

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

ام‌البنین عسگری تپه^۱، سارا موحد*^۲ و حسین احمدی چنارین^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 به منظور 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 به دست نخواهد داد. در این تحقیق، تأثیر مقدار رطوبت دانه (۱۰، ۱۴ و ۱۸ درصد) و نوع رقم، بر خواص فیزیکی دو رقم دانه برنج به نام‌های رضاجو و دم‌سیاه بررسی شده است. به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها، از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده شد و میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال $\alpha = 1\%$ 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 در حالی که رقم تأثیر معنی‌داری بر خواص مذکور ندارد.

واژه‌های کلیدی

خواص ثقلی، خواص هندسی، شلتوک

مقدمه

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 پس از 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 بوده است که با ضریب تبدیل ۶۴ درصد حدود ۲/۱ میلیون تن برنج سفید تولید می‌شود (FAO, 2017). ضایعات برنج در عملیات کاشت تا برداشت

برنج گیاهی یکساله از خانواده گرمینه^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 به صورت دانه برنج کامل مصرف می‌شود. با وجود 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

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 تجزیه و تحلیل 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 از جمله 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) بررسی 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 اصطکاک، 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 & Chakraverty, 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 داده است (Correa et al., 2007). عسکری اصلی ارده و همکاران (Askari Asli-Ardeh et al., 2011) تأثیر مقدار رطوبت را بر برخی از

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 تجزیه و تحلیل 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 از جمله 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) بررسی خواص فیزیکی تخم آفتابگردان را در محدوده رطوبتی ۴ تا

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 به اصطلاح آماده شوند و به سطح رطوبتی موردنظر برسند (Movahhed *et al.*, 2015; Reddy & Chakraverty, 2004).

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

$$W_i - W_f = W_w \quad (2)$$

که در آنها: W_i = وزن نمونه با رطوبت اولیه (g)، W_f = وزن نمونه با رطوبت نهایی (g)، W_w = وزن آب مقطر اضافه شده (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 مورد مطالعه به طور 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).

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

$$D_a = (L + W + t)/3 \quad (4)$$

$$\Phi = (t \times W \times L)^{1/3}/L \quad (5)$$

خواص فیزیکی دو رقم شلتوک (سپیدرود و بینام) بررسی کرده‌اند. 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 نبوده است. 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 شده است. 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

ظاهری هر نمونه از تقسیم وزن توده دانه جای گرفته در ظرف بر حجم ظرف برابر رابطه ۱۱ محاسبه شد.

$$\rho_b = m/v \quad (11)$$

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).

$$\varepsilon = [1 - \left(\frac{\rho_b}{\rho_s}\right)] \times 100 \quad (12)$$

که در آن: ρ_b = چگالی ظاهری (گرم بر سانتی-متر مکعب)، ρ_s = چگالی واقعی (گرم بر سانتی-متر 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 تجزیه و تحلیل 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 می‌دهد اثر تکی رطوبت و اثر متقابل

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

$$S = (B \times \pi \times L^2) / (2L - B) \quad (6)$$

$$B = (W \times t)^{1/2} \quad (7)$$

$$V = 0.25 \left[\left(\frac{\pi}{6}\right) \times L \times (W + t)^2 \right] \quad (8)$$

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).

$$V_t = [(M_{tp} - M_p) - (M_{tps} - M_{ps})] / \rho_t \quad (9)$$

$$\rho_s = (M_{ps} - M_p) / V_t \quad (10)$$

که در آنها: V_t = حجم جسم جامد (سانتی-متر مکعب)، M_{tp} = وزن تولون و پیکنومتر (گرم)، M_p = وزن پیکنومتر (گرم)، M_{tps} = وزن تولون پیکنومتر و جسم (گرم)، M_{ps} = وزن پیکنومتر و جسم (گرم)، ρ_t = چگالی تولون (گرم بر سانتی-متر مکعب) و ρ_s = چگالی جسم جامد (گرم بر سانتی-متر 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 فشردن دانه‌های زیرین خارج شوند. پس‌ازاین کار، ظرف محتوی دانه‌های شلتوک با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم وزن و چگالی

اثر مقدار رطوبت بر برخی از خواص ...

