

تعیین خواص فیزیکی و آیرودینامیکی تخمه آفتابگردان رقم آذر گل

رسول خدابخشیان کارگر^{۱*}، باقر عمادی^۲، محمدحسین عباسپورفرد^۳ و محمدحسین سعیدی راد^۴^۱ دانش آموخته دوره کارشناسی ارشد، ^۲ استادیار و ^۳ دانشیار، دانشگاه فردوسی مشهد ^۴ استادیار، مرکز تحقیقات فنی

مهندسی جهاد کشاورزی استان خراسان رضوی

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۵/۱۸ - تاریخ تصویب: ۱۳۸۹/۱۱/۲۵)

چکیده

دانستن خواص فیزیکی تخمه آفتابگردان برای طراحی بهینه دستگاه‌هایی که در انتقال، جابه‌جایی، فرآوری و ذخیره‌این محصول به کار می‌رود، لازم است. در این تحقیق خواص فیزیکی دانه آفتابگردان رقم آذرگل برای محتوای رطوبتی ۳٪ تا ۱۴٪ بر پایه خشک در سه دسته بزرگ، متوسط و کوچک بررسی شد. نتایج تجزیه و تحلیل ابعادی دانه‌ها نشان داد که طول دانه بسیار مرتبط با عرض و ضخامت آن است. همچنین ارتباط معنی‌داری بین عرض و ضخامت دانه مشاهده شد، در حالی که ابعاد دانه با جرم آن رابطه معنی‌داری ندارند. با افزایش رطوبت دانه از ۳٪ تا ۱۴٪ در هر دسته، جرم دانه، وزن هزار دانه، تخلخل، چگالی حقیقی و سرعت حد به صورت خطی افزایش یافتند. در تمامی دسته‌ها، چگالی توده با افزایش رطوبت، به صورت خطی کاهش یافت. نتایج حاصله از ضریب اصطکاک بر روی سطوح آلومینیوم، تخته چند لایه، آهن گالوانیزه، پلی اتیلن و لاستیک افزایش خطی این پارامتر را با افزایش رطوبت نشان داد. بیشترین ضریب اصطکاک در دسته بزرگ و سطح آلومینیوم در محدوده ۰/۴۲ تا ۰/۴۵ ملاحظه شد.

واژه‌های کلیدی: تخمه آفتابگردان، خواص فیزیکی، رقم آذرگل، رطوبت

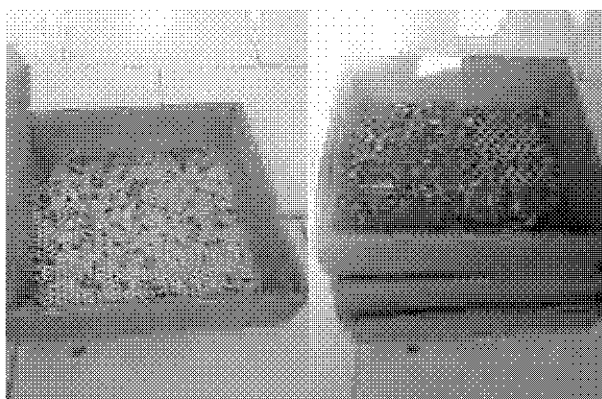
مقدمه

خصوصیات فیزیکی تخمه آفتابگردان نظیر شکل، اندازه، حجم، مساحت، وزن هزار دانه، چگالی، تخلخل، سرعت حد و ضریب اصطکاک استاتیکی جهت طراحی تجهیزات حمل و نقل و جابه‌جایی، پوست‌کنی، خشک کردن، روغن‌کشی و انبارداری ضروری است. شکل و اندازه دو پارامتر عمده در طراحی جداسازهای الکترواستاتیک و ماشین‌های درجه‌بندی می‌باشند. چگالی و تخلخل در نرخ گرما و رطوبت انتقال یافته در مدت فرآیندهای تهویه و خشک کردن مؤثر هستند. بستر بذر با تخلخل پایین، در برابر تبخیر آب در مدت خشک کردن مقاومت بیشتری از خود نشان خواهد داد. طراحی سیستم‌های حمل و نقل، انبارداری و جابه‌جایی برای محصولات کشاورزی نیازمند اطلاعات ضریب اصطکاک محصول مورد نظر می‌باشد (Parde et al., 2003)

با وجود این که تحقیقات گسترده بر روی این محصول در جهان انجام شده، اطلاعات کمی از خواص فیزیکی و مکانیکی مؤثر در فرآوری این محصول در دسترس می‌باشد. Gupta & Das (1997) برخی از خواص فیزیکی تخمه آفتابگردان را برای یک نوع واریته محلی در محدوده رطوبتی بین ۴ تا ۲۰ درصد تعیین کردند. آنها دریافتند که طول تخمه رابطه معنی‌داری با عرض و ضخامت آن دارد در حالی که ارتباط آن با جرم دانه معنی‌دار نیست. نتایج آزمایش‌های آنها نشان داد که با افزایش

در بین گیاهان زراعی اهمیت دانه‌های روغنی به عنوان یکی از منابع مهم تأمین‌کننده انرژی در جهان غیر قابل انکار است. دانه‌های روغنی به عنوان ماده اولیه روغن نباتی از جمله محصولات استراتژیک در کشور ما به حساب می‌آیند. لزوم توجه و رسیدگی به وضعیت تولید آنها نشأت گرفته از ضرورت نیاز به روغن در سید مصرف خانوار می‌باشد. امروزه ۹۰ درصد از روغن مورد نیاز کشور از خارج تهیه شده که همین مقدار نیز به صورت روغن خام وارد کشور می‌شود. در حال حاضر آفتاب‌گردان به عنوان یکی از مهمترین گیاهان یک ساله روغنی در جهان شناخته شده است و با تولید سالیانه در حدود ۲۵ میلیون تن دانه روغنی در جهان در ردیف سویا، پنبه دانه، بادام زمینی و کلزا قرار گرفته است. آفتابگردان دارای ۷۰ گونه می‌باشد، نمونه آفتابگردان در ایران مخلوطی از واریته‌های مختلف بوده و غالباً از ارقام محلی می‌باشد. طبق آخرین آمار به دست آمده، ۳۰ الی ۳۵ واریته مختلف در کشور ما کشت می‌شود که از این ارقام حدود ۹۰ درصد به منظور تولید روغن و تنها ۱۰ درصد از آنها برای مصرف آجیلی تولید می‌شود (Oilseed Cultivation Company, 2003).

