثابت پلی‌اتیلنی بـه قطـر ۲۵۰ میلی‌متر تشکیل شده است. یک لودسل الکترونیکی با دقت ۰/۲ نیوتن جهت اندازه گیری نیـروی برشـی بـه بـازوی رینـگ متحـرک متصل شده است (شکل ۳). صفحه دیجیتالی این دستگاه قادر به ثبت حداکثر نیرو می‌باشد.

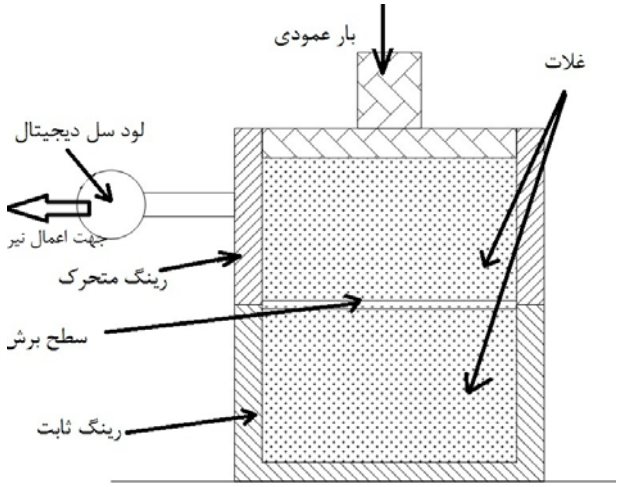
در این آزمایش نمونه‌های موردنظر برنج، هر یک به‌طور جداگانـه درون استوانه و رینگ قرار گرفته و بارهـای عمـودی F_n در ۵ سـطح مختلف با مقادیر صفر (بدون بار)، ۱۵، ۴۵، ۱۰۰ و ۱۵۰ نیوتنی بـه آن وارد گردید. به منظور پخش شدن یکنواخت بار بر سطح نمونه از یـک دیسک پلی‌اتیلنی با قطر کوچکتر از قطر داخلی رینگ استفاده شـده و بار عمودی روی آن قرار گرفت. حداکثر نیروی لازم برای بـه حرکـت در آوردن رینگ متحرک (F_t) در شرایط شبه استاتیکی (اعمال نیروی افقی آرام، پیوسته و تدریجی) توسط لودسل ثبت و ضبط گردید. قابل ذکر این که میزان نیروی اصطکاکی سطوح دیـواره اسـتوانه بـرش در شرایط بی‌باری در نتایج ذکـر شـده در مقالـه وارد شـده اسـت. بـدین منظور ابتدا نیروی لازم برای به حرکت در آوردن رینـگ متحـرک در شرایط بدون محصول (بدون اعمال بار عمودی) اندازه گیری و از داده های مربوط به بارهای عمودی کسر گردید.

1- Shear Cell

Archive of SID

www.SID.ir

الف



ب

شکل۳- الف) دستگاه سلول برش برای اندازه‌گیری زاویه اصطکاک داخلی و ب) شماتیک مقطع و اجزای آن

اندازه‌گیری تخلخل

برای محاسبه تخلخل توده برنج از دستگاه پیکنومتر دیجیتال با شیر برقی ساخته شده در گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری استفاده گردید. اساس کار این دستگاه بر مبنای محاسبه حجم توده مواد پر شده در یک ظرف استوانه‌ای شکل به حجم ۱ لیتر با استفاده از فشار هوای ۲ اتمسفر می‌باشد و به صورت اتوماتیک تمامی مراحل کار با فرمان دادن به شیرهای برقی صورت می‌پذیرد. روش کار و محاسبات مربوط به چنین دستگاهی با شیرهای مکانیکی توسط استروشین و هامان (۱۹۹۴) به نقل از دی[1] توضیح داده شده است. در تعدادی از کارهای انجام شده‌ی قبلی نیز استفاده از پیکنومتر گازی گزارش شده است (رضوی و همکاران، ۱۳۸۵؛ کاشانی نژاد و همکاران، ۱۳۸۷؛ Chukwu *et al*., 2007; Lu *et al*., 1995).

به منظور اطمینان از درستی داده‌های بدست آمده از این دستگاه، از استوانه‌ها و بلوک‌های توپر با حجم مشخص (با توجه به ابعاد آن) برای کالیبره کردن این پیکنومتر استفاده و در تکراهای مختلف، دقت دستگاه ۰/۰۵ درصد به‌دست آمد.

آزمایشات مربوط به تخلخل در ۴ سطح رطوبتی ۱± ۸ ، ۱± ۱۵، ۱±۲۰ و ۱± ۲۵ درصد و در ۳ تکرار انجام گردید. سپس داده‌های بدست آمده از این دو آزمایش به روش فاکتوریل و در قالب طرح کاملا تصادفی توسط نرم افزار SPSS 16 مورد مطالعه و آنالیز قرار گرفت.

