



بررسی تأثیر میزان رطوبت روی خصوصیات هندسی و ثقلی پنبه دانه

علیرضا قدس‌ولی*

دانشیار پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی،
مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان.

چکیده

طراحی تجهیزات مورد نیاز برای فرآیند، سورتینگ، درجه‌بندی و سایر عملیات پس از برداشت محصولات کشاورزی نیازمند اطلاعاتی در خصوص خصوصیات فیزیکی آنها است. در این تحقیق تأثیر میزان رطوبت روی خصوصیات هندسی (طول، عرض، ضخامت، میانگین هندسی و حسابی قطر، سطح جانبی، مساحت تصویر و ضریب کرویت) و خصوصیات ثقلی (وزن هزار دانه، حجم، دانسیته واقعی، دانسیته توده و تخلخل) دانه دو وارپته پنبه (سایاکرا و ساحل) با استفاده از طرح کاملاً تصادفی در قالب آزمایشات فاکتوریل 2×5 (دو سطح رقم و پنج سطح میزان رطوبت) در آزمایشگاه فنی-مهندسی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی گرگان مورد بررسی قرار گرفت. با افزایش میزان رطوبت میزان طول دانه‌ی پنبه ارقام سایاکرا و ساحل به ترتیب در دامنه $8/82-9/15$ و $8/77-8/91$ میلی‌متر، ضخامت دانه به ترتیب در دامنه $3/96-4/16$ و $4/24-4/37$ میلی‌متر، قطر میانگین هندسی به ترتیب در دامنه $5/52-5/73$ و $5/48-5/76$ میلی‌متر و ضریب کرویت به ترتیب $62/7$ و $64/7-65/4$ درصد قرار داشتند. نتایج نشان‌دهنده وجود روابط خطی مثبت بین میزان رطوبت و طول، عرض، ضخامت و میانگین هندسی قطر بود. با افزایش میزان رطوبت، حجم دانه به ترتیب در دامنه‌ی $1/22-1/22$ و $1/0-1/14$ سانتی‌متر مکعب، دانسیته توده به ترتیب در دامنه‌ی $576-514$ و $588-555$ کیلوگرم بر متر مکعب و تخلخل به ترتیب در دامنه‌ی $38/5-62/6$ و $42/9-51/9$ درصد قرار داشتند. برای نشان دادن تغییرات خصوصیات ثقلی دانه دو وارپته پنبه مورد مطالعه با افزایش میزان رطوبت، معادلات رگرسیونی از نوع درجه اول و با ضریب تعیین بالا (R^2) برازش گردید. میزان دانسیته توده با افزایش میزان رطوبت، کاهش خطی و با ضریب تعیین (R^2) بالا را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: پنبه دانه، میزان رطوبت، خصوصیات هندسی، خصوصیات ثقلی.

*مسئول مکاتبه: qodsevali@yahoo.com

مقدمه

پنبه (*Gossypium hirsutum*) در حال حاضر در بسیاری از نقاط دنیا به عنوان یک منبع غذایی (روغن گیاهی خوراکی)، منبع الیاف و خوراک دام (کیک روغنی) با سطح زیر کشتی معادل ۳۱ میلیون هکتار و میانگین عملکرد ۷۲۰ کیلوگرم در هکتار کشت می‌شود. پنبه دانه به‌عنوان یکی از دانه‌های روغنی مهم حاوی حدود ۲۰-۱۲ درصد روغن و ۴۳-۴۰ درصد پروتئین است که از نظر تولید جهانی مقام چهارم را به خود اختصاص داده و در حال حاضر تولید جهانی آن متجاوز از ۳۸ میلیون تن در سال می‌باشد (USDA, 2016).

مهم‌ترین خصوصیات هندسی وابسته به رطوبت مواد بیولوژیکی شامل شکل، اندازه (ابعاد اصلی)، قطرهای میانگین، مساحت سطح، و کرویت می‌باشد (Mohsenin, 1978). ابعاد محوری اصلی دانه‌ها در انتخاب غربال‌های بوجاری و محاسبه نیروی لازم در آسیاب کردن و محاسبه سطح و حجم دانه‌ها که در مدل‌سازی فرآیندهای خشک کردن، هوادهی، گرم و سرد کردن از اهمیت برخوردارند، کاربرد دارند. تعیین ابعاد محوری در طراحی ماشین‌آلات کاشت، بوجاری، سورت کردن و توزیع اندازه ذرات و تأثیر درجه‌بندی در عملیات کاهش اندازه جهت کمینگی مصرف انرژی ضروری است. قطر میانگین هندسی دانه در تعیین سطح مقطع دانه‌ای که در حال حرکت در ناحیه آشفته یا تقریباً آشفته جریان هوا می‌باشد، حائز اهمیت است. سطح مقطع دانه معمولاً نشان‌دهنده الگوی رفتاری دانه در یک سیال در حال حرکت مانند هوا می‌باشد و در بعضی فرآیندها نظیر جداسازی مواد اضافی از دانه‌ها در خلال عملیات تمیز کردن به وسیله‌ی اسباب پنوماتیکی استفاده می‌شود. کرویت، جزء معیارهای تعیین شکل دانه به شمار می‌رود و توصیف قابل درکی از شکل دانه ارائه می‌دهد. غلتاندن و لغزاندن دانه‌ها روی سطوح مختلف به ضریب کرویت بستگی دارد و این فاکتور باید در طراحی تجهیزات مورد نیاز جهت حمل و نقل و پوست‌گیری مورد توجه قرار گیرد تاباک و همکاران (Tabak et al., 2002)، اوزارسلان (Özarslan, 2002)، تاباک و ولف (Tabak and Wolf, 1998) و رابرتس و همکاران (Roberts et al., 1996) خصوصیات فیزیکی و آئروپنماتیکی مختلف پنبه دانه‌های بدون کرک را تعیین کرده‌اند. خصوصیات فیزیکی تعیین شده برای پنبه دانه‌های بدون کرک شامل ابعاد محوری، کرویت، حجم دانه، وزن هزار دانه، مساحت تصویر، سرعت حد و دانسیته‌ی توده در دامنه‌های رطوبتی ۱۳/۷۸-۸/۳۳ درصد بر حسب وزن خشک (Özarslan, 2002) و ۱۶/۲۸-۱۳/۶۴ درصد بر حسب وزن خشک (Roberts et al., 1996) بود. نمونه‌هایی از کاربرد خصوصیات فیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی شامل: تأثیر اندازه، شکل، دانسیته و خصوصیات آئروپنماتیکی دانه و سایر بخش‌های گیاه در طراحی کمابین، تأثیر دانسیته، تخلخل، مقاومت نسبت به جریان هوا و شکل در هوادهی توده محصول و طراحی انبار آن؛