به دست آمد. برای بررسی رابطه بین ابعاد و تأثیر آن بر روی خواص فیزیکی مورد نظر، با استفاده از سه الک ASTM (الک‌های استاندارد) با مش‌های دایره‌ای ۵/۵، ۶ و ۷ میلی‌متر بذرها به سه دسته بزرگ، متوسط و کوچک تقسیم بندی گردید (شکل ۱). آزمایش‌های در محدوده رطوبت بین ۳٪ تا ۱۴٪ (بر مبنای خشک) که محدوده معمول برای عملیات برداشت، حمل و نقل و اغلب عملیات فرآوری می‌باشد، انجام گردید. نمونه‌های آماده شده برای آزمایش در کیسه‌های پلی‌اتیلن دو جداره کم چگالی با ضخامت ۹۰ میکرومتر در دمای ۵-۳ درجه یخچال نگهداری شدند. برای هر آزمایش، مقدار دانه مورد نیاز را از یخچال بیرون آورده و به مدت ۲ ساعت در دمای اتاق قرار داده تا با محیط هم دما شوند (Joshi et al., 1993).



شکل ۱- تقسیم بندی دانه‌ها به سه دسته بزرگ، متوسط و کوچک

به منظور تعیین مقدار آب مورد نیاز برای رسیدن دانه‌ها به رطوبت ۱۴٪، از رابطه ذیل استفاده شد:

$$Q = \frac{W_i (M_f - M_i)}{100 - M_f} \quad (1)$$

پس از تعیین مقدار آب لازم برای رسیدن به رطوبت مورد نظر، مقدار ۵۰ گرم از هر دسته انتخاب و میزان آب تعیین شده به آنها اضافه گردید. برای توزیع یکنواخت آب، نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۵-۳ درجه یخچال نگهداری شدند. آماده سازی دانه‌ها برای رطوبت ۳٪ به وسیله قرار دادن نمونه‌ها در آون به مدت ۲ ساعت با دمای ۷۵ درجه سلسیوس انجام شد (Erica et al., 2004). اندازه‌گیری ابعاد دانه‌ها در محتوای رطوبتی بین ۳ تا ۷٪ انجام گردید (شکل ۲). برای این منظور، مقدار ۵۰ نمونه از هر دسته به صورت تصادفی انتخاب و سه ابعاد خطی یعنی بیشترین طول (L)، عرض (W) و ضخامت (T) مربوط به هر دانه توسط یک کولیس با دقت ۰/۰۲ میلی‌متر اندازه‌گیری شدند (Gupta & Das, 1997). محققان متعددی از این روش برای تعیین ابعاد دانه‌های دیگر استفاده کردند (Dutta et al., 1988; Joshi et al., 1993; Mohsenin, 1986)

رطوبت از ۴ تا ۲۰ درصد، چگالی حقیقی، تخلخل، ضریب اصطکاک استاتیکی و سرعت حد افزایش چشمگیری داشتند، در حالی که چگالی توده کاهش یافت. Isik & Izli (2007) به بررسی اثر رطوبت بر روی خواص فیزیکی یک واریته محلی آفتابگردان پرداختند. تحقیقات مشابه بر روی دانه‌های دیگر نظیر سویا (Deshpande et al., 1993)، پنبه دانه (Ozarslan, 2002)، گندم (Bargale et al., 1995) و عدس (Carman, 1996) نیز این نتایج را تأیید می‌کند.

تحقیقات زیادی برای تعیین رابطه بین ابعاد سه گانه دانه‌های مختلف صورت گرفته است. Olajide & Clarke (1993) با اندازه‌گیری طول، عرض و ضخامت ۱۰۰ عدد بذر افاقی، میانگین هندسی، حجم و سطح رویه آنها را تعیین کردند. Aviara et al. (1999) با اندازه‌گیری ابعاد سه گانه ۱۰۰ عدد بذر که به صورت تصادفی از توده بذرها انتخاب شدند، میانگین ابعاد و سطح رویه بذر را محاسبه کردند. Joshi et al. (1993) با اندازه‌گیری ابعاد دانه کدو دریافتند که ارتباط معنی داری بین عرض و طول دانه وجود دارد، در حالی که ضخامت و جرم، ارتباط کمتری را با طول دانه‌ها نشان داده است. Erica et al. (2004) با اندازه‌گیری ابعاد دانه گلرنگ در سه رطوبت مختلف نتیجه گرفتند که حجم، ضریب انبساط حجمی، میانگین هندسی قطرهای و کرویت با افزایش رطوبت رابطه خطی دارند. آنها همچنین بیان کردند که با افزایش رطوبت، چگالی حقیقی دانه گلرنگ به صورت غیرخطی و تخلخل به صورت خطی افزایش می‌یابد، در حالی که چگالی توده به صورت غیر خطی کاهش می‌یابد.

به منظور تعیین اثر رطوبت بر روی خواص فیزیکی تخمه آفتابگردان، این مطالعه بر روی رقم آذرگل تخمه آفتابگردان در محدوده رطوبت بین ۳ تا ۱۴ درصد انجام گردید. خواص اندازه‌گیری شده شامل اندازه، شکل، حجم، سطح رویه، چگالی حقیقی و توده، سرعت حد و ضریب اصطکاک استاتیکی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به منظور انجام آزمایش در این تحقیق، سه نمونه ۲ کیلوگرمی تخمه آفتابگردان رقم آذرگل از مزرعه‌ای در استان خراسان رضوی تهیه و به آزمایشگاه مرکز تحقیقات کشاورزی واقع در این استان منتقل شد. ابتدا بذرهای شکسته، نابالغ و مواد زائد به صورت دستی از بذرهای سالم جدا شدند. به منظور تعیین محتوای رطوبت داخلی بذرها از استاندارد آون هوای داغ به مدت ۲۴ ساعت با دمای 105 ± 1 درجه سلسیوس استفاده گردید (ISI standard, 1966) که این مقدار بر مبنای خشک ۷٪

انجام گرفت (Singh & Goswami, 1996). تخلخل (Porosity), ε ; که به صورت فضاهای جزئی داخل توده که توسط دانه اشغال نشده تعریف می‌شود، توسط رابطه (۹) محاسبه شد (Thompson & Isaac, 1967):

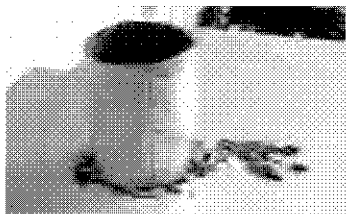
$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_t} \quad (9)$$

ضریب انبساط حجمی دانه (Volumetric expansion coefficient), ψ ; از رابطه (۱۰) به دست آمد (Erica et al., 2004):