نتایج و بحث

زاویه اصطکاک داخلی

رابطه بین تنش برشی و تنش عمودی در مواد جامد ایده‌آل در محدوده الاستیک بصورت یک خط مستقیم است که شیب این خط بیانگر ضریب اصطکاک داخلی بوده و بصورت زیر بیان می شود (رضوی و همکاران، ۱۳۸۵).

$$\tau = \sigma \tan\phi_i = \sigma\mu_i \qquad (۱)$$

در بعضی از مواد دانه‌ای شکل مانند غلات وقتی که تنش نرمال (σ) صفر باشد، تنش برشی τ دارای مقدار غیر صفر است. در این گونه مواد رابطه‌ی بین تنش‌های برشی و عمودی دارای یک تنش برشی اولیه (τ_0) بوده وبه صورت زیر تعریف می گردد (Mohsenin, 1986).

$$\tau = \tau_0 + \sigma \tan\phi_i \qquad (۲)$$

نکته قابل توجه اینکه رابطه فوق برای تنش های نرمال کوچک (کمتر از 2 N/Cm^2) صادق بوده و برای تنش های عمودی خیلی بزرگ غیر خطی می گردد (Mohsenin, 1986) که موضوع بحث مقاله حاضر نیست. اگر قطر داخلی استوانه و رینگ در دستگاه آزمایش D فرض شود، مساحت سطح مقطع عرضی A_j برابر $\pi D^2/4$ بوده و مقادیر تنش عمودی σ و تنش برشی τ نیز از روابط زیر بدست می آید.

$$\tau = \frac{F_t}{A_j} \qquad \sigma = \frac{F_n}{A_j} \qquad (۳)$$

در این مطالعه، نتایج حاصل از اندازه‌گیری تنش عمودی σ و تنش برشی τ برای چهار رقم برنج ایرانی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده های تجربی نشان داد که اثر رقم بر روی صفت تنش برشی و به تبعیت از آن زاویه اصطکاک داخلی

1- Day, 1964

Archive of SID

www.SID.ir

معنی‌دار نگردید لذا تنها به بررسی روند تغییرات در مراحل خشک شدن (کاهش رطوبت) پرداخته شده است.

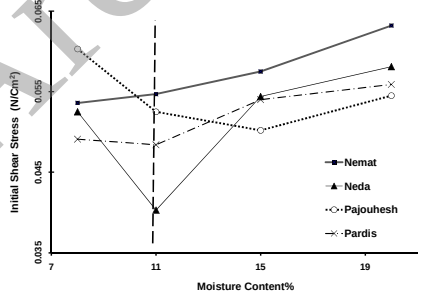
در شکل ۴ تغییرات تنش برشی اولیه (τ_0) نسبت به افزایش رطوبت محصول برای هر چهار رقم نعمت، ندا، پژوهش و پردیس نشان داده شده است. با توجه به نتایج نشان داده شده در این شکل، می‌توان به افزایش تنش برشی ثابت (τ_0) اشاره کرد که با بالا رفتن رطوبت افزایش می یابد. این بدین معنی است که هر چه رطوبت محصول بالاتر باشد، مقدار نیروی لازم جهت غلبه بر نیروی مقاوم در شروع حرکت افزایش می‌یابد. طبق نتایج بدست آمده، در اکثر موارد میزان τ_0 در رطوبت ۱۱ درصد کمترین مقدار را داراست. در نتیجه در این سطح از رطوبت دانه، کمترین میزان انرژی ثابت صرف غلبه بر نیروهای مقاوم می‌گردد. در تحقیقات قبلی نیز رطوبت ۱۱ درصد به عنوان رطوبت تعادل برنج در نظر گرفته شده است (رفیعی، ۱۳۸۵؛ Amiri Chayjan *et al*., 2008; ASAE, 1995; Bhattacharya *et al*., 1972).

رطوبت ۱۱ درصد بیانگر میزان رطوبت تعادلی محصول با محیط (EMC)، تحت شرایط رطوبت محیط ۴۵ درصد و دمای ۲۵ درجه است که کمترین میزان تبادل رطوبت میان دانه و محیط پیرامونی اتفاق می‌افتد.

با توجه به داده‌های بدست آمده از آزمایشات تجربی، نمودار تنش برشی- تنش نرمال برای ۴ رقم برنج مطالعه شده در شکل ۵ نشان داده شده است. بر طبق این نتایج، رابطه‌ی بین تنش برشی و تنش نرمال به صورت خطی مطابق با رابطه ۲ تغییر می‌یابد. نتیجه قابل-توجه در این تحقیق این است که تنش برشی مرتبط با رطوبت ۱۱ درصد کمتر از تنش برشی مرتبط با رطوبت ۸ درصد بدست آمده است (شکل ۵).