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

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

برحسب مقدار رطوبت دانه و نیز ضریب تبیین آن‌ها به ترتیب در روابط ۱۳ و ۱۴ نشان داده شده 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.

$$Y_D = 0.037x + 9.35 \quad R^2 = 0.99 \quad (13)$$

$$Y_R = 1.13 \ln(x) + 6.98 \quad R^2 = 0.96 \quad (14)$$

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

عسکری اصلی ارده و همکاران در تحقیقی مشابه روی ارقام سپیدرود و بینام نیز به نتایج مشابه دست یافته‌اند (Askari Asli-Ardeh et al., 2011). جدول ۲ نتایج مقایسه 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

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

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

در هر ردیف میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال $\alpha=0.1$ تفاوت معنی‌دار ندارند.

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 داده شده است. در معادلات ارائه شده، Y_D و Y_R به ترتیب نشان‌دهنده مقادیر مختلف ضخامت (میلی‌متر) دانه‌های ارقام دم‌سیاه و رضاجو برحسب تغییرات مقدار رطوبت دانه‌هاست.

$$Y_D = 1.63 e^{0.0106x} \quad R^2 = 0.97 \quad (17)$$

$$Y_R = 0.257 \ln(x) + 1.21 \quad R^2 = 0.98 \quad (18)$$

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

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 داده شده است. در این معادلات، Y_D و Y_R نشان‌دهنده مقادیر مختلف عرض (میلی‌متر) دانه‌های ارقام دم‌سیاه و رضاجو برحسب تغییرات مقدار رطوبت دانه‌هاست.

$$Y_D = -0.0034x^2 + 0.115x + 1.43 \quad R^2 = 0.99 \quad (15)$$

$$Y_R = -0.0041x^2 + 0.13x + 1.35 \quad R^2 = 0.99 \quad (16)$$

نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد با افزایش رطوبت، میزان ضخامت در هر دو رقم افزایش می‌یابد. بیشترین ضخامت

ارقام دم‌سیاه و رضاجو را برحسب تغییرات مقدار رطوبت دانه‌ها نشان می‌دهد.

$$Y_D = 0.46x + 29.6 \quad R^2 = 0.99 \quad (23)$$

$$Y_R = 0.5x + 29.02 \quad R^2 = 0.99 \quad (24)$$

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 داده شده‌است. Y_D و Y_R به ترتیب، مقادیر مختلف حجم (میلی‌مترمکعب) دانه‌های ارقام دم‌سیاه و رضاجو را برحسب تغییرات مقدار رطوبت دانه‌ها نشان می‌دهد.

$$Y_D = -0.53x^2 - 1.82x + 8.58 \quad R^2 = 0.99 \quad (25)$$

$$Y_R = 0.375x + 17.91 \quad R^2 = 0.99 \quad (26)$$

علت افزایش ابعاد محوری دانه‌ها را می‌توان به تورم و افزایش حجم ناشی از جذب رطوبت و پر شدن لوله‌های موئین و حفره‌های موجود در دانه‌های برنج نسبت داد. برابر معادلات ریاضی، از آنجاکه 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 به گونه‌ای که روند افزایشی برای چگالی ظاهری و چگالی واقعی در رقم رضاجو بیشتر است تا در

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 داده شده‌است. 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.

$$Y_D = -0.004x^2 + 0.147x + 2.43 \quad R^2 = 0.97 \quad (19)$$

$$Y_R = -0.0072x^2 + 0.235x + 1.75 \quad R^2 = 0.99 \quad (20)$$

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 داده شده‌اند. 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.

