

بررسی برخی خصوصیات مهندسی دانه بارهنگ

سید محمد علی رضوی^{۱*}، یونس زاهدی^۲، هادی مهدویان مهر^۳

تاریخ دریافت: ۸۷/۱۲/۱۷ تاریخ پذیرش: ۸۸/۱۱/۲۹

چکیده

دانه بارهنگ دارای خواص داروئی و تغذیه‌ای متعددی می‌باشد، لذا دانستن خواص مهندسی آن در طراحی تجهیزات پس از برداشت ضروری است. در این تحقیق خواص مهندسی دانه بارهنگ، به دلیل تولید موسیلاژ توسط دانه، فقط در یک سطح رطوبتی تعیین گردید. متوسط جرم هزار دانه ۱۴۷ mg و میانگین دانسیته توده، دانسیته حقیقی و درصد تخلخل به ترتیب $۰/۷۰۱/۸ \text{ kg/m}^3$ ، ۱۲۸۳ kg/m^3 و % ۴۵/۳ محاسبه شد. ضریب اصطکاک استاتیکی برای ۵ سطح تخته چند لایه، لاستیک، شیشه، فایبرگلاس و ورق گالوانیزه اندازه‌گیری شده و مقادیر میانگین آن به ترتیب ۰/۵۱، ۰/۴۶، ۰/۳۶، ۰/۳۵ و ۰/۳۳ تعیین شد. زاویه ریپوز تخلیه و زاویه ریپوز پر کردن به ترتیب $۳۶/۱^\circ$ و $۱۸/۱^\circ$ و سرعت حد ۱/۸۶ m/s به دست آمد. توسط پردازش تصویر میانگین طول، عرض و سطح به ترتیب $۷۷۸/۹ \mu\text{m}$ ، $۵۱۴/۸ \mu\text{m}$ و $۲۹/۶۳۴۴ \times ۱۰^۴ \mu\text{m}^2$ و میانگین ضریب کروی، ضریب گردی و نسبت نما به ترتیب ۰/۹۹۶، ۰/۶۲ و ۱/۵۲ به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: دانه بارهنگ، ابعاد، دانسیته، زاویه ریپوز، ضریب اصطکاک

مقدمه

بارهنگ شامل اوکین، پلانتاژین، سوکسینیک اسید، آدنین و کولین است. معمولاً از دانه‌های این گیاه استفاده می‌شود. دانه‌های این گیاه قهوه‌ای تیره، کوچک و تخم مرغی شکل و در میوه‌ای پوستینه، که به صورت کپسول تخم مرغی بوده و محتوی A ۴ دانه است، قرار دارند (شکل ۱). دانه‌ها را از اواسط فصل بهار به بعد جمع‌آوری می‌نمایند. دانه بارهنگ دارای چربی، صمغ، موسیلاژ و ترکیبات گلوکوزیدی است. از این گیاه برای درمان ناراحتیهای تنفسی استفاده می‌شود و یکی از گیاهان لعاب‌دار و دارای ماده سافورین است. دانه این گیاه خاصیت ضد عفونی کننده و هم خلط‌آوری خوبی برای دستگاه تنفسی دارد. جوشانده دانه بارهنگ در استعمال داخلی در رفع اسهال، رفع بیماریهای التهاب کلیه و مثانه استفاده می‌گردد. همچنین لعاب تخم آن نرم کننده سینه،

گیاه بارهنگ با نام علمی *Plantago major L.* جزء خانواده Plantaginaceae می‌باشد. این خانواده از سه جنس *Plantago Psyllium* (اسفرزه)، *Plantago coronopus L.* و *Plantago major L.* و بیش از ۲۰۰ گونه تشکیل شده است. گیاه بارهنگ در منطقه وسیعی از دو قاره اروپا و آسیا و همچنین شمال آفریقا و آمریکای شمالی می‌روید. در ایران تقریباً در تمام نقاط می‌روید. بارهنگ گیاهی است چند ساله، ساقه آن به طول ۴۰-۷۰ سانتی‌متر، برگ‌های آن تماماً طوقه‌ای و رنگ گل‌هایش سبز متمایل به قهوه‌ای است. موسم گلدهی گیاه اردیبهشت تا شهریورماه است. مواد موثر

۱، ۲ و ۳ به ترتیب دانشیار و دانشجویان کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
* نویسنده مسئول: (Email: s.razavi@um.ac.ir)