تاثیر رطوبت بر تغییر تنش برشی در بارهای ثابت عمودی در شکل ۶ نشان داده شده است. در این آزمایش در بار عمودی ثابت ۱۵ یا ۴۵ نیوتن، رطوبت نمونه ها از ۸ تا ۲۰ درصد تغییر یافته و تاثیر رطوبت بر روی تنش برشی لازم برای حرکت نمونه ها ثبت گردید. طبق نتایج بدست آمده، در بارهای کوچک (۱۵نیوتن) میزان تنش برشی با افزایش درصد رطوبت از ۸ تا ۱۱ درصد (منطقه ۱ رطوبتی) کاهش و سپس از ۱۱ تا ۲۰ درصد (منطقه۲ و ۳ رطوبتی) افزایش یافته است. ولی در اعمال بارهای عمودی بزرگتر (۴۵ نیوتن) سه منطقه رطوبتی مجزا قابل تفکیک است: ۱) منطقه زیر رطوبت تعادلی که در آن تنش برشی با افزایش رطوبت کاهش می‌یابد، ۲) منطقه رطوبت متوسط (۱۱ تا ۱۵ درصد) که در آن با افزایش رطوبت تنش برشی افزایش می‌یابد و ۳) منطقه رطوبت بالاتر از حد تعادل که در آن تنش برشی با افزایش رطوبت کاهش می‌یابد. علت کاهش تنش برشی در مقادیر بالای رطوبت را می‌توان به نرم شدن سطح خارجی برنج و افزایش خاصیت روانکاری نسبت داد.

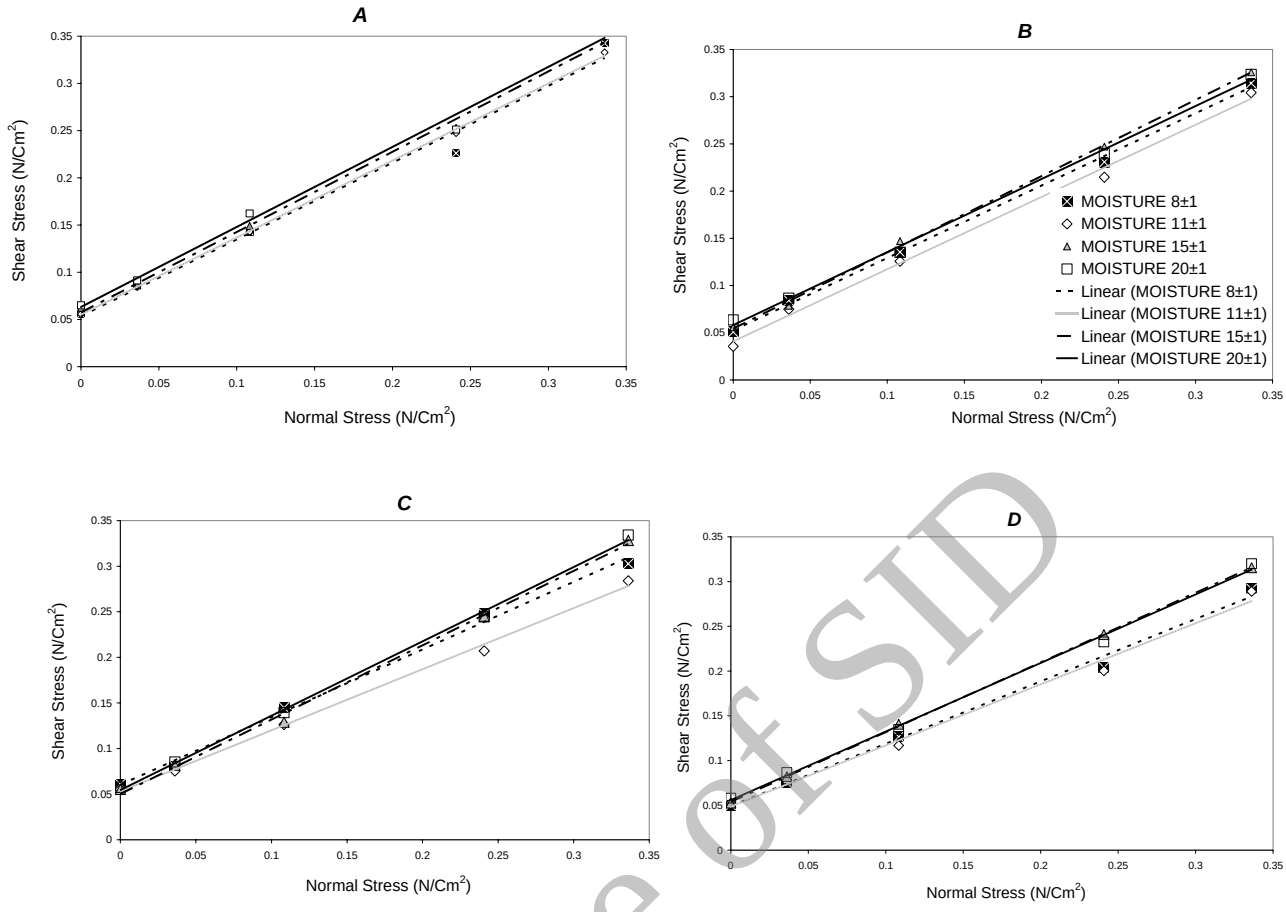
طبق نتایج نشان داده شده در شکل ۶، برای بارهای کوچک و در منطقه رطوبتی پایین تر از رطوبت تعادل با افزایش درصد رطوبت از ۸ تا ۱۱ درصد، میزان تنش برشی برنج پردیس برخلاف ۳ رقم دیگر افزایش یافته است. علت این تغییر ممکن است مرتبط با خصوصیت ظاهری دانه برنج پردیس نسبت به ۳ رقم دیگر باشد و آن وجود ریشک‌های کوچک در انتهای دانه برنج (شالی) است که دلیلی برای ممانعت حرکت دانه‌ها روی هم و افزایش ضریب اصطکاک و در نتیجه افزایش تنش برشی در بارهای کوچک می باشد. اما در بارهای عمودی بزرگتر، اثر وجود ریشک‌های انتهایی نسبت به ثاثیر اندازه بار قابل‌توجه نبوده و اثر ریشک ها خنثی می شود. به‌طورکلی کمترین تنش برشی در رطوبت ۱±۱۱ درصد مشاهده گردید.