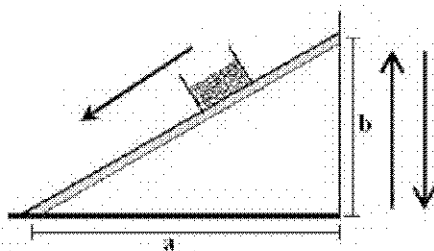
$$\psi = \frac{V}{V_d} \quad (10)$$

ضریب اصطکاک استاتیکی (Static coefficient of friction), μ ; دانه در هر دسته برای محدوده رطوبتی مورد نظر، بر روی تخته چند لایه، آهن گالوانیزه، آلومینیوم، لاستیک و پلاستیک از جنس پلی‌اتیلن اندازه‌گیری شد. این مواد، معمول‌ترین جنس مواد مورد استفاده در فرآیندهای انتقال، فرآوری، انبار و خشک کردن دانه‌ها می‌باشند. به منظور تعیین این ضریب، یک سیلندر از جنس آهن گالوانیزه با قطر ۱۰۰ و ارتفاع ۵۰ میلی‌متر استفاده شد (شکل ۳). سیلندر روی سطحی با جنس مشخص که شیب آن توسط یک پیچ تنظیم می‌شد قرار گرفت. سپس دانه‌ها در داخل آن ریخته شده و سیلندر به آرامی بالا آورده شد، به طوری که با سطح شیب‌دار تماس نداشته و فقط دانه‌ها با سطح شیب‌دار تماس پیدا کنند. آنگاه شیب سطح شیب‌دار به تدریج افزایش داده شد تا جایی که سیلندر حاوی دانه‌ها شروع به سرخوردن کند (شکل ۴). در این لحظه، زاویه سطح شیب‌دار اندازه‌گیری شد (Olajide & Clarke, 1993). در نهایت، ضریب اصطکاک استاتیکی از رابطه (۱۱) تعیین شد (Joshi et al., 1993):

$$\mu = \arctan \frac{b}{a} \quad (11)$$



شکل ۳- سیلندر فلزی مورد استفاده در تعیین ضریب اصطکاک



شکل ۴- روش اندازه‌گیری ضریب اصطکاک استاتیکی

متوسط هندسی (Geometric mean diameter), D_g ; حسابی (Equivalent Arithmetic mean diameter), D_a ; معادل (Equivalent diameter), D_e ; کروییت (Sphericity), ϕ و ضریب رعنائی (Aspect ratio), R_a به ترتیب توسط معادلات (۲) تا (۶) محاسبه گردید (Mohsenin, 1986):

$$D_g = (LDT)^{1/3} \quad (2)$$

$$D_a = \frac{(L+W+T)}{3} \quad (3)$$

$$D_e = L \frac{(W+T)^2}{4}^{1/3} \quad (4)$$

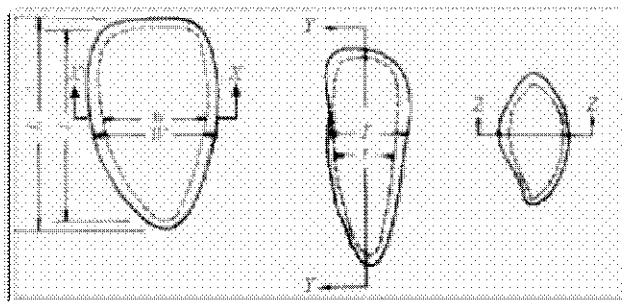
$$\phi = \frac{(LDT)^{1/3}}{L} \quad (5)$$

$$R_a = \frac{W}{L} \quad (6)$$

سطح رویه (Surface Area), S و حجم ظاهری دانه‌ها (Volume), V به ترتیب از روابط (۷) و (۸) به دست آمد (Ozarslan, 2002):

$$S = \pi D_g^2 \quad (7)$$

$$V = \frac{\pi}{6} D_g^3 \quad (8)$$



شکل ۲- ابعاد دانه آفتابگردان

برای تشخیص وجود همبستگی بین ابعاد دانه‌ها با وزنشان در هر دسته، از یک ترازوی الکترونیکی با دقت ۰/۰۱ گرم استفاده شد (Gupta & Das, 1997). به منظور تعیین متوسط جرم هزار دانه، سه نمونه ۱۰۰۰ تایی از هر دسته انتخاب و وزن شدند. چگالی توده و حقیقی دانه‌ها در هر دسته، برای هر سه رطوبت مورد نظر تعیین گردید. چگالی توده (Bulk density), ρ_b ; نسبت جرم نمونه به حجم آن است، که با پر کردن یک بشر ۵۰۰ میلی‌لیتری و خالی نمودن آن از یک ارتفاع ۱۵ سانتی‌متری و در نهایت وزن کردن ظرف حاوی نمونه‌ها تعیین شد (Gupta & Das, 1997). چگالی حقیقی (True density), ρ_t ; نسبت جرم نمونه به حجم خالص آن (بدون در نظر گرفتن تخلخل بین دانه‌ها و تخلخل دانه) تعریف می‌شود، که اندازه‌گیری این پارامتر به روش جابه‌جایی تولوئن ($C_6H_5CH_3$)

دسته در رطوبت مورد نظر در شکل (۵) آمده است. نتایج ارزیابی ابعاد دانه در دسته بزرگ نشان داد که حدود ۵۰٪ از دانه‌ها طول کوچکتر از ۱۱ میلی‌متر، ۴۲٪ از دانه‌ها طول بین ۱۱ تا ۱۲ میلی‌متر، ۸٪ از دانه‌ها طول بزرگتر از ۱۲ میلی‌متر، ۳۸٪ عرض کوچکتر از ۸ میلی‌متر، ۵۲٪ عرض بین ۸ تا ۹ میلی‌متر، ۱۰٪ عرض بزرگتر از ۹ میلی‌متر، ۳۴٪ ضخامت کوچکتر از ۵ میلی‌متر، ۵۰٪ ضخامت بین ۵ تا ۶ میلی‌متر و ۱۶٪ ضخامت بزرگتر از ۶ میلی‌متر را دارا می‌باشند. در ارزیابی مشابه بر روی دسته متوسط، حدود ۳۶٪ از دانه‌ها طول کوچکتر از ۱۱ میلی‌متر، ۳۰٪ از دانه‌ها طول بین ۱۱ تا ۱۲ میلی‌متر، ۳۴٪ از دانه‌ها طول بزرگتر از ۱۲ میلی‌متر، ۲۲٪ عرض کوچکتر از ۶ میلی‌متر، ۷۶٪ عرض بین ۶ تا ۷ میلی‌متر، ۲٪ عرض بزرگتر از ۷ میلی‌متر، ۵۰٪ ضخامت کوچکتر از ۴ میلی‌متر، ۴۶٪ ضخامت بین ۴ تا ۵ میلی‌متر و ۴٪ ضخامت بزرگتر از ۵ میلی‌متر را مشخص کردند. در دسته کوچک، تقریباً ۵۳٪ دانه‌ها دارای طول کوچکتر از ۱۱ میلی‌متر، ۳۲٪ در محدوده طولی بین ۱۱ تا ۱۲ میلی‌متر بوده، ۲۲٪ دارای طول بزرگتر از ۱۲ میلی‌متر، ۴۲٪ دارای عرض کوچکتر از ۵ میلی‌متر، ۷۲٪ در محدوده عرضی بین ۵ تا ۶ میلی‌متر، ۲٪ دارای عرض بزرگتر از ۶ میلی‌متر، ۸٪ دارای ضخامت کوچکتر از ۳ میلی‌متر، ۷۲٪ در محدوده ضخامت بین ۳ تا ۴ میلی‌متر، ۲۰٪ دارای ضخامت بزرگتر از ۴ میلی‌متر هستند.

