تحقیقات مهندسی صنایع غذایی/جلد ۱۷/ شماره ٦٤/بهار و تابستان ۱۳۹۷/ص ۸۰-۷۱

اثر مقدار رطوبت بر برخی خواص فیزیکی دو رقم برنج دم‌سیاه و رضاجو

ام‌البنین عسگری تپه[۱]، سارا موحد*[۲] و حسین احمدی چناربن[۳]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، واحد ورامین - پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران
۲- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد ورامین- پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران
۳- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد ورامین - پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران
تاریخ دریافت:۱۳۹۶/۱۲/۷ ؛ تاریخ پذیرش:۱۳۹۷/۶/۲۳

چکیده

تعیین خواص فیزیکی محصولات کشاورزی به‌منظور تحلیل رفتار آنها در هنگام فرآوری از قبیل جابه‌جایی، پوست‌کنی، تمیز کردن، جداسازی، خشک‌کردن، و ذخیره‌سازی ضروری است. طراحی این دستگاه‌ها و ماشین‌های کاشت، داشت، و برداشت بدون توجه به خواص فیزیکی محصولات کشاورزی نتایج مطلوب به‌دست نخواهد داد. در این تحقیق، تأثیر مقدار رطوبت دانه (۱۰، ١٤ و ۱۸ درصد) و نوع رقم، بر خواص فیزیکی دو رقم دانه برنج به نام‌های رضاجو و دم‌سیاه بررسی شده‌است. به‌منظور تجزیه‌وتحلیل داده‌ها، از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده شد و میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال ۱٪ =α مقایسه شدند. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که با افزایش رطوبت، غیر از ضریب کرویت، سایر خواص فیزیکی مانند طول، عرض، ضخامت، قطر هندسی، قطر حسابی، سطح، و حجم و نیز خواص ثقلی مانند چگالی ظاهری، چگالی واقعی، تخلخل، و وزن هزار دانه افزایش می‌یابد درحالی که رقم تأثیر معنی‌داری بر خواص مذکور ندارد.

واژه‌های کلیدی

خواص ثقلی، خواص هندسی، شلتوک

مقدمه

برنج گیاهی یکساله از خانواده گرامینه[۱] با نام علمی *اوریزا ساتیوا*[۲] و دارای ارقام مختلف است. برنج در ایران بیشتر در استان‌های شمالی کشور کشت می‌شود و بعد از گندم مهم‌ترین منبع تأمین‌کننده مواد غذایی است و به‌صورت دانه برنج کامل مصرف می‌شود. باوجود آنکه مقدار پروتئین برنج کمتر از مقدار پروتئین گندم است اما کیفیت تغذیه‌ای پروتئین موجود در برنج بیشتر است تا در گندم و ارزش بیولوژیکی آن نیز بالاتر است. شلتوک به برنجی گفته می‌شود که پوسته خارجی[۳] آن گرفته نشده باشد. برنج سبوس‌دار (برنج قهوه‌ای) برنجی است که پوسته خارجی آن گرفته‌شده و لایه سبوس به آندوسپرم آن چسبیده باشد (Movahhed, 2011). بر اساس آمارهای رسمی منتشرشده در سازمان خواربار و کشاورزی جهانی در سال ۲۰۱۷، سطح زیر کشت برنج در جهان ۱۶۰ میلیون هکتار بوده است؛ هندوستان با بیش از ۴۲ میلیون هکتار بیشترین سطح زیر کشت را داشته است و پس‌از آن چین با بیش از ۲۹ میلیون هکتار در رتبه دوم است. این دو کشور مجموعاً ۴۴/۳۷ درصد و ایران با حدود ۶۸۰ هزار هکتار شالیزار، سهمی معادل ۰/۴۲ درصد از سطح زیر کشت شلتوک جهان را داراست. تولید سالانه شلتوک در ایران، ۳/۱۶ میلیون تن بوده‌است که با ضریب تبدیل ۶۴ درصد حدود ۲/۱ میلیون تن برنج سفید تولید می‌شود (FAO, 2017). ضایعات برنج در عملیات کاشت تا برداشت

* نگارنده مسئول: movahed@iauvaramin.ac.ir

http://doi: 10.22092/fooder.2018.120895.1109
1-Gramminae 2- *Oryza sativa* 3- Hull