نقش دانسیته، تخلخل، خصوصیات حرارتی، ضریب اصطکاک در طراحی و ساخت خشک‌کن، تاثیر حجم و مساحت سطح در جداسازی دقیق و صحیح، حمل و نقل و انتقال حرارت و جرم، نقش تخلخل در طراحی تجهیزات مورد نیاز برای تامین هوا در خشک کردن، بسته‌بندی، هوادهی و انبارداری، نقش دانسیته و وزن مخصوص در تعیین خلوص بذر، تخمین فضاهای آزاد موجود در بافت گیاه، ارزیابی کیفی محصولاتی که افزایش در میزان رسیدگی آنها همراه با تغییر دانسیته می‌باشد. میزان تخلخل از جمله عواملی است که روی قدرت مورد نیاز برای فن هوادهی تأثیر می‌گذارد (Navarro *et al.*, 2002). اهداف این تحقیق شامل تعیین خصوصیات هندسی و ثقلی دانه‌ی دو رقم پنبه‌ی سای‌اکرا و ساحل و بررسی تاثیر میزان رطوبت روی آنها است.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نمونه‌ها و تعیین میزان رطوبت: دو وارپته‌ی تجاری مهم و کولتیوار پنبه به نام‌های ساحل و سای‌اکرا هر یک به میزان ۲۰ کیلوگرم از موسسه تحقیقات پنبه کشور تهیه شدند. جداسازی مواد خارجی، دانه‌های شکسته و نارس به وسیله‌ی دست انجام شد و در نهایت با توجه به پنج سطح رطوبتی مورد نظر در این آزمایش، ۱۵ کیلوگرم نمونه جدا و به پنج بخش مساوی جهت انجام اندازه‌گیری صفات مختلف تقسیم گردید. میزان رطوبت پایه‌ی هر نمونه با استفاده از روش (ASAE, No S352.2, 1997) و خشک کردن حدود ۱۰ گرم نمونه در آون 103 ± 2 درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به رطوبت ثابت، تعیین شد. جهت تعیین مقدار میانگین رطوبت، آزمایشات در سه تکرار انجام پذیرفت. جهت تهیه نمونه‌هایی با درصد رطوبت بالاتر و مطابق با سطوح رطوبتی مورد نظر در آزمایش، مقادیر محاسبه شده‌ای از آب مقطر به نمونه‌ها افزوده شد. مقدار آب مقطر اضافه شده به وسیله رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد: (Sacilink *et al.*, 2002)

$$Q = [w_i(m_f - m_i) / (100 - m_f)] \quad \text{رابطه (۱):}$$

پس از افزودن آب مقطر به نمونه‌ی موجود در یک کیسه‌ی پلی‌اتیلنی و هم زدن، درب کیسه دوخته شد و به مدت حداقل یک هفته جهت توزیع یکنواخت رطوبت، در محیط یخچال ۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. تمامی آزمایشات خصوصیات فیزیکی دانه‌ها در ۵ سطح رطوبتی و در دامنه‌ی ۳۱/۵۶ - ۲/۶۷ درصد (وزن تر) و هر یک در ۵ تکرار به انجام رسید و میانگین آنها گزارش شد.

اندازه‌گیری خصوصیات هندسی: به منظور تعیین ابعاد اصلی، کرویت، مساحت سطح و سطح تصویر ۱۰۰ دانه به صورت تصادفی انتخاب و سه بعد اصلی آن شامل قطر بزرگ (طول)، قطر متوسط (عرض) و قطر کوچک (ضخامت) با استفاده از کولیس دیجیتال (مدل GUANGLU، ساخت چین) با دقت ۰/۰۱

میلی‌متر در هر سطح رطوبتی مورد نظر در آزمایش اندازه‌گیری شد. وزن هر دانه با توزین هر یک از ۱۰۰ دانه‌ی انتخاب شده به وسیله‌ی ترازوی الکترونیکی با دقت ۰/۰۰۱ گرم تعیین گردید قطر میانگین هر نمونه با استفاده از میانگین حسابی و هندسی سه بعد محوری و به ترتیب با استفاده از رابطه‌های زیر محاسبه گردید:

$$D_g = (LWT)^{1/3} \quad \text{رابطه (۲):} \quad D_a = (L + W + T)/3 \quad \text{رابطه (۳):}$$

محاسبه میزان کرویت پنبه دانه در هریک از سطوح رطوبتی مورد نظر در آزمایش با بهره‌گیری از رابطه‌ی (Mohsenin, 1978).

$$\phi = (LWT)^{1/3} / L \quad \text{رابطه (۴):}$$

سطح جانبی دانه‌ها با استفاده از تشابه هندسی با جسم کره‌ای شکل با همان قطر میانگین هندسی و کاربرد رابطه پیشنهادی مک‌کیب، اسمیت و هریوت (McCabe, Smith, and Harriott, 1986).

$$S = \pi D_g^2 \quad \text{رابطه (۵):}$$

مساحت تصویر دانه‌ها با استفاده از رابطه پیشنهادی بیلانسکی و همکاران (Bilanski et al, 1962) محاسبه گردید.

$$L_1 = (L + W)/2, A = (\pi L L_1)/4 \quad \text{رابطه (۶):}$$

در این رابطه A مساحت تصویر به میلی‌متر مربع؛ L، طول دانه به میلی‌متر؛ L_1 ، میانگین طول و عرض دانه میلی‌متر است.