محققان دیگری از این روش برای اندازه‌گیری ضریب اصطکاک دانه‌های مختلف استفاده کردند (Dutta et al., 1988; Joshi et al., 1993; Singh & Goswami, 1996) در هر دسته و محدوده رطوبتی مورد نظر با استفاده از یک ستون هوا اندازه‌گیری شد (Joshi et al., 1997; Gupta & Das, 1993). برای هر آزمایش، نمونه‌ای از دانه از قسمت بالای ستون هوا به پایین انداخته شد. هوا در داخل ستون مورد نظر از پایین به سمت بالا دمیده شد. سپس میزان سرعت هوا افزایش داده شد تا نمونه دانه به حالت معلق در آید. آن گاه سرعت هوا در هنگام شناوری هر نمونه توسط یک بادسنج از نوع سیم داغ (AM4205، ساخت شرکت لثرون، تایوان) با حساسیت حداقل ۰/۱ متر بر ثانیه اندازه‌گیری شد (Joshi et al., 1993; Aydin & Ozcan, 2002; Gezer et al., 2002). تمامی آزمایشات با ۵ تکرار انجام و میانگین‌ها گزارش شده‌اند. به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها و به دست آوردن روابط رگرسیون و ضرایب همبستگی از نرم افزار ۱۶ SPSS استفاده شد.

نتایج و بحث

اندازه و توزیع فراوانی ابعاد دانه آفتابگردان

خصوصیات ابعادی حاصل از اندازه‌گیری ۵۰ دانه آفتابگردان به همراه انحراف معیار داده‌ها برای هر سه دسته بزرگ، کوچک و متوسط در جدول (۱) نشان داده شده است. نمودار فراوانی طول، عرض و ضخامت دانه آفتابگردان برای هر

جدول ۱- خصوصیات ابعادی دانه آفتابگردان

پارامتر	دسته بندی دانه ها		
	کوچک	متوسط	بزرگ
معیار طبقه بندی (ضخامت)	کوچکتر از ۶ میلی‌متر	بین ۶ تا ۸ میلی‌متر	بزرگتر از ۸ میلی‌متر
میانگین طول (میلی‌متر)	۱۱/۱۶ ± ۱/۰۳	۱۱/۵۹ ± ۱/۰۱	۱۲/۰۹ ± ۰/۶۴
میانگین عرض (میلی‌متر)	۵/۰۸ ± ۰/۵۸	۶/۳۱ ± ۰/۴۰	۸/۱۹ ± ۰/۶۶
میانگین ضخامت (میلی‌متر)	۳/۶۴ ± ۰/۵۳	۴/۰۵ ± ۰/۴۵	۵/۳۳ ± ۰/۶۳

ضرایب همبستگی (Coefficients of correlation) ابعاد برای هر سه دسته وجود رابطه معنی دار (در سطح ۰/۱) بین طول دانه آفتابگردان با عرض و ضخامت آن و عرض با ضخامت را نشان داد. همچنین هیچ ارتباط معنی داری بین ابعاد و جرم دانه مشاهده نشد (جدول ۲). Gupta & Das (1997) بیان کردند که در سطح ۰/۱ طول تخمه رابطه معنی داری با عرض و ضخامت آن دارد در حالی که ارتباط آن با جرم دانه معنی دار نیست. Joshi et al. (1993) با اندازه‌گیری ابعاد دانه کدو دریافتند که ارتباط معنی داری بین عرض و طول دانه وجود



شکل ۵- نمودار فراوانی ابعاد دانه آفتابگردان در سه محدوده دسته بندی

جدول ۳- میانگین خصوصیات هندسی ضرایب سطح و حجم ظاهری دانه آفتابگردان در سطح رطوبتی ۷٪

دسته بندی دانه ها			پارامتر
کوچک	متوسط	بزرگ	
۵/۹۱	۶/۶۵	۸/۰۸	قطر متوسط هندسی (میلی متر)
۶/۶۳	۷/۲۹	۸/۵۴	قطر متوسط حسابی (میلی متر)
۵/۹۷	۶/۷۶	۸/۱۱	قطر معادل (میلی متر)
۰/۵۳	۰/۵۸	۰/۶۷	ضریب کرویت
۰/۴۵	۰/۵۵	۰/۶۸	ضریب رعنائی
۰/۸۷	۱/۰۳	۱/۳۸	ضریب انبساط حجمی
۱۰۹/۸۳	۱۳۹/۰۳	۲۰۵/۳۶	سطح رویه (میلی متر مربع)
۱۰۸/۲۳	۱۵۴/۱۴	۲۷۶/۷۲	حجم (میلی متر مکعب)

جرم دانه و وزن هزاردانه

میانگین جرم دانه (m) و وزن هزار دانه (m_{1000}) تخمه آفتابگردان برای هر سه دسته در محدوده رطوبتی (M_c) ۳ تا ۱۴٪ در شکل‌های (۶) و (۷) نشان داده شده است. همانطور که از این اشکال مشاهده می‌شود این دو پارامتر با افزایش رطوبت در هر سه دسته به صورت خطی افزایش می‌یابند. روابط رگرسیونی، برای جرم دانه و وزن هزار دانه تخمه آفتابگردان در محتوای رطوبتی بین ۳٪ تا ۱۴٪ در هر دسته به صورت زیر می‌باشد:

$$m = 0.1318 + 0.0032M_c \quad (12) \quad \text{در دسته بزرگ}$$

$$R^2 = 0.96$$

$$m_{1000} = 3.3311 + 114.29M_c \quad (13) \quad \text{در دسته بزرگ}$$

$$R^2 = 0.99$$

$$m = 0.078 + 0.0034M_c \quad (14) \quad \text{در دسته متوسط}$$

$$R^2 = 0.93$$

$$m_{1000} = 2.9732 + 74.35M_c \quad (15) \quad \text{در دسته متوسط}$$

$$R^2 = 0.99$$

$$m = 0.0774 + 0.0013M_c \quad (16) \quad \text{در دسته کوچک}$$

$$R^2 = 0.88$$

$$m_{1000} = 1.2173 + 69.09M_c \quad (17) \quad \text{در دسته کوچک}$$

$$R^2 = 0.89$$

(1996) Singh & Goswami, (1993) Deshpande et al.

به ترتیب روابطی خطی را برای بذر خیار و سویا گزارش کردند. Isik & Izli (2007) افزایش وزن هزار دانه یک واریته محلی تخمه در ترکیه را با افزایش رطوبت گزارش کردند.