و در مرحله تبدیل شلتوک به برنج سفید به وجود می‌آید و می‌تواند مستقیماً ناشی از عملیات تبدیل و یا به‌طور غیرمستقیم در اثر مدیریت زراعی نادرست باشد. تلاش برای کاهش ضایعات محصولات کشاورزی از تلاش برای افزایش تولید آنها مهم‌تر و کم‌هزینه‌تر است. نخستین گام برای رویارویی و کنترل ضایعات، شناخت ابعاد مختلف ضایعات است که عبارت از عوامل تأثیرگذار بر ضایعات، محل، و نحوه بروز ضایعات، نوع و طبیعت ضایعات، و میزان آنهاست که در این مورد باید تحقیقات و بررسی‌های تخصصی دنبال و نتایج آن تجزیه‌وتحلیل علمی شود تا بتوان مشکلات را با بهره‌گیری از اطلاعات واقعی، صحیح، و دقیق شناخت و برای کنترل آنها برنامه‌ریزی کرد (Movahhed, 2017; Khazaei *et al.*, 2007). فرآوری محصولات کشاورزی شامل عملیاتی است به‌منظور حفظ یا بهبود کیفیت این محصولات. در این راستا تعیین خواص فیزیکی محصولات کشاورزی به‌منظور طراحی ماشین‌های کاشت، داشت، برداشت و همچنین تحلیل رفتار آنها در هنگام فرآوری از قبیل جابه‌جایی، پوست‌کنی، تمیز کردن، جداسازی، خشک‌کردن، و ذخیره‌سازی ضروری است. طراحی دستگاه‌های گفته شده بدون توجه به این ویژگی‌های فیزیکی با نتایج ضعیفی همراه خواهد بود. مهم‌ترین خواص ابعادی وابسته به رطوبت مواد بیولوژیک ابعاد، حجم، قطر هندسی، و کرویت هستند (Mohsenin, 1986). به‌منظور طراحی تجهیزات حمل‌ونقل، بسته‌بندی، و انبارداری، بررسی خواص ثقلی به‌عنوان تابعی از عوامل مختلف ازجمله رطوبت و رقم ضروری است. آگاهی از چگالی توده و تخلخل مواد، برای طراحی خشک‌کن‌ها و سیلوها بیشترین کاربرد را دارد. چگالی توده پارامتری اصلی برای استفاده در تئوری پیش‌بینی بارهای وارد بر ماده هنگام انبارداری است (Ghasemi Varnamkhasti *et al.*, 2008). گوپتا و داس (Gupta & Das, 1997) برخی خواص فیزیکی تخم آفتابگردان را در محدوده رطوبتی ۴ تا ۲۰ درصد تعیین کردند و دریافتند که طول تخم آفتابگردان رابطه معنی‌داری با عرض و ضخامت آن دارد، در حالی که ارتباط آن با جرم دانه معنی‌دار نیست. نتایج بررسی‌های آنها نشان داده است که با افزایش رطوبت از ۴ تا ۲۰ درصد، چگالی حقیقی، تخلخل، ضریب اصطکاک استاتیکی، و سرعت حد افزایش و چگالی توده کاهش می‌یابد. آمین و همکاران (Amin *et al.*, 2003) اثر سطوح مختلف رطوبت را بر خواص فیزیکی دانه عدس از قبیل ابعاد، چگالی حقیقی و ظاهری، تخلخل، خواص اصطکاکی، و زاویه پایداری بررسی کردند و به این نتیجه دست یافتند که ابعاد و زاویه پایداری با افزایش رطوبت،افزایش اما چگالی حقیقی و چگالی ظاهری کاهش می‌یابند. اریکا و همکاران(Erica *et al.*, 2004) با اندازه‌گیری ابعاد دانه گلرنگ در سه سطح رطوبتی مختلف دریافتند که حجم، ضریب انبساط حجمی، میانگین هندسی قطرها، و کرویت با افزایش رطوبت رابطه خطی دارند. این محققان همچنین گزارش دادند که با افزایش رطوبت، چگالی حقیقی دانه گلرنگ به‌صورت غیرخطی و تخلخل به‌صورت خطی افزایش در حالی که چگالی توده به‌صورت خطی کاهش می‌یابد. ردی و چاکراورتی (Reddy & Chakravertty, 2004) برخی از خصوصیات فیزیکی دانه‌های شلتوک را در سطوح رطوبتی ۷/۱۹ تا ۲۸/۲۸ درصد بر پایه خشک بررسی و اعلام کردند که وزن هزار دانه، چگالی ظاهری، و زاویه شیب طبیعی با افزایش رطوبت محصول افزایش اما چگالی واقعی و تخلخل کاهش می‌یابد. طی تحقیقی، خواص فیزیکی دانه برنج شامل ابعاد، چگالی ظاهری، چگالی حقیقی، و تخلخل در شلتوک، برنج قهوه‌ای، و برنج سفید در رطوبت ۱۲ درصد بر پایه تر اندازه‌گیری شدند. نتایج بررسی‌ها کاهش چگالی ظاهری دانه را از حالت شلتوک به برنج سفید نشان داده‌است (Correa *et al.*, 2007). عسکری اصلی ارده و همکاران (Askari Asli–Ardeh *et al.*, 2011) تأثیر مقدار رطوبت را بر برخی از

خواص فیزیکی دو رقم شلتوک (سپیدرود و بینام) بررسی کرده اند. این خواص شامل طول، عرض، ضخامت، قطر هندسی، قطر حسابی، ضریب کرویت، سطح و حجم دانه، وزن هزار دانه، چگالی ظاهری، حجم، و چگالی حقیقی در چهار سطح رطوبتی ۱۰، ۱۴، ۱۸ و ۲۲ درصد بودند. نتایج بررسی‌ها نشان داده است که ابعاد اصلی، قطر هندسی، قطر حسابی، سطح، و حجم دانه‌ها و وزن هزار دانه، چگالی ظاهری و چگالی واقعی با افزایش مقدار رطوبت محصول به‌طور معنی‌داری افزایش اما حجم واقعی کاهش یافته است. اثر مقدار رطوبت دانه بر ضریب کرویت معنی‌دار نبوده‌است. خیر علی پور و همکاران (Kheiralipour *et al.*, 2008) خواص فیزیکی گندم رقم شیراز را در محدوده ۸ تا ۱۸ درصد رطوبت بررسی و اعلام کردند با افزایش رطوبت دانه، ویژگی‌هایی مانند درصد تخلخل، وزن هزار دانه، و مساحت سطح افزایش اما کرویت، چگالی ظاهری، و چگالی واقعی کاهش می‌یابد. در تحقیق حاضر تأثیر مقدار رطوبت در سطوح ۱۰، ۱۴ و ۱۸ درصد بر برخی خواص فیزیکی شلتوک دو رقم برنج دم‌سیاه و رضاجو بررسی قرار شده است.