اندازه‌گیری خصوصیات ثقلی: وزن هر دانه: با توزین هر یک از ۱۰۰ دانه انتخاب شده به وسیله ترازوی الکترونیکی با دقت ۰/۰۰۱ گرم تعیین گردید.

حجم: حجم دانه‌های سویا در سطوح رطوبتی مختلف با استفاده از روش جابه‌جایی مایع تعیین گردید. از تولوئن (C_7H_8) به جای آب استفاده شد زیرا تولوئن به میزان کمتری جذب دانه‌ها شده و به علاوه دارای میزان کشش سطحی کمتری نسبت به آب می‌باشد. برای این که روش از دقت کافی برخوردار باشد بایستی حجم نمونه‌های اضافه شده حداقل ۱۰ برابر کوچکترین درجه‌بندی روی بورت باشد (Mohsenin, 1978).

دانسیته واقعی: عبارت است از نسبت جرم دانه به حجم اشغال شده توسط نمونه با در نظر گرفتن خلل و فرج که در مورد دانه‌های گندم و در هر یک از سطوح رطوبتی مورد آزمایش با استفاده از یک ترازوی الکترونیکی با دقت ۰/۰۰۱ گرم (برای اندازه‌گیری وزن ۱۰ دانه انتخاب شده برای اندازه‌گیری حجم) و یک بورت با دقت ۰/۱ میلی‌لیتر اندازه‌گیری شد. این آزمایش نیز برای بدست آوردن میانگین دانسیته واقعی در ۵ تکرار انجام شد.

دانسیتته توده: در هر سطح رطوبتی با استفاده از ظرفی استوانه‌ای شکل با حجم مشخص (۵۰۰ سانتی‌متر مکعب) اندازه‌گیری می‌گردد. نمونه در داخل قیفی قرار داده شده و در قسمت تحتانی قیف، تیغه‌ای تعبیه شده که با برداشتن آن، نمونه از فاصله ۱۵ سانتی‌متری شروع به ریزش به داخل ظرف می‌نماید. در داخل قیف باید به اندازه‌ی کافی نمونه باشد تا از سطح ظرف سر ریزش شود. با استفاده از یک تیغه‌ی فلزی یا شیشه‌ای و با حرکت زیگزاگ (۵ مرتبه) سطح ماده در داخل ظرف با سطح ظرف تماس می‌گردد. سپس با وزن کردن مقدار نمونه‌ی موجود در ظرف و تقسیم وزن نمونه به حجم ظرف مقدار دانسیته توده محاسبه می‌شود. باید توجه داشت که نمونه به هیچ وجه فشرده نشود. این آزمایش در ۵ تکرار انجام شد (Baryeh, 2001; Jain and Bal, 1997).

تخلخل: یعنی مقدار فضای خالی بین ذرات ماده موجود در توده و عبارت است از نسبت حجم هوا به کل نمونه (ظرف حاوی نمونه) که از رابطه‌ی زیر قابل محاسبه است. این آزمایش نیز برای بدست آوردن میانگین تخلخل در ۵ تکرار انجام پذیرفت. (Mohsenin, 1978).

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_p}\right) \times 100 \quad \text{رابطه (۷)}$$

تمامی آزمایشات در ۵ پنج سطح رطوبتی و در پنج تکرار انجام و میانگین مقادیر گزارش شد. میانگین، بیشینه، کمینه و انحراف از معیار با استفاده از برنامه نرم‌افزاری Excel (۲۰۰۳) تعیین گردید. معادلات رگرسیونی و ضرایب تعیین با استفاده از نرم افزار (Curve expert, version 1.34) به دست آمد.

فهرست علائم

Q، وزن آب مقطر افزوده شده (گرم)؛ W_i ، وزن نمونه؛ m_i و m_f ، میزان رطوبت نهایی و اولیه‌ی نمونه بر حسب وزن تر (درصد)؛ L، قطر بزرگ (mm)؛ T، قطر کوچک (mm)؛ W، قطر متوسط (mm)؛ ϕ ، کرویت؛ D_a ، میانگین حسابی قطر (mm)؛ D_g ، میانگین هندسی قطر (mm)؛ A مساحت تصویر (mm²)؛ L_1 ، میانگین طول و عرض دانه (mm)؛ S، مساحت سطح (mm²)؛ ρ_b ، دانسیته توده؛ ρ_t ، دانسیته‌ی جامد یا ذره یا واقعی؛ V، حجم دانه؛ m_{1000} ، وزن هزار دانه، ε ، تخلخل.

نتایج و بحث

تیمار رقم روی خصوصیات هندسی طول، ضخامت و ضریب کرویت تأثیر معنی‌دار ($P < 0.01$) داشت چنان که میزان ضخامت و ضریب کرویت در دانه‌ی پنبه رقم ساحل به ترتیب ۵/۹ و ۳/۰ درصد بیشتر از موارد مشابه خود در رقم سای‌اکرا بود ولی طول رقم سای‌اکرا ۲/۱ درصد بیشتر از طول دانه رقم ساحل بود. نتایج این آزمایش نشان داد که با افزایش میزان طوبت در دامنه‌ی رطوبتی مورد نظر