شکل ٤- رابطه تنش برشی ثابت (τ_0) با رطوبت برای ٤ رقم برنج ایرانی: ■ نعمت، ▲ندا، ○پژوهش، × پردیس

Archive of SID

www.SID.ir



شکل۵- رابطه تنش عمودی-تنش برشی در چهار سطح رطوبتی ۸، ۱۱، ۱۵ و ۲۰ درصد برای چهار رقم برنج ایرانی: A نعمت، B ندا، C پژوهش، D پردیس

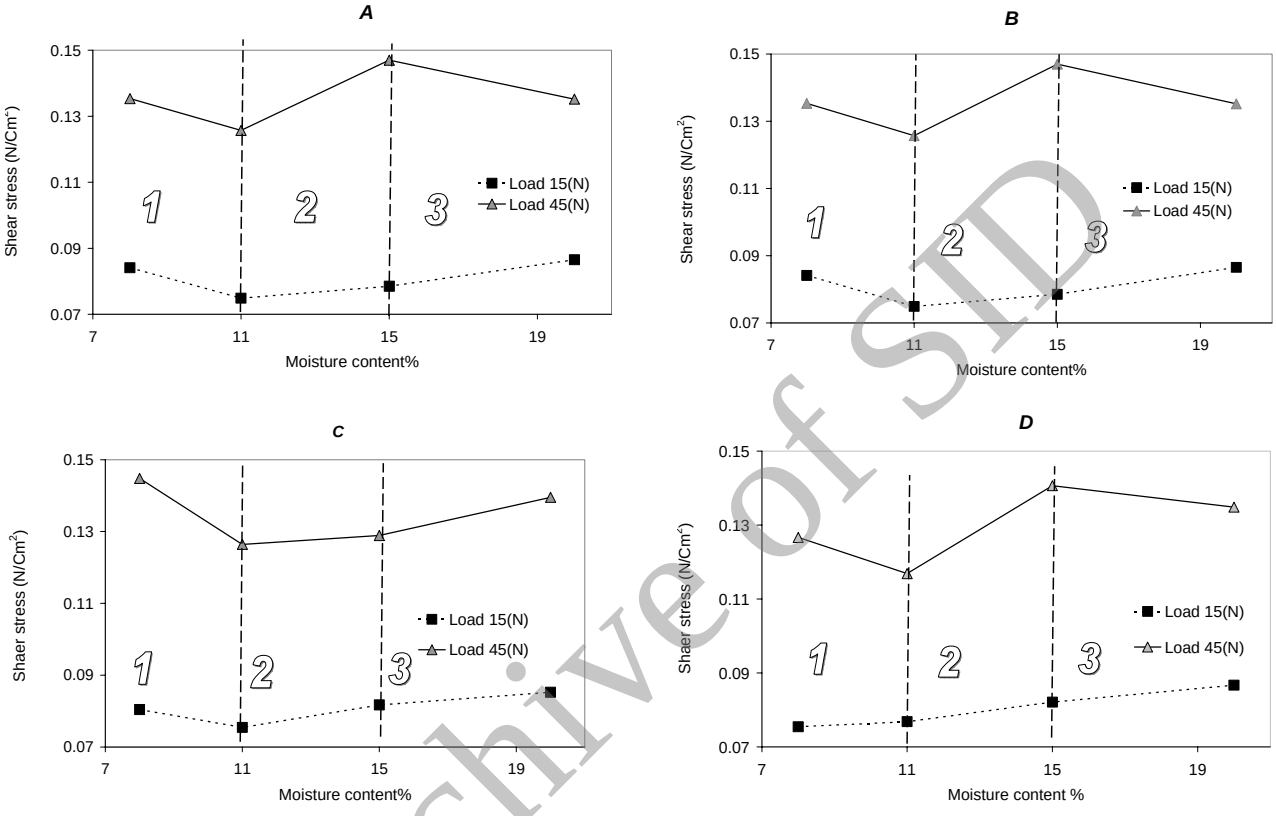
با توجه به نتایج به دست آمده ، رابطه بین زاویه اصطکاک داخلی با درصد رطوبت در شکل ۷ نشان داده شده است. با توجه به داده‌های به دست آمده می‌توان برای برنج‌های دانه بلند نعمت و ندا عنوان کرد که با افزایش رطوبت (در منطقه ۱ و ۲ رطوبتی) زاویه اصطکاک داخلی نیز افزایش می‌یابد (به طور مثال برای برنج نعمت مقدار زاویه اصطکاک داخلی از رطوبت ۸ تا ۱۱ درصد از ۳۹/۱۱ به۳۹/۳۰ درجه و در سطح رطوبتی ۱۵ درصد به میزان ۴۰/۳۹ درجه رسیده است). این نتیجه با نتایج بدست آمده توسط سایر محققین نیز مطابقت دارد. بطور مثال زاویه اصطکاک داخلی دانه گندم با افزایش رطوبت از ۱۱ به ۱۷/۱ درصد از ۲۴/۵ به ۲۷/۳ افزایش یافته است (رضوی و همکاران، ۱۳۸۵). این مقادیر رطوبتی تقریبا در ناحیه ۲ شکل ۶ قرار دارد که در این ناحیه با افزایش رطوبت مقدار زاویه اصطکاک داخلی افزایش می یابد.