می‌باشد. در این تحقیق طول، عرض، سطح، نسبت نما، ضریب کرویت و ضریب گردی توسط تکنیک پردازش تصویر و جرم هزار دانه، دانسیته واقعی، دانسیته ظاهری، تخلخل، زاویه ریپوز تخلیه، زاویه ریپوز پر کردن، ضریب اصطکاک استاتیکی و سرعت حد نیز با روشهای متداول اندازه‌گیری گردید.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه و آماده‌سازی نمونه‌ها

دانه بارهنگ از بازار منطقه تهیه شده و ناخالصی‌های آن شامل پوسته، دانه‌های نارس و سایر ناخالصی‌ها توسط الک و قرار دادن در مقابل جریان باد ملایم جداسازی گردید. برای اندازه‌گیری مقدار رطوبت وزن مشخصی از نمونه داخل آون با دمای 103 ± 2 درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا به وزن ثابت برسد. درصد رطوبت دانه‌ها بر مبنای خشک با استفاده از فرمول (۱) محاسبه گردید:

$$M = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100 \quad (1)$$

که m_1 وزن اولیه دانه و m_2 وزن دانه‌ها بعد از آون گذاری بر حسب گرم است.

مواد و روش‌ها

جرم هزار دانه و دانسیته ذره

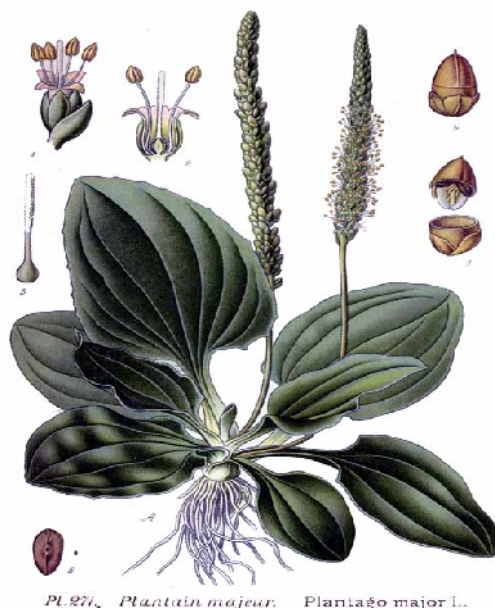
به منظور تعیین جرم هزار دانه (m_{1000})، ۱۰۰ دانه به صورت تصادفی برداشته شده و توسط ترازوی دیجیتال توزین و با ضرب کردن عدد حاصله در ۱۰ جرم ۱۰۰۰ دانه به دست آمد. دانسیته حقیقی به روش پیکنومتر و با استفاده از مایع تولونن اندازه‌گیری شد. در این روش دانسیته واقعی (ρ_1) با فرمول (۲) محاسبه می‌گردد (۱۱):

تب بر، معرق، مدر و ضد روماتیسم است (۱).

مطالعات گسترده‌ای در مورد خصوصیات مهندسی بسیاری از دانه‌ها از جمله شنبلیله، عدس، گونا، دانه کتان، گشنیز، انار، شاهی، بالنگو، ریحان، دانه مرو، ارزن، شاهدانه، گندم، دانه کنجد و کوئینا انجام شده است (۴، ۱۰ و ۱۲). خصوصیات مهندسی برخی از این دانه‌ها مانند ریحان، شاهدانه و دانه مروی به دلیل تولید ترکیبات صمغی در اثر تماس با رطوبت، فقط در یک سطح رطوبتی اندازه‌گیری شده است. خصوصیات مهندسی اهمیت ویژه‌ای در فرآیندهای پس از برداشت دارند. به عنوان مثال ابعاد و شکل دانه در انتخاب مش مناسب الک، سرعت حد در جداسازی دانه از پوسته و سایر ناخالصی‌ها کاربرد دارند. زاویه ریپوز و خواص اصطکاک در طراحی سیلواها، مخازن نگهداری و نوار نقاله‌ها استفاده می‌شوند.

امروزه از روش پردازش تصویر در صنایع غذایی استفاده گسترده‌ای می‌شود. این روش به دلیل سرعت بالا، قابلیت اتوماسیون و همچنین به دلیل اینکه به بافت و ساختار ماده تحت آزمون صدمه وارد نمی‌شود، گسترش زیادی یافته است. از تکنیک پردازش تصویر در درجه‌بندی دانه‌های غلات، ذرت، پسته، بازرسی کیفی محصولات پخت، بازرسی سیب‌ها، شناسایی بادام‌های صدمه دیده و تعیین ابعاد دانه‌ها استفاده می‌شود (۱۳ و ۱۴).