برای هر رقم، میزان طول دانه پنبه ارقام سای اکرا و ساحل به ترتیب افزایشی معادل ۳/۷ و ۶/۲ درصد، عرض دانه افزایشی معادل ۲/۷ و ۵/۴ درصد، ضخامت دانه افزایشی معادل ۵/۱ و ۳/۱ درصد، میانگین حسابی قطر افزایشی معادل ۳/۷ و ۵/۴ درصد، میانگین هندسی قطر افزایش معادل ۳/۸ و ۵/۱ درصد، سطح جانبی افزایشی معادل ۷/۳ و ۹/۵ درصد و مساحت تصویر افزایشی معادل ۸/۰ و ۱۱/۹ درصد نشان دادند. در تحقیق دیگری آمده است که میانگین طول، عرض و ضخامت پنبه دانه‌ها همراه با افزایش میزان رطوبت از ۸/۳۳ تا ۱۳/۷۸ درصد، افزایشی به ترتیب از ۹/۰۲ تا ۹/۱۹، ۴/۷۰ تا ۴/۸۶ و ۴/۳۵ تا ۴/۴۵ میلی‌متر نشان می‌دهد (Özarslan, 2002). ابعاد محوری اصلی دانه‌ها در انتخاب غربال‌های بوجاری و محاسبه نیروی لازم در آسیاب کردن حائز اهمیت است. همچنین جهت محاسبه‌ی سطح و حجم دانه‌ها که در مدل‌سازی فرآیندهای خشک کردن، هوادهی، گرم و سرد کردن از اهمیت برخوردارند، کاربرد دارند. تعیین ابعاد محوری در طراحی ماشین‌آلات کاشت، بوجاری، سورت کردن و توزیع اندازه ذرات و تأثیر و درجه‌بندی در عملیات کاهش اندازه جهت کمینه‌ی مصرف انرژی ضروری است. عامل مهم در محاسبه نیروی فشاری که باعث شکستن مکانیکی (پارگی، ترک) دانه می‌شود بعد بیشینه‌ی دانه که نشان دهنده موقعیت ایستا (خوابیدگی) طبیعی دانه است، می‌باشد. ضریب کرویت دانه رقم ساحل به میزان ۳/۰ درصد و با اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) بیشتر از مورد مشابه خود در رقم سای اکرا بود (جدول ۱). کرویت جزء معیارهای تعیین شکل دانه به شمار می‌رود و توصیف قابل درکی از شکل دانه ارائه می‌دهد. غلتاندن و لغزاندن دانه‌ها روی سطوح مختلف به ضریب کرویت بستگی دارد و این فاکتور باید در طراحی تجهیزات مورد نیاز جهت حمل و نقل و پوست‌گیری مورد توجه قرار گیرد کاهش میزان کرویت مواد با کاهش قابلیت جریان‌پذیری و افزایش توان لازم برای انتقال آنها همراه است. در تحقیق دیگری میزان کرویت دانه‌ی سه رقم پنبه ام-سی-یو ۵، ال-آر-ای ۵۱۶۰ و راجات ۵ به ترتیب ۰/۶۴، ۰/۶۴ و ۰/۶۷ گزارش شده است (Manimehalai, and Viswanathan, 2006) که با نتایج آزمایش حاضر (ساحل، ۰/۶۴۷؛ سای اکرا، ۰/۶۷۱) قابل مقایسه است. در تحقیق دیگری میزان ضریب کرویت در رطوبت ۸/۳۳ درصد (وزن خشک) ۰/۶۲۶ گزارش شده است (Özarslan, 2002). تغییرات مقادیر خصوصیات هندسی شامل ابعاد محوری، میانگین حسابی و هندسی قطر، سطح جانبی و مساحت تصویر یا سایه‌نگار و ضریب کرویت دانه‌ی پنبه ارقام ساحل و سای اکرا همراه با افزایش میزان رطوبت نشان دهنده‌ی افزایش خطی مقدار هر یک از خصوصیات هندسی همراه با افزایش میزان رطوبت دانه‌ها بود. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که معادلات رگرسیونی برازش شده برای نشان دادن تغییرات خصوصیات هندسی طول، عرض و ضخامت، میانگین حسابی و هندسی قطر، سطح جانبی و مساحت تصویر دانه‌ی پنبه رقم سای اکرا به‌عنوان تابعی

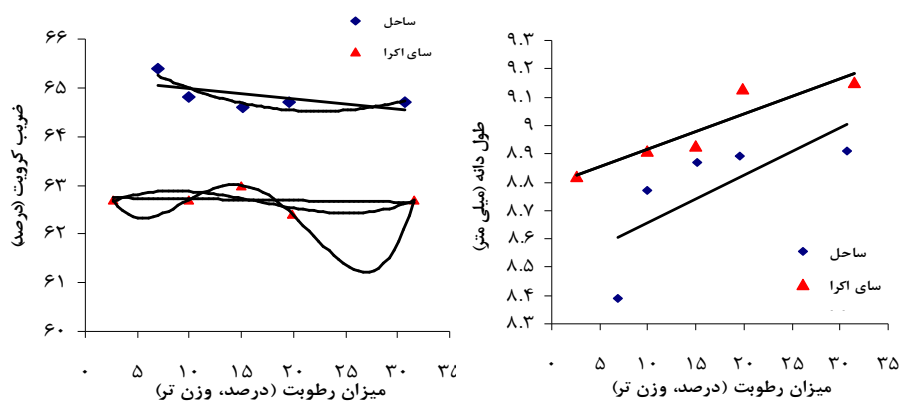
از میزان رطوبت (در محدوده رطوبتی مورد نظر)، همگی از نوع درجه اول بوده و ضرایب تعیین بدست آمده نشان‌دهنده توابع خطی در این موارد بود. محققین دیگر نیز نتایج مشابهی در مورد بادام زمینی (Baryeh, 2001)، نخود (Konak et al., 2002)، ماش (Dutta et al., 1998) و چریش (Visvanatham et al., 1996) گزارش نموده‌اند. مقایسه‌ی ضرایب تعیین (R^2) به‌دست آمده برای طول، عرض و ضخامت رقم ساحل با موارد مشابه خود در رقم سای‌اکرا نشان‌دهنده وجود تفاوت‌های ساختمانی بین دانه‌ی وارپته‌های پنبه مورد آزمایش بود. این امر بالطبع می‌تواند روی روابط رگرسیونی بین قطرهای میانگین حسابی و هندسی دانه وارپته‌های پنبه مورد آزمایش و میزان رطوبت تأثیر گذار باشد.