مواد و روش‌ها

دانه‌های شلتوک رضاجو و دم‌سیاه از موسسه تحقیقات برنج کشور، واقع در استان گیلان تهیه گردید. برای آزمون‌های فیزیکی، ابتدا دانه‌ها به‌طور دستی تمیز شدند و پس از جداسازی مواد خارجی، دانه‌های شکسته، و صدمه‌دیده، مقدار رطوبت اولیه آنها تعیین گردید (Anonymous, 2010). آزمون‌های فیزیکی در سه سطح رطوبتی ۱۰، ۱۴ و ۱۸ درصد بر پایه‌تر اجرا شده‌اند و برای رساندن دانه‌های شلتوک به مقادیر رطوبتی موردنظر، از آب مقطر استفاده شده‌است. بدین‌صورت که ابتدا با استفاده از روابط ۱ و ۲، میزان آب مقطر موردنیاز برای تأمین رطوبت دانه‌ها محاسبه و این مقادیر آب به دانه‌های شلتوک اضافه شد. دانه‌ها پس از مخلوط شدن با آب مقطر، در کیسه‌های پلاستیکی ریخته و به مدت دو روز در یخچال و در دمای ۱۰ درجه سلسیوس نگهداری شدند تا دانه‌های شلتوک آب مقطر را جذب کنند و به‌اصطلاح آماده شوند و به سطح رطوبتی موردنظر برسند (Movahhed *et al.*, 2015; Reddy & Chakravertty, 2004).

$$w_i\left[1-\left(\frac{m_i}{100}\right)\right]=w_f\left[1-\left(\frac{m_f}{100}\right)\right] \quad (۱)$$

$$W_i - W_f = W_w \quad (۲)$$

که در آنها: W_i= وزن نمونه با رطوبت اولیه (g)، W_f= وزن نمونه با رطوبت نهایی (g)، W_w= وزن آب مقطر اضافه‌شده (g)، m_i = درصد رطوبت اولیه نمونه بر مبنای تر (w.b)، m_f= درصد رطوبت ثانویه نمونه بر مبنای تر (w.b).

آزمون‌های فیزیکی

آزمون‌های هندسی

آزمون‌های هندسی شامل تعیین ابعاد، قطر هندسی، قطر حسابی، ضریب کرویت، سطح، و حجم بودند. برای تعیین ابعاد دانه، ۵۰ دانه شلتوک سالم از هر دو رقم و در سه سطح رطوبتی موردمطالعه به‌طور تصادفی انتخاب شدند. ابعاد آنها یعنی طول (L)، عرض (W)، و ضخامت (t) دانه‌ها با کولیس دیجیتالی و با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر تعیین شد. قطر هندسی (D_g)، قطر حسابی (D_a)، و ضریب کرویت (ϕ) شلتوک‌های سالم طبق رابطه‌های ۳ تا ۵ محاسبه شدند (Mohsenin, 1986).

$$D_g = (L \times W \times t)^{1/3} \quad (۳)$$

$$D_a = (L + W + t)/3 \quad (۴)$$

$$\varphi = (t \times W \times L)^{\frac{1}{3}}/L \quad (۵)$$

سطح (S) و حجم (V) دانه‌ها نیز با استفاده از رابطه‌های ۶ تا ۸ محاسبه شدند.

$$S = (B \times \pi \times L^2)/(2L - B) \quad (۶)$$

$$B = (W \times t)^{1/2} \quad (۷)$$

$$V = 0.25\left[\left(\frac{\pi}{6}\right) \times L \times (W + t)^2\right] \quad (۸)$$

آزمون‌های ثقلی

این آزمون‌ها شامل چگالی ظاهری، چگالی واقعی، حجم واقعی، تخلخل، و وزن هزار دانه بودند. برای اندازه‌گیری چگالی واقعی (ρ_s) و حجم واقعی (V_t) از روش پیکنومتر استاندارد و برای اندازه‌گیری حجم و چگالی واقعی شلتوک از رابطه‌های ۹ و ۱۰ استفاده شد (Mohsenin, 1986).

$$V_t = [(M_{tp} - M_p) - (M_{pts} - M_{ps})]/\rho_t \quad (۹)$$

$$\rho_s = (M_{ps} - M_p)/V_t \quad (۱۰)$$

که در آنها: V_t= حجم جسم جامد (سانتی‌متر مکعب)، M_{tp}= وزن تولوئن و پیکنومتر (گرم)، M_p= وزن پیکنومتر (گرم)، M_{tps}= وزن تولوئن پیکنومتر و جسم (گرم)، M_{ps}= وزن پیکنومتر و جسم (گرم)، ρ_t= چگالی تولوئن (گرم بر سانتی‌متر مکعب) و ρ_s= چگالی جسم جامد (گرم بر سانتی‌متر مکعب). چگالی ظاهری(ρ_b) دانه‌های شلتوک با استفاده از یک ظرف استوانه‌ای مدرج با ابعاد و وزن مشخص تعیین گردید. برای این کار توده‌ای از دانه‌ها از ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر با یک قیف داخل ظرفی استوانه‌ای شکل به حجم ۵۰۰ سی‌سی ریخته شد. این حالت شبیه به حالتی است که در انبارهای ذخیره‌سازی شلتوک ایجاد می‌شود. پس از پر شدن ظرف، روی آن با خط کش صاف شد تا دانه‌های اضافی بدون فشرده شدن دانه‌های زیرین خارج شوند. پس‌ازاین کار، ظرف محتوی دانه‌های شلتوک با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم وزن و چگالی ظاهری هر نمونه از تقسیم وزن توده دانه جای‌گرفته در ظرف بر حجم ظرف برابر رابطه ۱۱ محاسبه شد.