چگالی توده

چگالی توده دانه آفتابگردان در هر سه دسته با افزایش رطوبت از ۳٪ تا ۱۴٪ به صورت خطی کاهش یافت (شکل ۸). میانگین چگالی توده در دسته بزرگ از ۴۶۰ تا ۴۳۸، در دسته

دارد، در حالی که ضخامت و جرم، ارتباط کمتری را با طول دانه‌ها نشان دادند. Makanjuola (1972) بی ارتباط بودن ضخامت دانه هندوانه به طول آن را گزارش کرد.

جدول ۲- ضرایب همبستگی ابعاد دانه آفتابگردان در رطوبت ۷٪

پارامتر	نسبت	درجه آزادی	ضریب همبستگی
طول/عرض	۱/۷۸	۹۸	۰/۳۷**
طول/ضخامت	۲/۶۷	۹۸	۰/۴**
عرض/ضخامت	۱/۵	۹۸	۰/۸۲**
طول/جرم	۱۰۲/۹۴	۹۸	۰/۱۸
عرض/جرم	۵۷/۹۴	۹۸	۰/۱۳
ضخامت/جرم	۳۸/۵۲	۹۸	۰/۱۵

** معنی دار در سطح احتمال ۱٪

قطر متوسط هندسی، قطر حسابی، قطر معادل، ضریب کرویت، ضریب رعنائی، ضریب انبساط حجمی، سطح رویه و حجم ظاهری دانه‌ها

مقادیر میانگین این پارامترها برای هر سه دسته به عنوان نمونه در محدوده رطوبتی ۷٪ در جدول (۳) آمده است. با افزایش اندازه دانه آفتابگردان از کوچک به بزرگ، مقدار متوسط قطر هندسی به ترتیب از ۵/۹۱ تا ۸/۰۸ افزایش یافت. در تحقیق انجام شده توسط Gupta & Das (1997)، مقدار متوسط قطر متوسط هندسی ۵/۳۹ گزارش شد. قطر متوسط حسابی نیز با افزایش اندازه، از ۶/۶۳ تا ۸/۵۴ افزایش یافت. Isik & Izli (2007) مقدار قطر متوسط هندسی و حسابی را برای یک واریته محلی تخمه در ترکیه به ترتیب مقدار ۶/۳۷ و ۶/۱۵ گزارش کردند. همچنین متوسط قطر معادل از ۵/۹۷ تا ۸/۱۱ تغییر یافت. در تحقیقات انجام شده توسط محققان دیگر این پارامتر برای دانه آفتابگردان محاسبه نشده است. مقدار میانگین ضریب کرویت برای دانه آفتابگردان با افزایش اندازه از ۰/۵۳ تا ۰/۶۷ افزایش یافت. Gupta & Das (1997) محدوده تغییرات ضریب کرویت را ۰/۶۷ - ۰/۴۷ گزارش کردند. Isik & Izli (2007) این محدوده را از ۰/۷۹ تا ۰/۸۴ ارائه کردند. مقادیر متوسط ضرایب رعنائی و انبساط حجمی با افزایش اندازه به ترتیب از ۰/۴۵ تا ۰/۶۸ و ۰/۸۷ تا ۱/۳۸ تغییر یافتند. این مقادیر برای دانه آفتابگردان توسط محققان دیگر ارائه نشدند. همچنین مقادیر سطح رویه و حجم ظاهری دانه‌ها در رطوبت ۷٪ با افزایش اندازه به ترتیب از ۱۰۹/۸۳ تا ۲۰۵/۳۶ و ۱۰۸/۲۳ تا ۱۷۶/۷۲ افزایش یافتند. این مقادیر نیز برای دانه آفتابگردان توسط محققان دیگر به دست نیامده است.

Archivae SID
 محققان متعددی روابط خطی مشابه برای سایز محصولات کشاورزی گزارش کردند (Gupta & Das, 1997; Dutta et al., 1988; Deshpande et al., 1993; Gupta & Prakash, 1992)

چگالی حقیقی

برای محدوده رطوبتی مورد نظر در هر سه دسته، چگالی حقیقی با افزایش رطوبت افزایش یافت (شکل ۹). این پارامتر برای دسته بزرگ از ۷۰۰ تا ۷۹۰، برای دسته متوسط از ۶۰۰ تا ۷۱۰ و برای دسته کوچک از ۶۲۴ تا ۷۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب افزایش یافت. در تحقیق انجام شده توسط Gupta & Das (1997) چگالی حقیقی از ۷۰۶ تا ۷۶۵ کیلوگرم بر متر مکعب به صورت خطی افزایش یافت. Isik & Izli (2007) محدوده افزایش چگالی را بین ۸۸۵ تا ۹۰۲ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش کردند. روابط رگرسیونی برای چگالی حقیقی با افزایش رطوبت از ۳٪ تا ۱۴٪ به صورت زیر به دست آمد:

(۲۱) در دسته بزرگ $\rho_t = 0.6788 + 0.0081M_c$

$R^2 = 0.99$

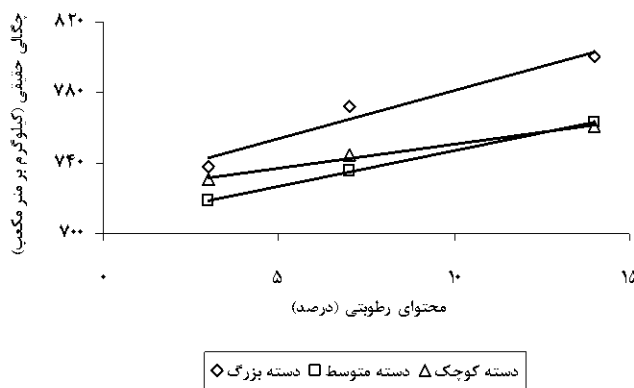
(۲۲) در دسته متوسط $\rho_t = 0.6071 + 0.0068M_c$

$R^2 = 0.98$

(۲۳) در دسته کوچک $\rho_t = 0.5608 + 0.0103M_c$

$R^2 = 0.96$

در تحقیقات متعدد، افزایش خطی برای چگالی حقیقی نخود، دانه آفتابگردان، سویا و دانه گلرنگ با افزایش رطوبت گزارش شده است (Gupta & Das, 1997; Dutta et al., 1988; Deshpande et al., 1993; Gupta & Prakash, 1992)



شکل ۹- تغییرات چگالی حقیقی دانه آفتابگردان

تخلخل

تغییرات تخلخل در محدوده رطوبت مورد مطالعه، از قرار دادن مقادیر میانگین چگالی توده و حقیقی هر دسته در معادله (۹) به دست آمد (شکل ۱۰). با افزایش رطوبت از ۳٪ تا ۱۴٪ در هر دسته، تخلخل به صورت خطی افزایش یافت. افزایش تخلخل