روابط رگرسیونی بین میانگین‌های حسابی و هندسی قطر دانه‌ی وارپته‌های پنبه‌ی مورد آزمایش و میزان رطوبت در جدول ۲ آورده شده است. این روابط برای رقم سای‌اکرا یک رابطه‌ی خطی مثبت با ضریب تعیین بالای ۰/۹۰ بود در حالی که برای رقم ساحل معادله‌ی درجه دوم برازش بهتری نشان داد. در مورد خصوصیات سطح جانبی، مساحت تصویر و ضریب کرویت برای رقم ساحل با برازش معادلات درجه‌ی دوم ضرایب تعیین بالاتری به دست آمد. در حالی که بین افزایش میزان رطوبت و سطح جانبی دانه‌ی پنبه رقم سای‌اکرا یک رابطه‌ی خطی مثبت با ضریب تعیین ۰/۹۳ حاصل شد و برای دو خصوصیت دیگر حتی با برازش معادلات درجه‌ی سوم ضرایب تعیین بالایی به‌دست نیامد که نشانگر عدم تأثیر افزایش رطوبت بود.

تأثیر رقم روی وزن دانه، دانسیته توده و حجم در سطح آماری یک درصد و روی دانسیته دانه در سطح آماری پنج درصد معنی‌دار ($P < 0/01$) بود. ولی اثر معنی‌داری ($P < 0/01$) روی تخلخل مشاهده نشد. چنان که میزان وزن دانه، دانسیته توده و دانسیته دانه‌ی، دانه پنبه رقم ساحل به ترتیب ۵/۸، ۵/۸ و ۶/۶ درصد بیشتر از موارد مشابه خود در رقم سای‌اکرا بود ولی حجم دانه‌ی پنبه رقم سای‌اکرا ۸/۳ درصد بیشتر از مورد مشابه خود در رقم ساحل بود. نتایج این آزمایش نشان داد که میزان رطوبت تأثیر معنی‌دار ($P < 0/01$ و $P < 0/05$) روی خصوصیات ثقلی وزن هزار دانه، حجم، دانسیته‌ی دانه، دانسیته‌ی توده و تخلخل داشت. با افزایش میزان رطوبت در دامنه رطوبتی مورد نظر برای هر رقم، میزان حجم دانه‌ی پنبه ارقام سای‌اکرا و ساحل به ترتیب افزایشی معادل ۲۲ و ۳۲/۶ درصد؛ وزن دانه افزایشی معادل ۳۲/۳ و ۱۸/۶ درصد؛ دانسیته واقعی افزایشی معادل ۲۸/۹ و ۱۲/۴ درصد؛ تخلخل افزایشی معادل ۷۵/۴ و ۲۱/۰ درصد و دانسیته توده کاهش‌ی معادل ۱۰/۸ و ۵/۶ درصد نشان دادند (جدول ۳ و شکل ۲).

جدول ۱- نتایج خصوصیات هندسی دانه ارقام پنبه مورد آزمایش (میانگین انحراف معیار پنج تکرار±)

رطوبت (وزن تر، درصد)	طول (میلی متر)	عرض (میلی متر)	ضخامت (میلی متر)	میانگین حسابی قطر (میلی متر)	میانگین هندسی قطر (میلی متر)	سطح جانبی (سانتی متر مربع)	ضریب کروییت	مساحت تصویر (سانتی متر مربع)
۶/۹۲	۸/۳۹±۰/۷۳	۴/۶۶±۰/۵۷	۴/۲۴±۰/۴۵	۵/۷۶±۰/۴۶	۵/۴۸±۰/۴۷	۰/۹۵±۰/۱۵	۶۵/۴±۴/۲	۴۳/۳۱±۶/۹۲
۹/۹۶	۸/۷۷±۰/۶۴	۴/۸۸±۰/۳۷	۴/۲۷±۰/۴۱	۵/۹۷±۰/۳۵	۵/۶۷±۰/۳۴	۱/۰۱±۰/۱۲	۶۴/۸±۳/۶	۴۷/۱۳±۶/۱۲
۱۵/۱۵	۸/۸۷±۰/۷۸	۴/۸۷±۰/۴۹	۴/۳۳±۰/۳۷	۶/۰۲±۰/۴۰	۵/۷۱±۰/۳۷	۱/۰۳±۰/۱۳	۶۴/۶±۴/۴	۴۸/۱۲±۷/۲۵
۱۹/۱۶	۸/۸۹±۰/۷۰	۴/۸۹±۰/۳۶	۴/۳۶±۰/۳۶	۶/۰۵±۰/۳۴	۵/۷۳±۰/۳۲	۱/۰۴±۰/۱۱	۶۴/۷±۳/۹	۴۸/۳۴±۶/۷۲
۳۰/۷	۸/۹۱±۰/۵۳	۴/۹۱±۰/۴۰	۴/۳۷±۰/۳۳	۶/۰۷±۰/۳۲	۵/۷۶±۰/۳۲	۱/۰۴±۰/۱۲	۶۴/۷±۲/۹	۴۸/۴۸±۵/۳۵
۲/۶۷	۸/۸۲±۰/۵۴	۴/۸۴±۰/۴۳	۳/۹۶±۰/۳۸	۵/۸۷±۰/۳۰	۵/۵۲±۰/۳۰	۰/۹۶±۰/۱۵	۶۲/۷±۳/۳	۴۴/۳۷±۴/۸۷
۹/۹۶	۸/۹۱±۰/۵۹	۴/۸۷±۰/۴۳	۴/۰۳±۰/۴۵	۵/۹۴±۰/۳۳	۵/۵۸±۰/۳۴	۰/۹۸±۰/۱۲	۶۲/۷±۳/۴	۴۵/۴۱±۵/۵۰
۱۴/۹۳	۸/۹۳±۰/۵۲	۴/۹۰±۰/۳۴	۴/۰۹±۰/۶۵	۵/۹۷±۰/۳۴	۵/۶۲±۰/۳۶	۰/۹۹±۰/۱۳	۶۲/۰±۳/۷	۴۵/۷۶±۵/۴۳
۱۹/۹۲	۹/۱۳±۰/۶۰	۴/۹۴±۰/۴۵	۴/۱۱±۰/۳۹	۶/۰۶±۰/۳۶	۵/۷۰±۰/۳۶	۱/۰۲±۰/۱۱	۶۲/۴±۳/۱	۴۷/۶۵±۵/۸۴
۳۱/۵۶	۹/۱۵±۰/۵۳	۴/۹۷±۰/۳۹	۴/۱۶±۰/۴۱	۶/۰۹±۰/۳۱	۵/۷۳±۰/۳۱	۱/۰۳±۰/۱۲	۶۲/۷±۳/۰	۴۷/۹۳±۵/۲۲