$$\rho_b = m/v \quad (۱۱)$$

که در آن:m = وزن دانه‌ها (گرم)، v= حجم ظرف (سانتی-متر مکعب)، درصد تخلخل نسبت فضای خالی توده برنج به حجم ظرف است که با رابطه ۱۲ محاسبه شد (Mohsenin, 1986).

$$\varepsilon = [1 - (\frac{\rho_b}{\rho_s})] \times 100 \quad (۱۲)$$

که در آن: ρ_b= چگالی ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، ρ_s= چگالی واقعی(گرم بر سانتی‌متر مکعب)، ε=تخلخل (درصد) است. برای اندازه‌گیری وزن هزار دانه، نمونه‌های ۱۰۰۰ تایی از ۲ رقم شلتوک مورد مطالعه در ۳ سطح رطوبتی به‌طور تصادفی انتخاب و با ترازویی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم وزن شدند.

روش تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

در آزمون‌های فیزیکی، متغیرهای مستقل شامل ۱- ارقام شلتوک در دو سطح (رضاجو و دم‌سیاه) ۲- رطوبت در ۳ سطح ۱۰ و ۱۴ و ۱۸ درصد بر پایه تر و متغیرهای وابسته شامل ابعاد، ضریب کرویت، قطر هندسی، قطر حسابی، سطح، حجم، چگالی ظاهری، چگالی واقعی، تخلخل، و وزن هزار دانه در نظر گرفته شدند. در این تحقیق از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده شد و میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال ۱٪ =α و به کمک نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۴ مقایسه شدند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس برخی از خواص فیزیکی دو رقم شلتوک برنج رضاجو و دم‌سیاه در جدول ۱ آورده شده است. جدول ۱ نشان می دهد اثر تکی رطوبت و اثر متقابل

رقم × رطوبت، غیر از ضریب کرویت بر تمام خواص فیزیکی بررسی‌شده مانند طول، عرض، ضخامت، قطر هندسی، قطر حسابی، سطح، حجم، چگالی ظاهری، چگالی واقعی، تخلخل، و وزن هزار دانه در سطح احتمال ۱ درصد در هر دو رقم دم‌سیاه و رضاجو معنی‌دار است و رقم بر این خواص اثر معنی‌دار ندارد.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس برخی از خواص فیزیکی شلتوک

	منابع تغییرات					
	رطوبت		رقم		رطوبت × رقم	
عوامل وابسته	میانگین مربعات	F	میانگین مربعات	F	میانگین مربعات	F
طول (میلی‌متر)	۲۲/۸۵	۷۸/۲۵**	۱/۲۲	۴/۲۱^{ns}	۱۱/۷۱	۴۰/۱**
عرض (میلی‌متر)	۱۱/۲۶۵	۷۶/۶۳**	۰/۵۲۷	۳/۵۹^{ns}	۸/۷۵۵	۵۹/۵۵**
ضخامت (میلی‌متر)	۴/۲۸۵	۶۴/۹۹**	۰/۲۷۱	۴/۱۲^{ns}	۲/۵۶۵	۳۸/۸۶**
قطر هندسی (میلی‌متر)	۵/۰۸۵	۴۶/۶۵**	۰/۵۵۶	۵/۱۱^{ns}	۳/۱۹	۲۹/۲۶**
قطر حسابی (میلی‌متر)	۱۵/۶۵	۱۱۵/۹۲**	۰/۵۶۸	۴/۲۱^{ns}	۱۹/۰۶	۱۴۱/۱۸۵**
سطح (میلی‌متر مربع)	۵۱/۱۸	۱۸۷/۴۷**	۱/۱۶	۴/۲۵^{ns}	۲۴/۶۱۵	۹۰/۱۶۴**
حجم (میلی‌متر مکعب)	۴۱/۱۵۵	۱۲۰/۳۳**	۱/۲۱	۳/۵۴^{ns}	۲۷/۰۶	۷۹/۱۲**
ضریب کرویت (درصد)	۴۹/۱۱	۳/۱^{ns}	۲۲/۴۵۶	۵/۱۲^{ns}	۱۰/۱۸	۴/۶۴^{ns}
چگالی ظاهری (گرم بر میلی‌متر مکعب)	۱۲/۱۸	۱۲۴/۲۸**	۰/۳۷۶	۳/۸۴^{ns}	۶/۲۵	۶۳/۷۷**
چگالی حقیقی (گرم بر میلی‌متر مکعب)	۷/۲۸	۴۱/۶**	۰/۶۸	۳/۸۹^{ns}	۶/۳۴	۳۶/۲۲**
تخلخل (درصد)	۶۲/۱۶	۲۱۶/۵۸**	۱/۱۷۶	۴/۱^{ns}	۲۰/۶۸	۷۲/۰۵**
وزن هزاردانه (گرم)	۹۳/۰۷۵	۱۸۳/۲۱۸**	۲/۴۷۳	۴/۸۷^{ns}	۲۱/۰۶۵	۴۱/۴۶۶**

**معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، ^{ns} نبود تأثیر معنی‌دار

عسکری اصلی ارده و همکاران در تحقیقی مشابه روی ارقام سپیدرود و بینام نیز به نتایجی مشابه دست یافته‌اند (Askari Asli–Ardeh *et al.*, 2011). جدول ۲ نتایج مقایسهٔ میانگین خواص فیزیکی محاسبه‌شده برای دانه‌های شلتوک دو رقم دم‌سیاه و رضاجو را در سطوح مختلف رطوبتی نشان می‌دهد. جدول ۲ نشان می‌دهد با افزایش رطوبت، طول دانه در هر دو رقم افزایش یافته‌است. بیشترین طول برای رقم رضاجو، در رطوبت ۱۸ درصد و به میزان ۱۰/۲ میلی‌متر و کمترین آن برای همان رقم، در رطوبت ۱۰ درصد و به میزان ۹/۵۵ میلی‌متر محاسبه شده‌است. معادلات رگرسیونی طول ارقام دم‌سیاه و رضاجو برحسب مقدار رطوبت دانه و نیز ضریب تبیین آنا به ترتیب در روابط ۱۳ و ۱۴ نشان داده‌شده است. در این معادلات، Y_D و Y_R به ترتیب نشان‌دهنده مقادیر طول (میلی‌متر) دانه‌های ارقام دم‌سیاه و رضاجو برحسب تغییرات سطح رطوبتی دانه‌هاست.

$$Y_D=0.037x + 9.35 \qquad R^2=0.99 \qquad (۱۳)$$

$$Y_R=1.13\ln(x) + 6.98 \qquad R^2=0.96 \qquad (۱۴)$$

با افزایش رطوبت، عرض دانه در هر دو رقم روند افزایشی نشان داده‌است.

جدول ۲- نتایج مقایسه میانگین اثر رطوبت شلتوک بر برخی از خواص فیزیکی شلتوک

عوامل وابسته	دم‌سیاه			رضاجو		
	۱۰	۱۴	۱۸	۱۰	۱۴	۱۸
طول (میلی‌متر)	۹/۷۳^{b}	۹/۸۹^{ab}	۱۰/۰۳^{a}	۹/۵۵^{b}	۱۰/۱^{a}	۱۰/۲^{a}
عرض (میلی‌متر)	۲/۲۴^{b}	۲/۳۷^{a}	۲/۳۹^{a}	۲/۲۵^{b}	۲/۳۸^{a}	۲/۳۸^{a}
ضخامت (میلی‌متر)	۱/۸۱^{b}	۱/۹۱^{a}	۱/۹۷^{a}	۱/۸^{b}	۱/۹^{a}	۱/۹۵^{a}
قطر هندسی (میلی‌متر)	۳/۴۶^{b}	۳/۶۳^{a}	۳/۶۶^{a}	۳/۳۹^{b}	۳/۶۴^{a}	۳/۶۶^{a}
قطر حسابی (میلی‌متر)	۴/۵۹^{b}	۴/۶۵^{b}	۴/۸^{a}	۴/۵^{b}	۴/۷۱^{a}	۴/۷۵^{a}
سطح (میلی‌متر مربع)	۳۴/۲^{c}	۳۶/۳^{a}	۳۷/۸۹^{a}	۳۴/۱^{c}	۳۵/۸۶^{b}	۳۸/۱۲^{a}
حجم (میلی‌متر مکعب)	۲۱/۴۷^{b}	۲۳/۶۵^{a}	۲۴/۱۳^{a}	۲۱/۶۵^{b}	۲۳/۱۸^{a}	۲۴/۶۵^{a}
ضریب کرویت (درصد)	۳۵^{a}	۳۵/۲^{a}	۳۵/۱۴^{a}	۳۵/۳^{a}	۳۵/۲^{a}	۳۵/۲^{a}
چگالی ظاهری (گرم بر میلی‌متر مکعب)	۱/۱۰^{b}	۱/۲۲^{a}	۱/۲۳^{a}	۱/۱۲^{b}	۱/۲۶^{a}	۱/۲۶^{a}
چگالی حقیقی (گرم بر میلی‌متر مکعب)	۰/۵۰^{b}	۰/۵۵^{a}	۰/۵۵^{a}	۰/۵۰^{b}	۰/۵۶^{a}	۰/۵۶^{a}
تخلخل (درصد)	۵۴/۵۴^{b}	۵۴/۹۱^{a}	۵۵/۲۸^{a}	۵۵/۳۵^{b}	۵۵/۵۵^{a}	۵۵/۵۵^{a}
وزن هزاردانه (گرم)	۲۱/۴۳^{b}	۲۱/۳۵^{b}	۲۴/۳۲^{a}	۲۰/۱۶^{b}	۲۰/۹۸^{b}	۲۳/۵۳^{a}

در هر ردیف میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۱٪ =α تفاوت معنی‌دار ندارند.

بیشترین عرض برای رقم دم‌سیاه در رطوبت ۱۸ درصد و به میزان ۲/۳۹ میلی‌متر و کمترین آن نیز برای همین رقم در رطوبت ۱۰ درصد و به میزان ۲/۲۴ میلی‌متر محاسبه شده‌است (جدول ۲). در همین راستا معادلات رگرسیونی عرض ارقام دم‌سیاه و رضاجو برحسب مقدار رطوبت دانه و نیز ضریب تبیین آنها به ترتیب در روابط ۱۵ و ۱۶ نشان داده‌شده است. در این معادلات، Y_D و Y_R نشان‌دهنده مقادیر مختلف عرض (میلی‌متر) دانه‌های ارقام دم‌سیاه و رضاجو برحسب تغییرات مقدار رطوبت دانه‌هاست.