متوسط از ۴۲۰ تا ۳۹۰ و در دسته کوچک از ۴۱۰ تا ۳۷۸ کیلوگرم بر متر مکعب کاهش یافت. Gupta & Das (1997) کاهش چگالی توده را برای دانه آفتابگردان در محدوده رطوبتی بین ۴٪ تا ۲۰٪ از ۴۶۲ تا ۴۳۴ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش کردند. Isik & Izli (2007) محدوده کاهش چگالی را برای یک واریته محلی تخمه با افزایش رطوبت از ۱۰٪ تا ۲۷٪ به صورت $\rho_b = 466 - 2M_c$ در دسته بزرگ (۱۸) و $\rho_b = 425.83 - 2.6452M_c$ در دسته متوسط (۱۹) و $\rho_b = 407.63 - 2.871M_c$ در دسته کوچک (۲۰) بیان کردند. روابط رگرسیونی برای چگالی توده در محدوده رطوبتی مورد نظر به صورت زیر به دست آمد:

(۱۸) در دسته بزرگ $\rho_b = 466 - 2M_c$

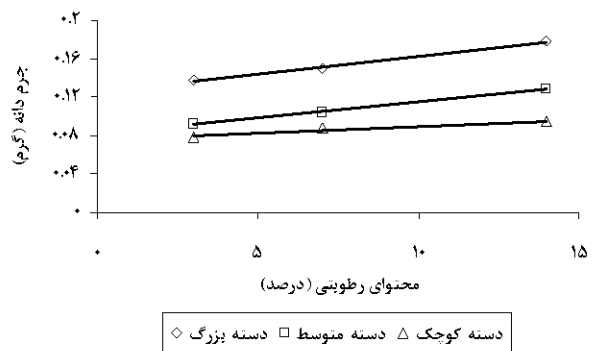
$R^2 = 0.99$

(۱۹) در دسته متوسط $\rho_b = 425.83 - 2.6452M_c$

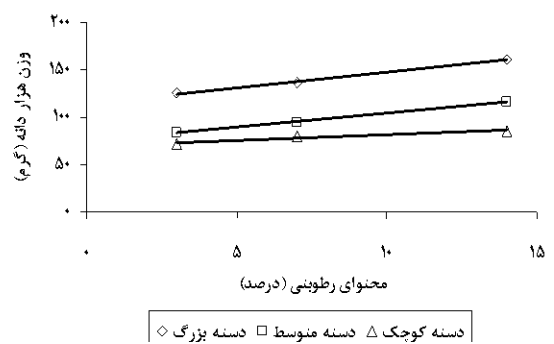
$R^2 = 0.96$

(۲۰) در دسته کوچک $\rho_b = 407.63 - 2.871M_c$

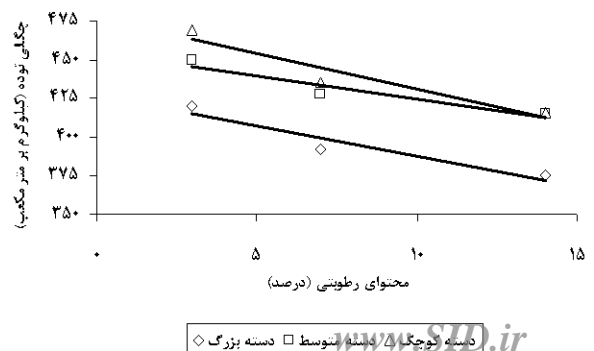
$R^2 = 0.99$



شکل ۶- تغییرات جرم دانه در هر سه دسته بزرگ



شکل ۷- تغییرات وزن هزار دانه در هر سه دسته



شکل ۸- تغییرات چگالی توده دانه آفتابگردان

صورت خطی افزایش یافت. مقدار این افزایش در دسته بزرگ از ۶/۶ تا ۷/۶۸، در دسته متوسط از ۶/۵۸ تا ۷/۰۸ و در دسته کوچک از ۶/۲۸ تا ۶/۸ متر بر ثانیه است. Gupta & Das (1997) این محدوده را ۵/۸ تا ۷/۶ متر بر ثانیه گزارش کردند. Isik & Izli (2007) محدوده تغییرات را ۴/۰۷ تا ۴/۵۷ متر بر ثانیه گزارش کردند. روابط رگرسیونی سرعت حد با محتوای رطوبتی در هر دسته به صورت زیر به دست آمد:

$$\nu = 5.81 + 0.27M_c \quad \text{در دسته بزرگ} \quad (27)$$

$$R^2 = 0.99$$

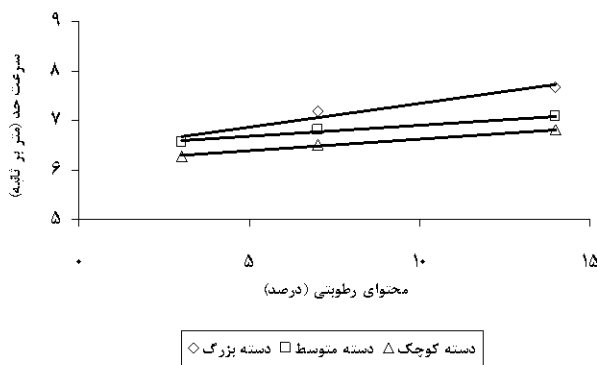
$$\nu = 6.2683 + 0.125M_c \quad \text{در دسته متوسط} \quad (28)$$

$$R^2 = 0.84$$

$$\nu = 5.93 + 0.13M_c \quad \text{در دسته کوچک} \quad (29)$$

$$R^2 = 0.93$$

نتایج مشابهی توسط محققان متعددی گزارش شده است (Joshi et al., 1993; Singh & Goswami, 1996; Gupta & Das, 1997; Isik & Izli, 2007)



شکل ۱۱- تغییرات سرعت حد دانه آفتابگردان در محدوده رطوبتی ۳٪ تا ۱۴٪

ضریب اصطکاک

مقادیر میانگین ضریب اصطکاک (μ) دانه آفتابگردان بر روی تخته چند لایه، آهن گالوانیزه، آلومینیوم، لاستیک و پلاستیک از جنس پلی اتیلن برای محدوده رطوبتی بین ۳٪ تا ۱۴٪ در هر دسته در جدول (۴) نشان داده شده‌اند. مقدار متوسط ضریب اصطکاک بر روی تمامی سطوح با افزایش رطوبت در هر دسته به صورت خطی افزایش یافت.