شکل ۱- تاثیر میزان رطوبت روی طول و ضریب کروییت دانه ارقام پنبه آزمایش.

نتایج تحقیق حاضر مبنی بر اینکه دانسیته‌ی توده همراه با افزایش میزان رطوبت با نتایج اوزارسلان (Özarslan, 2002) که کاهش از ۶۴۲ به ۶۱۰ کیلوگرم بر مترمکعب را گزارش نموده است همسویی داشته ولی در مورد دانسیته‌ی دانه که در این آزمایش با افزایش میزان رطوبت افزایش داشت در تحقیق اوزارسلان (Özarslan, 2002) کاهش از ۱۰۹۱ به ۱۰۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب داشته است. در این تحقیق با افزایش رطوبت، شاهد افزایش حجم بودیم. به نظر می‌رسد نرخ افزایش حجم سریع‌تر از افزایش جرم بوده و به دنبال آن ما شاهد کاهش دانسیته توده بودیم. به بیان دیگر افزایش جرم دانه‌های

پنبه در نتیجه جذب رطوبت کمتر از انبساط حجمی توده‌ی دانه با افزایش رطوبت است (زاهدی و دیگران، ۱۳۸۸). احتمالاً این شیوه واکنش مربوط به ویژگی‌های ساختاری دانه می‌باشد (Jayan and Kumar, 2004).

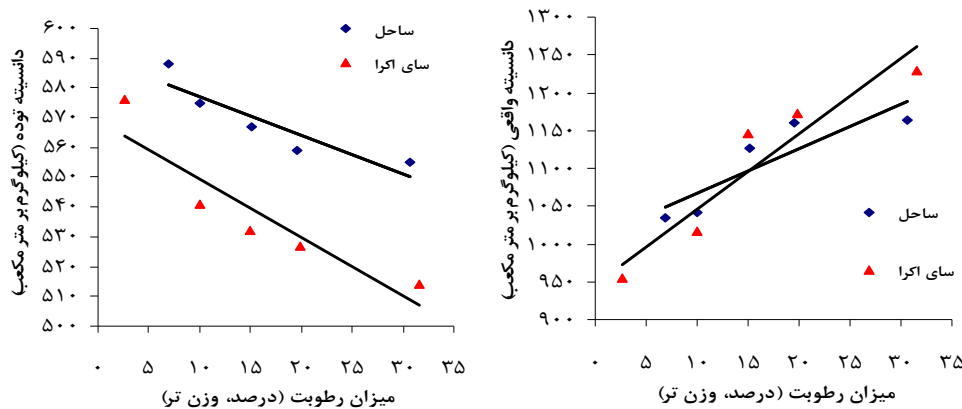
جدول ۲- معادلات رگرسیونی به‌دست آمده برای خصوصیات هندسی دانته‌ی ارقام پنبه.

R ²	معادله	میزان رطوبت (درصد، وزن تر)	واریته
۰/۵۳	$L = ۰/۰۱۶۹ M_C + ۸/۴۸۸۲$	۶/۹۳-۳۰/۷	ساحل
۰/۴۵	$W = ۰/۰۰۷۴ M_C + ۴/۷۲۰۲$		
۰/۷۰	$W = -۰/۰۰۰۸ M_C + ۰/۳۶۳ M_C + ۴/۵۰۳۱$		
۰/۹۰	$W = ۰/۰۰۰۲ M_C + ۰/۰۱۰۱ M_C + ۰/۱۸۷۲ M_C + ۳/۸۰۸۳$		
۰/۸۱	$T = ۰/۰۰۵۵ M_C + ۴/۲۲۳۴$		
۰/۶۰	$D_a = ۰/۰۱۰۴ M_C + ۵/۸۰۲۸$		
۰/۸۷	$D_a = -۰/۰۰۱ M_C + ۰/۰۴۴۷ M_C + ۵/۵۲۲۴$		
۰/۶۱	$D_g = ۰/۰۰۹۳ M_C + ۵/۵۱۷$		
۰/۸۵	$D_g = -۰/۰۰۰۸ M_C + ۰/۰۴۰۵ M_C + ۵/۲۸۲۶$		
۰/۵۷	$S = ۰/۰۰۳۱ M_C + ۰/۹۶۳۴$		
۰/۹۱	$S = -۰/۰۰۰۳ M_C + ۰/۰۱۵۴ M_C + ۰/۸۷۰۶$		
۰/۵۲	$A = ۰/۱۶۷۳ M_C + ۴۴/۳۲$		
۰/۸۵	$A = -۰/۰۱۸۷ M_C + ۰/۸۷۸ M_C + ۳۸/۹۸۵$		
۰/۳۶	$\varphi = -۰/۰۲۰۷ M_C + ۶۵/۱۸۱$		
۰/۷۸	$\varphi = ۰/۰۰۳۱ M_C - ۰/۱۳۸ M_C + ۶۲/۰۶۲$		
۰/۸۶	$L = ۰/۰۱۲۴ M_C + ۸/۷۹۲۳$	۲/۶۷-۳۱/۵۶	سای‌اکرا
۰/۹۶	$W = ۰/۰۰۴۷ M_C + ۴/۸۲۹۴$		
۰/۹۴	$T = ۰/۰۰۶۹ M_C + ۳/۹۶۱۵$		
۰/۹۳	$D_a = ۰/۰۰۷۹ M_C + ۵/۸۶۰۶$		
۰/۹۳	$D_g = ۰/۰۰۷۶ M_C + ۵/۵۰۹۳$		
۰/۹۳	$S = ۰/۰۰۲۶ M_C + ۰/۹۵۵۷$		
۰/۰۶	$A = ۰/۱۵۸۲ M_C + ۴۰/۸۷۸$		
۰/۲۴	$A = ۰/۰۲۷۶ M_C - ۰/۸۰۱۶ M_C + ۴۶/۵۵۴$		
۰/۲۸	$A = -۰/۰۰۲۱ M_C + ۰/۱۳۵۵ M_C + ۲/۲۱۳ M_C + ۵۰/۳۶۲$		
۰/۰۳	$\varphi = -۰/۰۰۳۲ M_C + ۶۲/۷۵$		
۰/۰۳	$\varphi = -۱E - ۰/۰۰۶ M_C - ۰/۰۰۳۱ M_C + ۶۲/۷۵$		
۰/۳۳	$\varphi = ۰/۰۰۰۲ M_C - ۰/۰۱۰۱ M_C + ۰/۱۲۸۸ M_C + ۶۲/۳۹۴$		