سپس در منطقه ۳ با افزایش رطوبت به طور محسوسی از مقدار زاویه اصطکاک داخلی کاسته می‌شود (به طور مثال برای برنج نعمت از ۴۰/۳۹ در رطوبت ۱۵ درصد به ۴۰/۲۸ درجه در رطوبت ۲۰ درصد تقلیل یافته است). این امر می‌تواند در اثر روانکاری و لغزش دانه‌های برنج روی یکدیگر با افزایش بیش از حد رطوبت باشد. همچنین در رطوبت‌های بالاتر به علت نرم‌شدن بیشتر پرزها، اثر پرزهای موجود در سطح پوسته برنج کمترشده و با کاهش نیروی هم‌چسبی موجبات کاهش زاویه اصطکاک داخلی می‌گردد. نمودار رسم‌شده مربوط به برنج ندا نیز وضعیت مشابه برنج نعمت را نشان می‌دهد. با توجه به شباهت‌های زیاد در خواص فیزیکی و مورفولوژیکی دو رقم برنج نعمت و ندا، در مجموع می‌توان علت کاهش کلی زاویه اصطکاک داخلی برای برنج ندا نسبت به برنج نعمت را به سطح صاف و صیقلی-تر پوسته آن نسبت داد. در ادامه، بررسی مربوط به نمودار زاویه اصطکاک داخلی- درصد رطوبت برای برنج‌های پژوهش و پردیس یک تفاوت کلی نسبت به ارقام نعمت و ندا مشاهده شد (شکل ۷) و آن اینکه در منطقه ۱ رطوبتی زاویه اصطکاک داخلی با شیب زیادی کاهش یافته و سپس در منطقه ۲ رطوبتی با شیب بسیار زیاد افزایش