$$Y_D=-0.0034x^2 + 0.115x + 1.43 \quad R^2=0.99 \quad (۱۵)$$

$$Y_R=-0.0041x^2 + 0.13x + 1.35 \quad R^2=0.99 \quad (۱۶)$$

نتایج بررسی‌ها نشان می دهد با افزایش رطوبت، میزان ضخامت در هر دو رقم افزایش می‌یابد. بیشترین ضخامت برای رقم دم‌سیاه در رطوبت ۱۸ درصد و به میزان ۱/۹۷ میلی‌متر و کمترین آن برای رقم رضاجو، در سطح رطوبت ۱۰ درصد و به میزان ۱/۸ میلی‌متر محاسبه شده‌است (جدول ۲). معادلات رگرسیونی ضخامت ارقام دم‌سیاه و رضاجو برحسب مقدار رطوبت دانه و نیز ضریب تبیین آنها به ترتیب در رابطه‌های ۱۷ و ۱۸ نشان داده‌شده است. در معادلات ارائه‌شده، Y_D و Y_R به ترتیب نشان‌دهنده مقادیر مختلف ضخامت (میلی‌متر) دانه‌های ارقام دم‌سیاه و رضاجو برحسب تغییرات مقدار رطوبت دانه‌هاست.

$$Y_D=1.63\, e^{0.0106x} \quad R^2=0.97 \quad (۱۷)$$

$$Y_R=0.257\, ln(x) + 1.21 \quad R^2=0.98 \quad (۱۸)$$

بیشترین قطر هندسی برای هر دو رقم دم‌سیاه و رضاجو در رطوبت ۱۸ درصد و به میزان ۳/۶۶ میلی‌متر و کمترین

آن برای رقم رضاجو در رطوبت ۱۰ درصد و به میزان ۳/۳۹ میلی‌متر محاسبه شده‌است (جدول ۲). معادلات رگرسیونی قطر هندسی ارقام دم‌سیاه و رضاجو برحسب مقدار رطوبت دانه و نیز ضریب تبیین آنها به ترتیب در رابطه‌های ۱۹ و ۲۰ نشان داده‌شده است. در این معادلات، Y_D و Y_R به ترتیب مقادیر مختلف قطر هندسی (میلی‌متر) دانه‌های ارقام دم‌سیاه و رضاجو را برحسب تغییرات مقدار رطوبت دانه‌ها نشان می‌دهد.

$$Y_D=-0.004x^2 + 0.147x + 2.43 \qquad R^2=0.97 \qquad (۱۹)$$

$$Y_R=-0.0072x^2 + 0.235x + 1.75 \qquad R^2=0.99 \qquad (۲۰)$$

از سوی دیگر، بیشترین قطر حسابی برای رقم دم‌سیاه در رطوبت ۱۸ درصد و به میزان ۴/۸ میلی‌متر و کمترین آن برای رقم رضاجو در رطوبت ۱۰ درصد و به میزان ۴/۵ میلی‌متر محاسبه شده‌است (جدول ۲). در همین راستا، معادلات رگرسیونی مربوط به قطر حسابی ارقام دم‌سیاه و رضاجو برحسب مقدار رطوبت دانه و نیز ضریب تبیین آنها به ترتیب در رابطه‌های ۲۱ و ۲۲ نشان داده‌شده‌اند. در این معادلات، Y_D و Y_R به ترتیب مقادیر مختلف قطر حسابی (میلی‌متر) دانه‌های ارقام دم‌سیاه و رضاجو را برحسب تغییرات مقدار رطوبت دانه‌ها نشان می‌دهد.

$$Y_D=0.065x^2 - 1.8x + 16.08 \qquad R^2=0.99 \qquad (۲۱)$$

$$Y_R=-0.0053x^2 + 0.18x + 3.13 \qquad R^2=0.99 \qquad (۲۲)$$

طبق نتایج به‌دست‌آمده، بیشترین سطح برای رقم رضاجو، در رطوبت ۱۸ درصد و به میزان ۳۸/۱۲ میلی‌متر مربع و کمترین آن برای همان رقم در رطوبت ۱۰ درصد و به میزان ۳۴/۱ میلی‌متر مربع محاسبه شده‌است (جدول ۲). معادلات رگرسیونی سطح ارقام دم‌سیاه و رضاجو برحسب مقدار رطوبت دانه و ضریب تبیین آنها به ترتیب در رابطه‌های ۲۳ و ۲۴ نشان داده‌شده است. Y_D و Y_R به ترتیب، مقادیر مختلف سطح (میلی‌متر مربع) دانه‌های ارقام دم‌سیاه و رضاجو را برحسب تغییرات مقدار رطوبت دانه‌ها نشان می‌دهد.

$$Y_D=046x + 29.6 \qquad R^2=0.99 \qquad (۲۳)$$

$$Y_R=0.5x + 29.02 \qquad R^2=0.99 \qquad (۲۴)$$

بر اساس نتایج مطالعات، بیشترین حجم برای رقم رضاجو در رطوبت ۱۸ درصد و به میزان ۲۴/۶۵ میلی‌مترمکعب و کمترین آن برای رقم دم‌سیاه در رطوبت ۱۰ درصد و به میزان ۲۱/۴۷ میلی‌مترمکعب محاسبه شده‌است (جدول ۲). معادلات رگرسیونی حجم ارقام دم‌سیاه و رضاجو برحسب مقدار رطوبت دانه و نیز ضریب تبیین آنها به ترتیب در رابطه‌های ۲۵ و ۲۶ نشان داده‌شده است. Y_D و Y_R به ترتیب، مقادیر مختلف حجم (میلی‌متر مکعب) دانه‌های ارقام دم‌سیاه و رضاجو را برحسب تغییرات مقدار رطوبت دانه‌ها نشان می‌دهد.