اگر چه بررسی منابع نشان می‌دهد که تحقیقات بسیاری درباره خواص فیزیکی محصولات کشاورزی و غذایی به انجام رسیده است اما تاکنون تحقیقی در مورد خصوصیات مهندسی دانه بارهنگ انجام نشده است. هدف از این تحقیق تعیین برخی خصوصیات مهندسی دانه بارهنگ برای طراحی تجهیزات پس از برداشت، انتقال، فرآوری و انبارداری



شکل ۱. تصویر گیاه بارهنگ

ضریب اصطکاک استاتیکی

به منظور تعیین ضریب اصطکاک استاتیکی (μ_s) از سطح شیب‌دار با شیب قابل تنظیم استفاده شد. جعبه‌ای از جنس فایبر گلاس و بدون سر و ته به ابعاد $15 \times 10 \times 4$ سانتی‌متر به ترتیب برای طول، عرض و ارتفاع روی سطح اصطکاکی قرار داده و با دانه پر می‌کنیم. سطوح مورد استفاده از جنس شیشه، فایبر گلاس، تخته چند لایه، لاستیک و ورق گالوانیزه است. در ابتدا جعبه را تا حد کمی روی سطح مورد نظر بلند می‌کنیم تا از هر گونه تماس بین جعبه و سطح اجتناب شود. سطح اصطکاکی جزئی از دستگاه است که در یک انتها مفصل دار است، به طوری که می‌توان انتهای غیر لولادار را به آرامی به وسیله یک سیستم پیچ مهره بلند کرده و بدین ترتیب زاویه سر خوردن (α) بعنوان زاویه اصطکاکی در نظر گرفته می‌شود. سپس از فرمول (۵) ضریب اصطکاک استاتیکی محاسبه شد (۱۱):

$$\mu_s = \tan \alpha \quad (5)$$

$$\rho_t = \frac{m}{V_t} \quad (2)$$

که در آن m جرم دانه‌های ریخته شده (kg) و V_t حجم مایع جایجا شده (m^3) می‌باشد.

دانسیته توده و تخلخل

برای اندازه‌گیری دانسیته توده دانه‌ها (ρ_b) از ارتفاع ۱۵ سانتی‌متری و با سرعت یکنواخت درون ظرفی با حجم مشخص پر شدند، سپس این ظرف توزین شده و دانسیته توده از رابطه (۳) محاسبه گردید (۱۱):

$$\rho_b = \frac{m}{V_b} \quad (3)$$

که در این رابطه m جرم دانه بر حسب (kg) و V_b حجم ظرف بر حسب (m^3) می‌باشد.

درصد تخلخل (ε , %) نیز با استفاده از رابطه محسین در فرمول (۴) محاسبه شد (۱۱):

$$\varepsilon = [(\rho_t - \rho_b) / \rho_t] \times 100 \quad (4)$$

زاویه‌های ریپوز

زاویه ریپوز تخلیه (θ_e) با استفاده از یک جعبه چوبی به ابعاد $20 \times 20 \times 20$ سانتی‌متر دارای درب کشویی اندازه‌گیری شد. ابتدا جعبه با دانه پر شده و سپس درب کشویی سریعاً به طرف بالا کشیده می‌شود تا دانه به طرف خارج تخلیه شود و یک کپه طبیعی درون جعبه تشکیل شود. سپس زاویه ریپوز از طریق اندازه‌گیری ارتفاع در دو نقطه شیب‌دار کپه و فاصله افقی بین این دو نقطه و سپس جاگذاری در رابطه (۶) به دست می‌آید (۸ و ۱۵):

$$\theta_e = \tan^{-1} \left(\frac{h_2 - h_1}{x_2 - x_1} \right) \quad (6)$$

در این رابطه h_1 و h_2 اختلاف ارتفاع در دو نقطه و x_1 و x_2 فاصله افقی بین این دو نقطه می‌باشد.