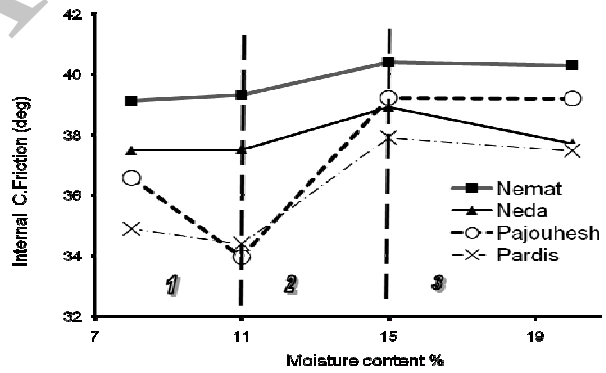
Archive of SID

www.SID.ir

می‌یابد و پس از آن در منطقه ۳ رطوبتی سیر تقریبا یکنواختی را دارد. دلیل عمده‌ی این تغییرات در ارقام پژوهش و پردیس ممکن است مرتبط به طول کوتاه تر و ضخامت کمترآنها نسبت به ارقام نعمت و ندا باشد. از طرف دیگر نحوه‌ی تغییرات زاویه اصطکاک داخلی ϕ_i برای برنج پردیس همانند رقم پژوهش می‌باشد، اما مقدار عددی آن از نمونه‌های قبلی کمتر است که کوتاه‌تر بودن طول دانه‌های این نمونه را می‌توان از دلایل اصلی در کوچکتر بودن زاویه اصطکاک داخلی دانست. چرا که هرچه طول و ضخامت دانه بیشتر باشد سطح موثر بیشتری از یک دانه در تماس با دانه‌های مجاور قرار خواهد داشت که منجر به افزایش نیروی لازم برای غلبه بر نیروی اصطکاک داخلی می‌گردد.



شکل ٦- اثر رطوبت بر میزان تنش برشی در دو سطح مختلف بار عمودی ■ ۱۵ نیوتن و ◆ نیوتن برای ٤ رقم برنج: A نعمت، B ندا، C پژوهش، D پردیس



شکل۷- رابطه میزان رطوبت و زاویه اصطکاک داخلی برای چهار رقم برنج ایرانی: ■ نعمت، ▲ندا، ○پژوهش، × پردیس

Archive of SID

www.SID.ir

شیب تغییرات بدست آمده از شکل‌های ۵ و ۷ با نتایج گزارش شده توسط چاکراورتی در سال ۱۹۷۲ که برای چندین رقم از غلات انجام داده است مطابقت دارد. وی در نتایج خود عنوان کرده است که مقدار زاویه اصطکاک داخلی به شکل دانه، خصوصیات سطحی و رطوبت آن بستگی دارد (Chakraverty, 1972).

تخلخل

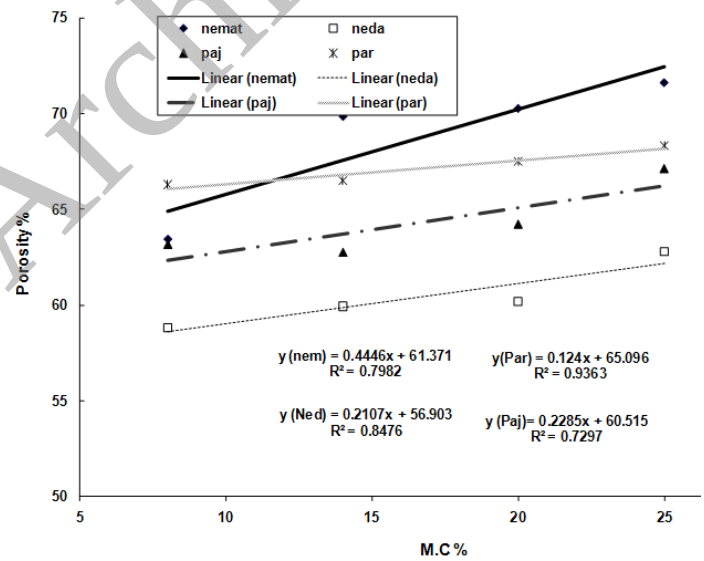
میزان تخلخل به دست آمده برای این ۴ رقم برنج در شکل ۸ نشان است. همان‌طور که از این شکل ملاحظه می گردد، با افزایش رطوبت بر میزان تخلخل افزوده می شود. اختلاف در مقدار درصد تخلخل رقم های مختلف به سایزدانه‌ها و نحوی دانه بندی شبکه توده برنج در کنارهم بستگی دارد، به همین علت می توان بالاتر بودن درصد تخلخل برنج نعمت نسبت به برنج ندا را در بزرگتر بودن نسبت L / D (طول به ضخامت) دانه آن توجیه کرد. نسبت طول به ضخامت این ۴ رقم برنج با نمونه‌گیری از ۳۰ عدد دانه و اندازه‌گیری با کولیس دیجیتال (*WORKZONE, Model: DMV-slo5*) و با دقت ۰/۰۱ درصد (میلیمتر) در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- نسبت طول به ضخامت ٤ رقم برنج بر حسب میلی‌متر

	رقم			
	نعمت	ندا	پژوهش	پردیس
طول دانه شلتوک (L)	۱۱/۷۲۶	۱۰/۵۵۸	۱۰/۳۴۳	۹/۷۹۶
عرض دانه شلتوک (D)	۲/۰۳۳	۲/۰۸۵	۱/۹۴۱	۱/۸۵۸
نسبت طول به عرض (L/D)	۵/۷۶۶	۵/۰۶۲	۵/۳۲۷	۵/۲۷۲