$$Y_D=-0.53x^2 - 1.82x + 8.58 \qquad R^2=0.99 \qquad (۲۵)$$

$$Y_R=0.375x + 17.91 \qquad R^2=0.99 \qquad (۲۶)$$

علت افزایش ابعاد محوری دانه‌ها را می‌توان به تورم و افزایش حجم ناشی از جذب رطوبت و پر شدن لوله‌های مویین و حفره‌های موجود دردانه‌های برنج نسبت داد. برابر معادلات ریاضی، ازآنجاکه قطر هندسی، قطر حسابی، سطح، حجم، و ضریب کرویت وابسته به ابعاد محوری هستند و به کمک آنها محاسبه می‌شوند، تغییرات افزایشی آنها قابل پیش‌بینی است (Aderinlewo *et al.*, 2011). عسکری اصلی ارده و همکاران نیز در تحقیقات خود روی دو رقم شلتوک سپیدرود و بینام به نتایجی مشابه دست یافته‌اند (Askari Asli–Ardeh *et al.*, 2011). با افزایش رطوبت، چگالی ظاهری و چگالی واقعی در هر دو رقم افزایش یافته‌اند به‌گونه‌ای که روند افزایشی برای چگالی ظاهری و چگالی واقعی در رقم رضاجو بیشتر است تا در

رقم دمسیاه. علت آن است که با افزایش درصد رطوبت در دانه‌های آزمایشی، نسبت افزایش جرم نسبت به افزایش حجم بیشتر است. اگرچه در افزایش رطوبت دانه‌ها از ۱۴ به ۱۸ درصد، در مقدار چگالی واقعی و چگالی ظاهری هر یک از ارقام تغییری مشاهده نمی‌شود. از سوی دیگر، علت کمتر بودن چگالی ظاهری نسب به چگالی واقعی آن است که در محاسبات چگالی ظاهری برای تعیین حجم کل، علاوه بر حجم دانه‌ها حجم فضای خالی بین آنها نیز لحاظ می‌شود (جدول ۲). معادلات رگرسیونی چگالی ظاهری و چگالی حقیقی ارقام دم‌سیاه و رضاجو برحسب مقدار رطوبت دانه و نیز ضریب تبیین آنها به ترتیب در رابطه‌های ۲۷ تا ۳۰ نشان داده‌شده است. Y_D و Y_R به ترتیب در معادلات ۲۷ و ۲۸، مقادیر مختلف چگالی ظاهری و در معادلات ۲۹ و ۳۰، مقادیر مختلف چگالی حقیقی دانه‌های ارقام دم‌سیاه و رضاجو (گرم بر میلی‌متر مکعب) را برحسب تغییرات محتوای رطوبتی دانه‌ها نشان می‌دهند.

$$Y_D=-0.0025x^2 + 0.08x - 0.5 \qquad R^2=0.98 \qquad (۲۷)$$

$$Y_R=-0.0022x^2 + 0.07x + 0.01 \qquad R^2=0.99 \qquad (۲۸)$$

$$Y_D=-0.0034x^2 + 0.1125x + 0.31 \qquad R^2=0.98 \qquad (۲۹)$$

$$Y_R=-0.0028x^2 + 0.095x + 0.45 \qquad R^2=0.99 \qquad (۳۰)$$

برخی دیگر از محققان نیز در تحقیقات خود به نتایجی مشابه دست‌یافته‌اند (AL-Mahasneh & Rababah, 2007; Askari Asli- Ardeh & Abbaspour Gilandeh, 2008; Kheiralipour *et al.*, 2008; Reddy & Chakravertty, 2004). نتایج بررسی‌ها مبین این موضوع است که با افزایش رطوبت، میزان تخلخل و جرم هزار دانه در هر دو رقم افزایش می‌یابند به‌گونه‌ای که روند افزایش میزان تخلخل در رقم رضاجو بیشتر است تا در رقم دمسیاه و روند افزایش جرم هزار دانه در رقم دم‌سیاه بیشتر است تا در رقم رضاجو. پیشتر گفته شد که محاسبه مقدار تخلخل به‌نوعی وابسته به مقادیر چگالی ظاهری و واقعی است. جدول ۲ نشان می دهد که با افزایش رطوبت، درصد افزایش چگالی ظاهری کمتر از درصد افزایش چگالی واقعی است. برای مثال، با افزایش رطوبت از ۱۰ به ۱۴ درصد در رقم دمسیاه، چگالی ظاهری ۱۰ درصد اما چگالی واقعی ۱۰/۹ درصد افزایش نشان داده‌است. از این رو برابر رابطه ۱۲، با افزایش رطوبت، مقدار تخلخل نیز افزایش یافته‌است. معادلات رگرسیونی تخلخل و وزن هزار دانهٔ ارقام دم‌سیاه و رضاجو برحسب مقدار رطوبت دانه و نیز ضریب تبیین آنها به ترتیب در رابطه‌های ۳۱ تا ۳۴ نشان داده‌شده است گوبتا و داس نیز در تحقیقی مشابه روی تخم آفتابگردان به نتایجی مشابه دست یافته‌اند (Gupta and Das, 1991). Y_D و Y_R در معادلات ۳۱ و ۳۲، مقادیر مختلف تخلخل (درصد) و در معادلات ۲۹ و ۳۰، به ترتیب مقادیر مختلف وزن هزار دانه ارقام دم‌سیاه و رضاجو (گرم) را برحسب تغییرات رطوبتی دانه‌ها نشان می‌دهند.

$$Y_D=-0.095x^2 + 3.14x + 28.3 \qquad R^2=0.99 \qquad (۳۱)$$

$$Y_R=-0.097x^2 + 3.18x + 28.7 \qquad R^2=0.99 \qquad (۳۲)$$

$$Y_D=0.095x^2 - 2.3x + 35.01 \qquad R^2=0.98 \qquad (۳۳)$$

$$Y_R=0.54x^2 - 1.09x + 25.67 \qquad R^2=0.98 \qquad (۳۴)$$

نتیجه‌گیری

با افزایش رطوبت، غیر از ضریب کرویت، سایر خواص فیزیکی مانند طول، عرض، ضخامت، قطر هندسی، قطر حسابی، سطح، حجم و خواص ثقلی مانند چگالی ظاهری، چگالی واقعی، تخلخل و جرم هزار دانه افزایش می‌یابند درحالی‌که رقم تأثیر معنی‌داری بر خواص مذکور ندارد. با افزایش رطوبت، بیشترین طول، سطح، حجم، چگالی واقعی، چگالی ظاهری، و تخلخل در رقم رضاجو اما بیشترین عرض، ضخامت، قطر حسابی و وزن هزار دانه در رقم دم‌سیاه مشاهده می‌شود.