برای تعیین زاویه ریپوز پر کردن (θ_f)، یک سیلندر بدون سر و ته با قطر ۱۵ و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر را در مرکز صفحه دایره‌ای به قطر ۳۵ سانتی‌متر قرار داده و از دانه پر می‌کنیم. سپس استوانه به آرامی برداشته می‌شود تا مخروطی تشکیل شود. زاویه ریپوز پر کردن از رابطه (۷) محاسبه می‌گردد (۱۰ و ۱۷):

$$\theta_f = \tan^{-1} \left(\frac{2H}{D} \right) \quad (7)$$

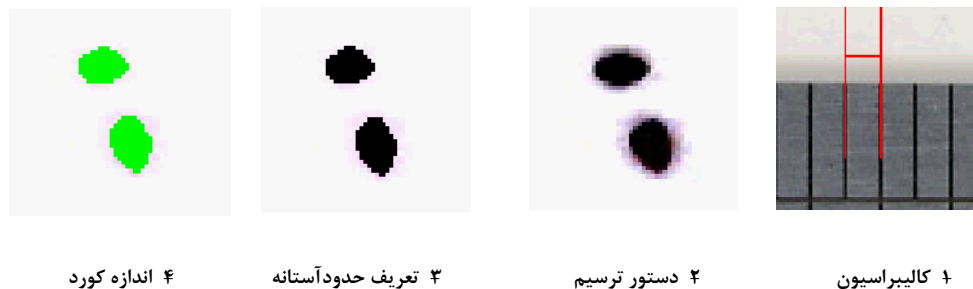
سرعت حد

سرعت حد با استفاده از روش شناورسازی اندازه‌گیری گردید. در این روش دانه بارهنگ به درون یک لوله عمودی که هوا با سرعت معین از پائین به بالا جریان دارد رها می‌گردد. با تنظیم میزان دور دمنده می‌توان سرعتی از هوا را درون لوله فراهم کرد تا دانه به حالت شناور درآید. سرعت هوا در لحظه شناوری دانه به عنوان سرعت حد دانه در نظر گرفته می‌شود. سرعت هوا با استفاده از بادسنج دیجیتالی تعیین شد (۶).

پردازش تصویر

در این تحقیق از روش پردازش تصویر برای تعیین ویژگی‌های هندسی دانه بارهنگ استفاده گردید. در این روش جهت تهیه تصویر نمونه‌ها از اسکنر مدل CanoScan8400F با رزولوشن 300 dpi استفاده شد. ابتدا 100 عدد دانه به طور تصادفی انتخاب گردید و به طور مجزا بر روی صفحه اسکنر قرار داده شدند. سپس روی آنها با پارچه ضخیم سفیدی پوشانده شده و اسکن گردیدند و تصاویر جهت آنالیزهای بعدی با فرمت JPEG ذخیره شد. نرم افزار کلمکس به عنوان نرم افزار آنالیز تصاویر استفاده شد. این نرم افزار قابلیت اندازه‌گیری برخی خواص هندسی از جمله ابعاد، نسبت نما، ضریب گردی و کرویت و غیره را دارا بود، که پس از کالیبراسیون و انجام یک سری اصلاحات اولیه در کمترین زمان اطلاعات را در اختیار ما می‌گذارد. کالیبراسیون نرم افزار، پس از قرار دادن خط کشی در شرایط مشابه با حالت اسکن دانه‌ها و معرفی کمترین فاصله قابل تشخیص بر روی آن بر حسب میکرومتر در نرم افزار صورت گرفت. پس از اجرای دستور ترسیم (شرح جزئیات) سطوح خاکستری میانی حذف و کنتراست نمونه و سطح افزایش پیدا کرد. در مرحله بعد حدود آستانه برای عکس‌های مختلف تعریف شد و در آخر نویزهای موجود در عکس با اجرای دستور اندازه کورد^۴ حذف شد. سپس اندازه‌گیری ابعاد، مساحت، محیط، نسبت نما، ضریب گردی و کرویت توسط نرم افزار صورت گرفت.

1- Clemex Vision Professional PE4.0, Canada
2- Delineation
3- Thresholds
4- Chord size



جدول ۱. نتایج اندازه‌گیری خواص مهندسی دانه بارهنگ در سطح رطوبتی ۷/۹۸٪ (بر مبنای خشک)

انحراف معیار	میانگین	تعداد تکرار	خاصیت مهندسی
۱۱/۳۰۸	۱۴۷	۱۰	جرم هزار دانه (mg)
۰/۲۱۶	۷/۹۸	۵	درصد رطوبت (بر مبنای خشک)
۶/۶۴۸	۱۲۸۳	۵	دانسیته حقیقی (kg/m^3)
۴/۴۹۱	۷۰/۱/۸	۵	دانسیته توده (kg/m^3)
۰/۸۷۴	۴۵/۳	۵	تخلخل (%)
۰/۸۱۸	۱۸/۵۲	۱۰	زاویه ریپوز پر کردن ($^{\circ}$)
۰/۵۷۲	۳۶/۱	۱۰	زاویه ریپوز تخلیه ($^{\circ}$)
			ضریب اصطکاک استاتیکی:
۰/۰۱۳	۰/۳۴۵	۵	فایبر گلاس
۰/۰۱۵	۰/۳۴۶	۵	شیشه
۰/۰۰۴۴	۰/۳۲	۵	ورق گالوانیزه
۰/۰۱۷	۰/۴۹	۵	تخته چوبی چند لایه
۰/۰۲۱	۰/۴۳	۵	لاستیک
۰/۰۵۱۶	۱/۸۶	۱۰	سرعت حد (m/s)