جدول ۴- مقادیر متوسط ضریب اصطکاک برای دسته بندی دانه ها در محتوای رطوبتی بین ۳٪ تا ۱۴٪

پارامتر	دسته بندی دانه ها و رطوبت								
	کوچک			متوسط			بزرگ		
	۷٪	۴٪	۳٪	۷٪	۴٪	۳٪	۷٪	۴٪	۳٪
آلومینیوم	۰/۳۶	۰/۳۵	۰/۳۴	۰/۳۹	۰/۳۶	۰/۳۴	۰/۴۴	۰/۴۳	۰/۴۲
تخته چند لایه	۰/۲۷	۰/۱۹	۰/۱۸	۰/۲۸	۰/۲۱	۰/۱۹	۰/۳۰	۰/۲۴	۰/۲۳
آهن گالوانیزه	۰/۲۶	۰/۲۴	۰/۲۲	۰/۲۹	۰/۲۵	۰/۲۲	۰/۳۴	۰/۲۶	۰/۲۳
پلاستیک	۰/۳۳	۰/۲۴	۰/۲۲	۰/۳۶	۰/۲۳	۰/۲۲	۰/۳۹	۰/۳۷	۰/۳۱
لاستیک	۰/۲۵	۰/۲۳	۰/۲۱	۰/۲۶	۰/۲۴	۰/۲۲	۰/۳۳	۰/۲۸	۰/۲۶

در دسته بزرگ از ۰/۳۴ تا ۰/۴۴، در دسته متوسط از ۰/۳ تا ۰/۴۵ و در دسته کوچک از ۰/۳۴ تا ۰/۴۶ به دست آمد. Gupta & Das (1997) تغییرات تخلخل را با افزایش رطوبت از ۴٪ تا ۲۰٪ برای دانه آفتابگردان محدوده ۳۴/۳ تا ۴۳/۳٪ گزارش کردند. Isik & Izli (2007) افزایش تخلخل را با افزایش رطوبت برای یک واریته محلی تخمه از ۵۳/۰۶ تا ۵۴/۹۳٪ بیان کردند. روابط رگرسیونی تخلخل با افزایش رطوبت در هر دسته به صورت زیر به دست آمد:

$$\varepsilon = 0.319 + 0.0089M_c \quad \text{در دسته بزرگ} \quad (24)$$

$$R^2 = 0.98$$

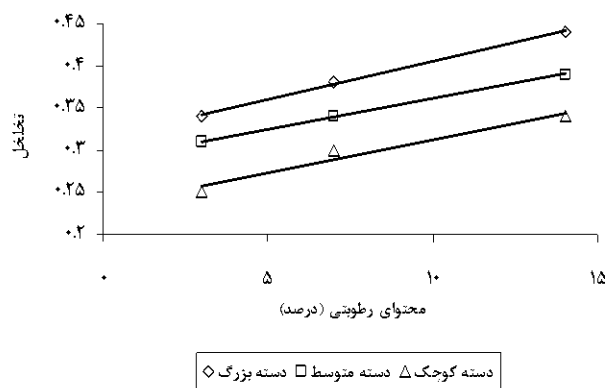
$$\varepsilon = 0.257 + 0.0137M_c \quad \text{در دسته متوسط} \quad (25)$$

$$R^2 = 0.99$$

$$\varepsilon = 0.3148 + 0.0106M_c \quad \text{در دسته کوچک} \quad (26)$$

$$R^2 = 0.96$$

نتایج حاصله از تخلخل سایر دانه‌ها نشان داد که افزایش تخلخل به دست آمده در اثر افزایش رطوبت در دانه آفتابگردان بسیار شبیه به دانه گلرنگ، سویا و تخمه کدو می‌باشد (Joshi et al., 1993; Dutta et al., 1988; Gupta & Prakash, 1992)



شکل ۱۰- تغییرات تخلخل دانه آفتابگردان

سرعت حد

تغییرات سرعت حد (V) در محدوده رطوبتی مورد مطالعه در هر دسته در شکل (۱۱) نشان داده شده است. با افزایش رطوبت در هر دسته، مقدار متوسط سرعت حد به

Archive of SID

متعددی ارائه شده است (Joshi et al., 1993; Singh & Goswami, 1996).

نتیجه گیری

در این تحقیق خواص فیزیکی و آیرودینامیکی دانه آفتابگردان رقم آذرگل برای محتوای رطوبتی بین ۳٪ تا ۱۴٪ در سه دسته بزرگ، متوسط و کوچک مطالعه شد. تجزیه و تحلیل ابعادی دانه‌ها وجود ارتباط معنی‌داری در سطح ۱٪ بین طول دانه با عرض و ضخامت آن و همچنین عرض با ضخامت را نشان داد. همچنین مشاهده شد که جرم دانه با ابعاد آن رابطه معنی‌داری ندارد. در رطوبت ۷٪ محدوده تغییرات قطر متوسط هندسی، قطر متوسط حسابی، قطر معادل، ضریب کروی، ضریب رعنائی، ضریب انبساط حجمی، سطح و حجم دانه به ترتیب ۵/۹۱ تا ۸/۰۸ میلی‌متر، ۶/۶۳ تا ۸/۵۴ میلی‌متر، ۵/۹۷ تا ۸/۱۱ میلی‌متر، ۰/۵۳ تا ۰/۶۷، ۰/۴۵ تا ۰/۶۸، ۰/۸۷ تا ۱/۳۸، ۱۰۹/۸۳ تا ۲۰۵/۳۶ میلی‌متر مربع و ۱۰۸/۲۳ تا ۲۰۶/۷۲ میلی‌متر مکعب به دست آمدند. نتایج نشان داد که با افزایش رطوبت دانه از ۳٪ تا ۱۴٪ مقادیر متوسط جرم دانه، وزن هزار دانه، چگالی حقیقی، تخلخل، سرعت حد در هر سه دسته به صورت خطی افزایش یافتند. درحالی که با افزایش رطوبت، مقدار میانگین چگالی توده به صورت خطی کاهش یافت. نتایج حاصله از ضریب اصطکاک بر روی سطوح آلومینیوم، تخته چند لایه، آهن گالوانیزه، پلی اتیلن و لاستیک افزایش خطی این پارامتر را با افزایش رطوبت نشان داد. بیشترین ضریب اصطکاک مربوط به سطح آلومینیوم در دسته بزرگ بود (۰/۴۲ تا ۰/۴۵).

فهرست علائم و اختصارات

D_a	قطر متوسط حسابی (میلی‌متر)
D_e	قطر معادل (میلی‌متر)
D_g	قطر متوسط هندسی (میلی‌متر)
L	طول دانه (میلی‌متر)
M_c	محتوای رطوبتی بر پایه خشک (درصد)
M_i	محتوای رطوبتی اولیه نمونه‌ها بر پایه خشک (درصد)
M_f	محتوای رطوبتی مورد نظر بر پایه خشک (درصد)
m	جرم دانه (گرم)
m_{1000}	جرم هزار دانه
Q	جرم آب اضافه شده (کیلوگرم)
R_a	ضریب رعنائی
S	سطح روبه دانه (میلی‌متر مربع)
T	ضخامت دانه (میلی‌متر)
V	حجم ظاهری دانه (میلی‌متر مکعب)