مراجع

Aderinlewo, A. A., Raji, A. O. and Olayanju, T. M. A. 2011. Effect of moisture content on some physical properties of Cowpea (*Vigna unguiculata*). Journal of Natural Sciences, Engineering and Technology. 10(2):133-145.

AL-Mahasneh, M. A. and Rababah, T. M. 2007. Effect of moisture content on some engineering properties of green wheat. Journal of Food Engineering. 79(4):1467-1473.

Amin, M. N., Hossain, M. A. and Roy, K. C. 2003. Effects of moisture content on some physical properties of Lentil seeds. Journal of Food Engineering. 65(1):83-87.

Anonymous. 2010. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists(AACC). 11th Ed. St. Paul. MN. USA.

Askari Asli–Ardeh, E. A., Shakarbeigi, S. and Shojaei, S. 2011. Investigations of grain moisture content effect on some physical properties of two paddy grain varieties. Agricultural Science and Sustainable Production. 21/2(1): 115-123. (in Persian).

Askari Asli-Ardeh, E. A. and Abbaspour Gilandeh, Y. 2008. Investigation of the effective factors on threshing loss damaged grains percent and material other than grain to grain ratio on auto head feed threshing unit. American Journal of Agricultural and Biological Sciences. 3(4): 699-705.

Correa, P. C., Schwanz de Silva, F., Jaren, C., Afonso Junior, P. C. and Arana, I. 2007. Physical and mechanical properties in rice processing. Journal of Food Engineering. 79(1):137-142.

Erica, B., Cuniberti, A. and Susana, M. 2004. Moisture dependent physical and compression properties of safflowers seeds. Journal of Food Engineering. 72(2):134-140.

FAO. 2017. Rice production. Available from : http://faostat.fao.org.

Ghasemi Varnamkhasti, M., Mobli, H., Jafari, A., Keyhani, A. R., Rafiee, S. and Kheiralipour, K. 2008. Some physical properties of rough rice (*Oryza sativa* L.) grain. Journal of Cereal Science. 47(3):496-501.

Gupta, R. K. and Das, S. K. 1997. Physical properties of sunflower seeds. Journal of Food Engineering. 66, 1-8.

Khazaei, J., Shahbazi, F. and Massah, J. 2007. Evaluation and modeling of physical and physiological damage to wheat seeds under successive impact loading mathematical and neural net marks models. Journal of Crop Science & Biotechnology. 48,1532-1544.

Kheiralipour, K., Karimi, M., Tabatabaeefar, A., Naderi, M., Khoushbakt, G. and Heidarbeigi, K. 2008. Moisture-depend properties of wheat (*Triticum aestivum* L). Journal of Agricultural Technology. 4, 53-64.

Mohsenin, N. N. 1986. Physical Properties of Plant and Animal Materials. Gordon and Breach Science publisher. New York. 742 p.

Movahhed, S., Mahjob, M. and Ahmadi Chenarbon, H. 2015. Determination of the angle of repose and internal friction coefficient in three wheat varieties (Dyvrvm and Shirudi). Innovations in Food Technology. 2(7): 4351. (in Persian).

Movahhed, S. 2011. Bread Science. First Edition. Marze Danesh Press. 188p. (in Persian).

Movahhed, S. 2017. Supplemental Cereal Products Technology. Jahad University Press. 45-46. (in Persian).

Reddy, B. S. and Chakravertty, A. 2004. Physical properties of row and parboiled paddy. Biosystem Engineering. 88 (4): 451-466.

Food Engineering Research/Vol.17/No.64/Spring & Summer 2018/P: 71-80

Effect of Moisture Content on Some Physical Properties of Two Rice Varieties, Dom Siyah and Reza Joo

O. Asgari, S. Movahed* and H. Ahmadi Chenarbon

* Corresponding Author: Associated Professor, Department of Food Science, Varamin – Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran.
Email: movahhed@iauvaramin.ac.ir
Received: 6 February , Accepted:14 September

Determination of physical properties of agricultural products is essential to analyze their behavior during processing operations such as moving, peeling, cleaning, sorting, drying and storage. Note that the design of the above-mentioned devices in addition to planting, growing and harvest implements without taking into account these properties will not lead to optimal results. In this research, the effects of grain moisture content (at levels of 10, 14 and 18 percent) and kind of varieties on the physical properties of two varieties of rice paddy grain, namely Reza Joo and Dom Siyah were investigated. In order to analyze the data, a factorial experiment was used in a completely randomized design and means comparison were done by using Duncan's multiple-range test ($\alpha = 1\%$). Based on the results, by increasing the moisture content, with the exception of the sphericity coefficient, other physical properties such as length, width, thickness, geometrical diameter, arithmetic diameter, surface, volume and the gravity properties such as bulk density, true density, porosity and 1000 grain mass increased while the kind of variety did not have a significant effect on these properties.

Keywords: Geometric properties**,** Gravimetric properties, Paddy