$$Y_D = 0.065x^2 - 1.8x + 16.08 \quad R^2 = 0.99 \quad (21)$$

$$Y_R = -0.0053x^2 + 0.18x + 3.13 \quad R^2 = 0.99 \quad (22)$$

طبق نتایج به‌دست آمده، 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 داده شده‌است. Y_D و Y_R به ترتیب، مقادیر مختلف سطح (میلی‌متر مربع) دانه‌های

به نوعی 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 داده است. از این رو برابر رابطه ۱۲، با افزایش رطوبت، مقدار تخلخل نیز افزایش یافته است. معادلات رگرسیونی تخلخل و وزن هزار دانه ارقام دمسیاه و رضاجو برحسب مقدار رطوبت دانه و نیز ضریب تبیین آنها به ترتیب در رابطه های ۳۱ تا ۳۴ نشان داده شده است گوبتا و داس نیز در تحقیقی مشابه روی تخم آفتابگردان به نتایجی مشابه دست یافته اند (Gupta and Das, 1991). Y_R و Y_D 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 دانه ها نشان می دهند.

$$Y_D = -0.095x^2 + 3.14x + 28.3 \quad R^2 = 0.99 \quad (31)$$

$$Y_R = -0.097x^2 + 3.18x + 28.7 \quad R^2 = 0.99 \quad (32)$$

$$Y_D = 0.095x^2 - 2.3x + 35.01 \quad R^2 = 0.98 \quad (33)$$

$$Y_R = 0.54x^2 - 1.09x + 25.67 \quad R^2 = 0.98 \quad (34)$$

نتیجه گیری

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 می یابند در حالی که رقم تأثیر معنی داری 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 می شود.

رقم دمسیاه. علت آن است که با افزایش درصد رطوبت در دانه های آزمایشی، نسبت افزایش جرم نسبت به افزایش حجم بیشتر است. اگرچه در افزایش رطوبت دانه ها از ۱۴ به ۱۸ درصد، در مقدار چگالی واقعی و چگالی ظاهری هر یک از ارقام تغییری مشاهده نمی شود. از سوی دیگر، علت کمتر بودن چگالی ظاهری نسبت به چگالی واقعی آن است که در محاسبات چگالی ظاهری برای تعیین حجم کل، علاوه بر حجم دانه ها حجم فضای خالی بین آنها نیز لحاظ می شود (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 رابطه های ۲۷ تا ۳۰ نشان داده شده است. Y_R و Y_D به ترتیب در معادلات ۲۷ و ۲۸، مقادیر مختلف چگالی ظاهری و در معادلات ۲۹ و ۳۰، مقادیر مختلف چگالی حقیقی دانه های ارقام دمسیاه و رضاجو (گرم بر میلی متر مکعب) را برحسب تغییرات محتوای رطوبتی دانه ها نشان می دهند.

$$Y_D = -0.0025x^2 + 0.08x - 0.5 \quad R^2 = 0.98 \quad (27)$$

$$Y_R = -0.0022x^2 + 0.07x + 0.01 \quad R^2 = 0.99 \quad (28)$$

$$Y_D = -0.0034x^2 + 0.1125x + 0.31 \quad R^2 = 0.98 \quad (29)$$

$$Y_R = -0.0028x^2 + 0.095x + 0.45 \quad R^2 = 0.99 \quad (30)$$

برخی دیگر از محققان نیز در تحقیقات خود به نتایجی مشابه دست یافته اند (AL-Mahasneh & Rababah, 2007; Askari Asli- Ardeh & Abbaspour Gilandeh, 2008; Kheiralipour et al., 2008; Reddy & Chakraverty, 2004). نتایج بررسی ها مبین این موضوع است که با افزایش رطوبت، میزان تخلخل و جرم هزار دانه در هر دو رقم افزایش می یابند به گونه ای 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

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., Tabatabaeifar, 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 Chakraverty, A. 2004. Physical properties of row and parboiled paddy. Biosystem Engineering. 88 (4): 451-466.



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