نکته قابل توجه اینکه، مقدار عددی تخلخل اندازه‌گیری شده در این آزمایش نسبت به مقادیر گزارش شده قبلی، عدد بزرگتری را نشان می‌دهد. باتاچاریا و همکاران (۱۹۷۲) تخلخل را برای برنج سفید در محدوده ۴۱ تا ۴۶ درصد و برای شلتوک ۴۶ تا ۵۴ درصد بدست آورده است (Bhattacharya *et al.*, 1972). کاشانی‌نژاد و همکاران (۱۳۸۷) برای رقم ندا گستره‌ای نزولی بین ۵۱/۶ تا ۴۲/۷ درصد را نسبت به افزایش درجه خشک کردن گزارش کرده‌اند؛ در صورتی که طبق داده‌های به دست آمده از این آزمایش تغییرات تخلخل نسبت به افزایش رطوبت برای رقم ندا از ۵۸ تا ۶۲ درصد و برای رقم نعمت از ۶۳ تا ۷۱ درصد متغیر است. دلیل اصلی این افزایش عددی ممکن است به ماده مورد استفاده در پیکنومتر مرتبط باشد. از آنجاییکه در آزمایشات و گزارش‌های قبلی از مایع تولوئن به‌جای هوا استفاده شده و این مایع به دلیل دارا بودن کشش سطحی نمی‌تواند به راحتی به داخل خلل و فرج توده برنج نفوذ کند، لذا همواره مقدار تخلخل توده را کمتر از مقدار واقعی نشان می‌دهد. از طرف دیگر پیکنومترهایی که از سیال هوا یا نیتروژن استفاده می‌کنند، به دلیل عدم وجود کشش سطحی در گازها و در نتیجه نفوذ کافی به تمام خلل و فرج نمونه قادر به تعیین دقیق‌تر تخلخل می‌باشند (Stroshine *et al.*, 1994).

این نتایج با گزارشات یالچین و اوزارسلان (۲۰۰۴) برای ماش، آلسونتاش و ییلدیز (۲۰۰۷) برای باقلا، گرانایاک و همکاران (۲۰۰۸) برای دانه روغنی جاتروفا و نیز نتایج پرادان و همکاران (۲۰۰۸) برای دانه روغنی کارانجا سازگاری داشته و روند افزایشی تخلخل در رطوبت‌های بالاتر را تایید می‌کند (Zareiforoush *et al.*, 2009).



شکل ۸- درصد رطوبت- تخلخل ٤ رقم برنج نعمت، ندا، پژوهش و پردیس

Archive of SID

www.SID.ir

زارعی فروش و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از مایع تولوئن (C_7H_8) و اندازه گیری چگالی ظاهری و چگالی جسم جامد در رطوبت‌های بین ۸ تا ۲۱ درصد، اقدام به اندازه گیری درصد تخلخل برنج های ارقام هاشمی و علی کاظمی نمودند. طبق نتایج گزارش شده توسط ایشان تخلخل برنج نمونه های گزارش شده با افزایش رطوبت کاهش می‌یابد (Zareiforoush *et al*., 2009). این نتیجه با اندازه گیری‌ها و مشاهدات بدست آمده در این مطالعه و گزارشات کاشانی‌نژاد و همکاران (۱۳۸۷)، باتاچاریا و همکاران (۱۹۷۲) و رضوی و اکبری (۱۳۸۵) تناقض دارد (شکل ۸). به نظر می‌رسد که با افزایش رطوبت، دانه حجیم تر شده و از طرف دیگر پوسته شلتوک از دانه برنج فاصله بیشتری می‌گیرد، لذا از نظر فیزیکی تخلخل بایدافزایش یابد.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج بدست آمده در مطالعه حاضر، رطوبت یکی از عوامل موثر بر میزان زاویه اصطکاک داخلی در برنج می‌باشد. به‌طور-کلی میزان زاویه اصطکاک داخلی در رطوبت تعادلی در کمترین مقدار خود قرار دارد و با کاهش یا افزایش رطوبت، بر مقدار آن افزوده می‌گردد، نکته مهمی که می تواند در طراحی دستگاه های فرآوری این محصول مورد توجه قرار گیرد. بطوری‌که با توجه به کمینه بودن این نیرو در رطوبت تعادلی، توصیه می‌شود در صورت امکان اجرای پروسه‌های انتقال و جابجایی در این محدوده رطوبتی صورت پذیرد. اثر افزایش رطوبت بر تغییرات این زاویه چشمگیرتر از اثر کاهش رطوبت می‌باشد. مقدار زاویه اصطکاک داخلی در رطوبت تعادلی ۱۱ درصد برای هر یک از ارقام نعمت، ندا، پژوهش و پردیس به ترتیب ۳۹/۳۰، ۳۷/۵۰، ۳۳/۹۵ و ۳۴/۳۸ درجه به‌دست‌آمد.