جدول ۳- خصوصیات ثقلی دانه ارقام پنبه آزمایش.

وارپته	رطوبت (وزن تر، درصد)	دانسیتته توده (کیلوگرم بر متر مکعب)	دانسیتته واقعی (کیلوگرم بر متر مکعب)	حجم (سانتی متر مکعب)	وزن دانه (گرم)	تخلخل (درصد)
ساحل	۶/۹۳	۵۸۸ ± ۷	۱۰۳۵ ± ۹۲	۱/۰۰ ± ۰/۱۶	۰/۱۰۲ ± ۰/۰۸	۴۲/۹ ± ۵/۵
	۹/۹۶	۵۷۵ ± ۵	۱۰۴۱ ± ۴۴	۰/۹۸ ± ۰/۱۵	۰/۱۰۴ ± ۰/۰۲	۴۴/۸ ± ۲/۳
	۱۵/۱۵	۵۶۷ ± ۳	۱۱۲۶ ± ۲۲۵	۰/۹۴ ± ۰/۲۱	۰/۱۱۲ ± ۰/۰۲	۴۷/۹ ± ۱۱/۲
	۱۹/۶	۵۵۹ ± ۴	۱۱۶۰ ± ۱۰۲	۰/۹۸ ± ۰/۲۵	۰/۱۱۵ ± ۰/۰۳	۵۱/۵ ± ۰/۱
	۳۰/۷	۵۵۵ ± ۹	۱۱۶۳ ± ۱۰۱	۱/۲۲ ± ۰/۸۹	۰/۱۲۱ ± ۰/۰۲	۵۱/۹ ± ۰/۴
سای اکرا	۲/۶۷	۵۷۶ ± ۹	۹۵۴ ± ۱۴۲	۱/۵۳ ± ۰/۰۷	۰/۰۹۳ ± ۰/۰۸۱	۳۸/۵ ± ۹/۸
	۹/۹۶	۵۴۱ ± ۲	۱۰۱۷ ± ۸۰	۱/۳۴ ± ۰/۳۴	۰/۰۹۶ ± ۱/۷۳	۴۶/۶ ± ۴/۴
	۱۴/۹۳	۵۳۲ ± ۵	۱۱۴۶ ± ۳۹۳	۱/۳۰ ± ۰/۳۰	۰/۰۹۹ ± ۱/۷۳	۵۰/۱ ± ۱۲/۹
	۱۹/۹۲	۵۲۷ ± ۳	۱۱۷۳ ± ۲۲۴	۱/۱۴ ± ۰/۱۴	۰/۱۰۶ ± ۱/۳۲	۵۳/۹ ± ۱/۰
	۳۱/۵۶	۵۱۴ ± ۵	۱۲۳۰ ± ۴۹۶	۲/۲۳ ± ۰/۲۰	۰/۱۲۳ ± ۴/۰۶	۶۲/۶ ± ۵/۳

نتایج عبارتست از: میانگین پنج تکرار ± انحراف معیار.



شکل ۲- تاثیر میزان رطوبت روی دانسیته واقعی و دانسیته توده دانه ارقام پنبه.

روابط رگرسیونی خصوصیات ثقلی دانه ارقام پنبه آزمایش و میزان رطوبت در جدول ۴ آورده شده است. نتایج این آزمایش نشان داد که بین افزایش میزان رطوبت دانه‌ی هر دو رقم پنبه و خصوصیات وزن دانه، حجم، تخلخل و دانسیته‌ی واقعی روابط خطی مثبت با ضریب تعیین بالا وجود داشت در حالی که دانسیته‌ی توده به صورت خطی کاهش نشان داد و ضرایب تعیین بدست آمده نشان دهنده‌ی

توابع خطی در این موارد بود (جدول ۴ و شکل ۲). ضرایب تعیین به‌دست آمده در تحقیق حاضر در مورد وزن هزار دانه برای ارقام ساحل و سای‌اکرا آزمایش (به‌ترتیب ۰/۹۵ و ۰/۹۳) از مورد مشابه خود که توسط سایر محققین (Özarslan, 2002) گزارش شده است (۰/۹۱) بیشتر بود. در حالی که در مورد دانسیته‌ی توده (برای ارقام ساحل و سای‌اکرا آزمایش به‌ترتیب ۰/۸۳ و ۰/۸۵) کمتر از نتایج آزمایش دیگر (۰/۹۶) بود.