Gupta & Das (1997) محدوده تغییرات ضریب اصطکاک دانه آفتابگردان در محدوده رطوبت بین ۴ تا ۲۰٪ بر روی دو سطح آهن گالوانیزه و فولاد نرم را به ترتیب ۰/۳۹ تا ۰/۵۲ و ۰/۴۱ تا ۰/۵۶ گزارش کردند. Isik & Izli (2007) محدوده تغییرات ضریب اصطکاک را در محتوای رطوبتی ۱۰ تا ۲۷٪ بر روی سطح آلومینیوم ۰/۵۵ تا ۰/۶۵، بر روی سطح فولاد نرم ۰/۴۹ تا ۰/۵۶، بر روی سطح آهن گالوانیزه ۰/۵۳ تا ۰/۵۹ و روی شیشه ۰/۴۱ تا ۰/۴۵ ارائه کردند. روابط رگرسیونی بین ضریب اصطکاک و محتوای رطوبتی به صورت زیر به دست آمد:

- (۳۰) بر روی سطح آلومینیوم در دسته بزرگ

$$\mu = 0.4158 + 0.0018M_c \quad R^2 = 0.98$$
- (۳۱) بر روی سطح آلومینیوم در دسته متوسط

$$\mu = 0.3273 + 0.0048M_c \quad R^2 = 0.99$$
- (۳۲) بر روی سطح آلومینیوم در دسته کوچک

$$\mu = 0.3358 + 0.0018M_c \quad R^2 = 0.98$$
- (۳۳) بر روی سطح تخته چند لایه در دسته بزرگ

$$\mu = 0.2038 + 0.0068M_c \quad R^2 = 0.96$$
- (۳۴) بر روی سطح تخته چند لایه در دسته متوسط

$$\mu = 0.1616 + 0.0081M_c \quad R^2 = 0.94$$
- (۳۵) بر روی سطح تخته چند لایه در دسته کوچک

$$\mu = 0.1555 + 0.0075M_c \quad R^2 = 0.98$$
- (۳۶) بر روی سطح پلاستیک در دسته بزرگ

$$\mu = 0.2985 + 0.0069M_c \quad R^2 = 0.82$$
- (۳۷) بر روی سطح پلاستیک در دسته متوسط

$$\mu = 0.161 + 0.0139M_c \quad R^2 = 0.93$$
- (۳۸) بر روی سطح پلاستیک در دسته کوچک

$$\mu = 0.1815 + 0.0101M_c \quad R^2 = 0.98$$
- (۳۹) بر روی سطح آهن گالوانیزه در دسته بزرگ

$$\mu = 0.1984 + 0.0099M_c \quad R^2 = 0.98$$
- (۴۰) بر روی سطح آهن گالوانیزه در دسته متوسط

$$\mu = 0.007 + 0.1996M_c \quad R^2 = 0.99$$
- (۴۱) بر روی سطح آهن گالوانیزه در دسته کوچک

$$\mu = 0.2115 + 0.0035M_c \quad R^2 = 0.93$$
- (۴۲) بر روی سطح لاستیک در دسته بزرگ

$$\mu = 0.2382 + 0.0064M_c \quad R^2 = 0.99$$
- (۴۳) بر روی سطح لاستیک در دسته متوسط

$$\mu = 0.0032 + 0.2135M_c \quad R^2 = 0.99$$
- (۴۴) بر روی سطح لاستیک در دسته کوچک

$$\mu = 0.2037 + 0.0033M_c \quad R^2 = 0.99$$

نتایج مشابه بر روی دانه‌های مختلف توسط محققان

ρ_s	چگالی حقیقی (کیلوگرم بر متر مکعب)	V_d	حجم دانه خشک (میلی متر مکعب)
μ	ضریب اصطکاک استاتیکی	W	عرض دانه (میلی متر)
ε	تخلخل	W_i	جرم اولیه نمونه به کیلوگرم
ϕ	کروییت	ρ_b	چگالی توده (کیلوگرم بر متر مکعب)
ν	سرعت حد (متر بر ثانیه)	ψ	ضریب انبساط حجمی دانه

REFERENCES

- Aviara, N. A., Geandzang, M. I. & Hague, M. A. (1999). Physical properties of gona seeds. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 73, 105-111.
- Aydin, C. & Ozcan, M. (2002). Some physico-mechanic properties of terebinth fruits. *Journal of Food Engineering*, 53, 97-101.
- Bargale, P. C., Irudayaraj, J. M. & Marquis, B. (1995). Studies on Rheological behaviour of canola and wheat. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 61, 267-274.
- Carman, K. (1996). Some physical properties of lentil seeds. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 63, 87-92.
- Deshpande, S. D., Bal, S. & Ojha, T. P. (1993). Physical properties of soybean. *Journal of Food Engineering Research*, 56, 89-98.
- Dutta, S. K., Nema, V. K. & Bhardwaj, R. K. (1988). Physical properties of gram. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 39, 259-268.
- Erica, B., Cuniberti, A. & Susana, M. (2004). Moisture dependent physical and compression properties of safflower seed. *Journal of Food Engineering*, 2, 134-140.
- Gezer, I., Haciseferogullari, H. & Demir, F. (2002). Some physical properties of hacihaliloglu apricot pit and kernel. *Journal of Food Engineering*, 56, 49-57.
- Gupta, R. K. & Prakash, S. (1992). The effect of seed moisture content on the physical properties of JSF-1 safflower. *Journal of Oilseeds Research*, 9, 209-216.
- Gupta, R. K. & Das, S. K. (1997). Physical properties of sunflower seeds. *Journal of Food Engineering*, 66, 1-8.
- Isik, E. & Izli, N. (2007). Physical properties of sunflower seeds. *International Journal of Agricultural Research*, 8, 677-686.
- Indian Standards Institute. (1966). *ISI Indian standard method for analysis of oilseeds*. New Delhi. IS: 3579.
- Joshi, D. C., Das, S. K. & Mukherjee, R. K. (1993). Physical properties of pumpkin seeds. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 54, 219-229.
- Makanjuola, G. A. (1972). A study of some of the physical properties of melon seeds. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 12, 128-137.
- Mccabe, W. L., Smith, J. C. & Harriott, P. (1986). *Unit operations of chemical engineering*. New York: McGraw-Hill.
- Mohsenin, N. N. (1986). *Physical Properties of Plant and Animal Materials* (2nd Revised and Updated Edition). New York: Gordon and Breach Science Publishers.
- Oilseeds Cultivation Company. (2003). Ministry of Agriculture. Government of Islamic Republic of IRAN. (In Farsi).
- Olajide, J. A. O. & Clarke, B. (1993). Some aspects of strength properties of cashew nuts. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 55, 27-43.
- Ozarslan, C. (2002). Physical properties of cotton seed. *Biosystems Engineering*, 83, 169-174.
- Parde, S. R., Johal, A., Jayas, D. S. & White, N. D. G. (2003). Physical properties of buckwheat cultivars. *Canadian Biosystems Engineering*, 45(3), 19-22.
- Singh, K. K. & Goswami, T. K. (1996). Physical properties of cumin seed. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 64, 93-98.
- Thompson, R. A. & Isaac, G. W. (1967). Porosity determination of grains and seeds with air comparison pycnometer. *Transactions of the ASAE*, 10, 693-696.