در مورد تخلخل دانه می توان رطوبت را یک عامل تاثیر گذار در تغییر آن دانست به طوری که کاهش رطوبت در مرحله خشک کردن موجب کاهش تخلخل در توده برنج می‌گردد. در بین چهار رقم برنج مورد آزمایش، رقم ندا دارای کمترین میزان تخلخل است. این رقم دارای کمترین نسبت L / D (طول به ضخامت) در بین چهار رقم برنج مورد آزمایش می باشد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از آقای محمد برزگر دانشجوی مقطع کارشناسی رشته مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری جهت ساخت و در اختیار قرار دادن دستگاه پیکنومتر دیجیتالی، تشکر و قدردانی می‌شود. همچنین از مدیریت پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری کشاورزی طبرستان بخاطر همکاری و در اختیار گذاشتن نمونه‌های مورد نیاز برنج تقدیر و تشکر می‌گردد.

منابع

بی نام، ۱۳۹۰،آمارنامه کشاورزی محصولات زراعی سال زراعی۸۹-۱۳۸۸، وزارت جهاد کشاورزی.

رضوی، م. ع.، اکبری ر.، ۱۳۸۵، خواص بیوفیزیکی محصولات کشاورزی و مواد غذایی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، صفحه ۹۹-۱۰۲

رفیعی، ش.، ۱۳۸۵، اصلاح رطوبت تعادلی شلتوک برنج (سپیدرود) برای شبیه سازی خشک کردن توده بستر نازک، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۰ (۳)، ۱۷۵-۱۸۲.

زمانی، ق.، علیزاده، م.، ۱۳۸۶، خصوصیات و فرآوری ارقام مختلف برنج ایران، انتشارات پلک، ۲۰۸ صفحه.

کاشانی نژاد، م، چاپرا، د.، رفیعی، ش.، ۱۳۸۷، بررسی جذب رطوبت و تغییرات خواص فیزیکی ارقام برنج در فرآیند خیساندن، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد پانزدهم، شماره دوم، ۱۴ صفحه.

Amiri Chayjan, R., Moazez, Y., 2008, Estimation of paddy equilibrium moisture adsorption using ANNs, Journal of Applied Sciences, 8(2), 346-351.

ASAE, 1995, Standards D254.4, Moisture Relationships of Grains, 33rd ed., St. Joseph, MI.

ASAE, 1999, Standards D245.5, Moisture Relationship of Plant-based Agricultural Products, St. Joseph, MI.

Bhattacharya, K. R., Sowbhagya, C. M., Indudhara Swamy, Y. M., 1972, Some physical properties of paddy and rice and their interrelations, Journal of the Science of Food and Agriculture, 23, 171-186.

Chakraverty, A., 1972, Post-Harvest Technology of Cereals.Co. Pvt,LTD,New Delhi,Bombay,Calcutta , pp: 360.

Chukwu, O., Akande F. B., 2007, Development of an Apparatus for Measuring Angle of Repose of Granular Materials, Assumption University Journal of Technology, 11(1), 62-66.

Cnossen, A. G., Siebenmorgen, T. J, Yang, W., Bautista, C., 2001, An application of glass transition temperature to explain rice kernel fissure occurrence during the drying process, Drying Technology,

Archive of SID

www.SID.ir

VOL.19(8):1661-1682.

Davies, R. M., Zibokere, D. S., 2011, Effect of Moisture Content on Some Physical and Mechanical operties of Three Varieties of Cowpea, Agricultural Engineering International: CIGR Journal, Manuscript No.1700. Vol. 13, No.1, 1-16.

FAO, 2012, Food and Agricultural Organization of the United Nations, FAO Statistical Database, Available from http://faostat.fao.org.

Kutz, M., 2007, Handbook of Farm, Dairy, and Food Machinery, William Andrew Publishing, NY U.S.A., pp: 768.

Lu, R., Sibenmorgen, T. J., Costello, T. A., Fryar Jr E. O., 1995, Effect of rice moisture content at harvest on economic return. Transactions of the ASAE. VOL. II(5):685-690.

Mohsenin, N. N., 1986, Physical properties of Plant and Animal Materials.2nd edit. Gordon and Breach Science Publishers, New York, pp: 750.

Siebenmorgen, T. J., Cooper, N. T., Bautista, R. C., Counce, P. A., Wailes, E., Watkins, K. B., 2008, Estimating the economic value of rice (oryza sativa l.) As a function of harvest moisture content, Transactions of the ASABE, Vol. 24(3): 359-369.

Stroshine, R., Hamann, D., 1994, Physical Properties of Agricultural Materials and food Products, Purdue University, West Lafayette, Indian. Course manual.

Thakur, A. K., Gupta, A. K., 2006, Two stage drying of high moisture paddy with intervening rest period, Energy Conversion and Management 47, 3069–3083.

Zareiforoush, H., Komarizadeh, M. H., Alizadeh, M. R., 2009, Effect of moisture content on some physical properties of paddy grains, Journal of Applied Science & Engineering Technology, 1(3): 132-139.

Archive of SID

www.SID.ir