جدول ۴- معادلات رگرسیونی به‌دست آمده برای خصوصیات ثقلی دانه‌ی ارقام پنبه‌ی ساحل و سای‌اکرا.

R ²	معادله	میزان رطوبت (وزن تر، درصد)	واریته
۰/۹۵	$M = ۰/۰۰۰۸ M_C + ۰/۰۹۷۳$	۶/۹۳-۳۰/۷	ساحل
۰/۹۵	$V = ۰/۰۱۰۶ M_C + ۰/۸۱۱۶$		
۰/۷۷	$s\rho = ۵/۹۱۲۷ M_C + ۱۰۰۷/۶$		
۰/۸۳	$b\rho = -۱/۲۹۰۱ M_C + ۵۹۰/۰۴$		
۰/۸۴	$\varepsilon = ۰/۳۹۳۵ M_C + ۴۱/۲۹۹$		
۰/۹۳	$M = ۰/۰۰۱۱ M_C + ۰/۰۸۶۶$	۲/۶۷-۳۱/۵۶	سای‌اکرا
۰/۸۲	$V = ۰/۰۰۷۵ M_C + ۰/۹۰۵۲$		
۰/۹۷	$V = ۰/۰۰۰۷ M_C^T - ۰/۰۱۷۳ M_C + ۱/۰۵۱۷$		
۰/۹۰	$s\rho = ۹/۹۶۸۲ M_C + ۹۴۶/۴۲$		
۰/۸۵	$b\rho = -۱/۹۷۷۹ M_C + ۵۶۹/۲۷$		
۰/۹۹	$\varepsilon = ۰/۸۱۵۵ M_C + ۳۷/۴۴۹$		

نتیجه‌گیری

با افزایش درصد رطوبت دانه‌ها، ابعاد محوری، قطرهای میانگین حسابی و هندسی و سطح جانبی دانه پنبه رقم سای‌اکرا افزایش داشت و یک رابطه‌ی خطی مشاهده شد، در حالی که افزایش رطوبت تاثیری روی مساحت تصویر و ضریب کرویت آن نداشت. در مورد رقم ساحل، برای بیان رابطه‌ی بین افزایش میزان رطوبت و خصوصیات ضخامت، قطرهای میانگین حسابی و هندسی، سطح جانبی، مساحت تصویر و ضریب کرویت برازش معادلات از نوع درجه دوم نتایج بهتر و ضرایب تعیین بالاتری را به نمایش گذاشت. نتایج این آزمایش نشان داد که با افزایش میزان رطوبت دانه‌ها، وزن، حجم، دانسیته واقعی و تخلخل دانه‌ها به صورت خطی افزایش در حالی که دانسیته‌ی توده کاهش خطی نشان داد.

منابع

ASAE S352.2. 1997. Moisture Measurement -Un ground Grain and Seeds, ASAE standards vol. 555, ASAE, St. Joseph, MI.

- Baryeh, E. A. 2002. Physical properties of millet. *J. Food Eng.* 51(1): 39-46.
- Jain, R. K., and Bal, S. 1997. Physical Properties of Pearl Millet. *Journal of Agricultural Engineering Research.* 66: 1-8.
- Bilanski, W.K., Collins, S.K. and Chu, P. 1962. Aerodynamic properties of seed grains. *Transaction of American Society of Agricultural Engineers.* 8(1): 49-52.
- Dutta, S.K., Nema, V.K. and Bhardwaj, R.K. 1988. Physical properties of gram. *Journal of Agricultural Engineering Research.* 39(4): 259-268.
- Jayan, P.R. and Kumar, V.G.F. 2004. Planter design in relation to the physical properties of seeds. *Journal of Tropical Agriculture.* 42(1-2): 69-71.
- Konak, M., Çarman, K. and Aydin, C. 2002. Physical properties of chick pea seeds. *Biosystems Engineering.* 82 (1):73-78.
- Manimehalai, N. and Viswanathan, R. 2006. Physical properties of fuzzy cottonseeds. *Biosystem Engineering.* 95(2): 207-217.
- McCabe, W.L., Smith, J.C. and Harriott, P. 1986. *Unit Operation of chemical Engineering.* McGraw Hill Publisher, New York.
- Mohsenin, N.N. 1978. *Physical properties of plant and animal materials.* New York: Gordon and Breach.
- Navarro, S. and Noyes, R.T. 2001. *The Mechanics and Physics of Modern Grain Aeration Management.* CRC Press, 627p.
- Özarslan, C. 2002. Physical properties of cottonseed. *Biosys. Eng.* 83(2): 169-174.
- Roberts, B.A., Curley, R.G., Kerby, T.A., Wright, S.D. and Mayeld, W.D. 1996. Defoliation, harvest and ginning. In: *Cotton Production Manual.* University of California, Oakland.
- Sacilink, K., Öztürk, R. and Kesikin, R. 2002. Some physical properties of hemp seeds, *Biosystems Engineering.* 86(2): 91-198.
- Tabak, S. and Wolf, D. 1998. Aerodynamic properties of cottonseeds. *J. Agric. Eng. Res.* 70:257-265.
- Tabak, S.I., Biran, A.B., Tabak, I. and Manor, G. 2002. Airflow induced by falling cottonseed particles. *Biosys. Eng.* 81(4): 395-405.
- USDA. 2016. United States of Department Agriculture. Foreign Agricultural Service. Office of Global Analysis. International Production Assessment Division. Washington, DC, USA.
- Visvanathan, R., Palanisamy, P.T., Gothandapani, L. and Sreenarayanan, V.V. 1996. Physical properties of neem nut, *Journal of Agricultural Engineering Research.* 63(1): 19-25.
- Zahedi, S.M.T., Taheri, A., Moosavi, S.M. and Jafari, S.M. 2010. Effect of Moisture Content on the Physicochemical Properties of Two Iranian Lentil Varieties. *Journal of Food Science and Technology.* 1(1):57-71.