نتایج و بحث

شنبليله و کمتر از دانه بالنگو، دانه مرو و شاهی است. همچنین دانسیته حقیقی این دانه بیشتر از مقادیر مربوط به دانه‌های ریحان، مرو، بالنگو، گشنیز، شنبليله و شاهی است (۲، ۴، ۹ و ۱۴). هنگام طراحی سیلو، جداسازی ناخالصی‌ها و تعیین عدد رینولدز در حمل و نقل پنوماتیکی و هیدرولیکی، دانستن دانسیته حائز اهمیت می‌باشد (۳). درصد تخلخل کمتر از دانه ریحان و بیشتر از بقیه دانه‌های استفاده شده برای مقایسه است. احتمالاً به دلیل کرویت زیاد این دانه میزان فضای بین دانه‌ها بیشتر می‌باشد. دامنه ضریب اصطکاک استاتیکی برای تخته چوبی چند لایه ۰/۴۶ + ۰/۴۶، لاستیک ۰/۴۱ + ۰/۴۱، شیشه ۰/۳۲ + ۰/۳۲

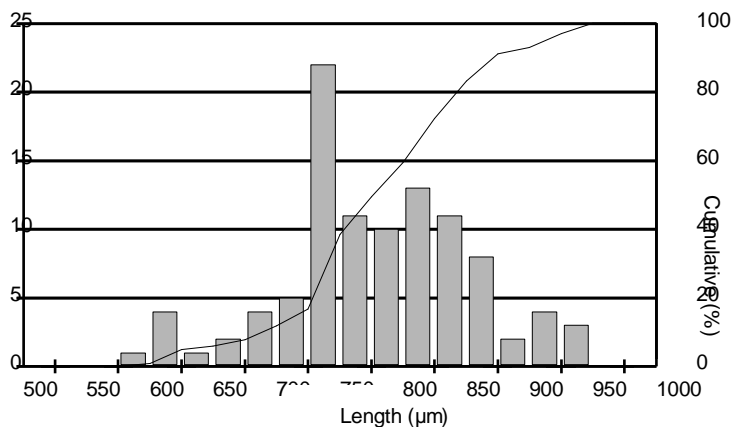
نتایج مربوط به خصوصیات فیزیکی دانه بارهنگ در جدول ۱ و شکل‌های ۲ تا ۷ آورده شده است. درصد رطوبت در دامنه ۷/۶۴ تا ۸/۲۲ (بر مبنای ماده خشک) قرار دارد. دامنه جرم هزار دانه از ۱۳۶ تا ۱۷۲ mg بود. این مقدار کمتر از نتایج به دست آمده برای سایر دانه‌ها است. دانسیته توده، دانسیته حقیقی و تخلخل به ترتیب در دامنه $۴۶/۱۸$ و ۱۲۷۵ تا ۲۹۱ kg/m^3 ، ۶۹۵ تا ۷۰۶ kg/m^3 و $۴۴/۲۴$ درصد قرار دارند. میانگین دانسیته توده بیشتر از مقدار گزارش شده برای دانه ریحان و گشنیز و مشابه بذر

ریحان، دانه مرو، شنبلیله، کوئینا و شاهی و کمتر از دانه بالنگو، گونا و عدس است (۲، ۴، ۵، ۶، ۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۸). ریز بودن بیش از اندازه دانه بارهنگ باعث شد سرعت حد آن از مقادیر گزارش شده برای بسیاری از دانه‌ها کمتر بوده و در دامنه $1/8 \pm 1/9$ m/s قرار گیرد. البته سرعت حد پائین‌تر برای دانه‌ای مانند کوئینا ($1/2 \pm 1/6$ m/s) مشاهده شده است (۱۸). پائین بودن سرعت حد به سبب کاهش مصرف انرژی توسط دمنده مطلوب می‌باشد. به علت اینکه این دانه به آسانی آب جذب می‌کند و تمیز کردن آن با شستشو امکان پذیر نیست، این ویژگی بسیار حائز اهمیت است.

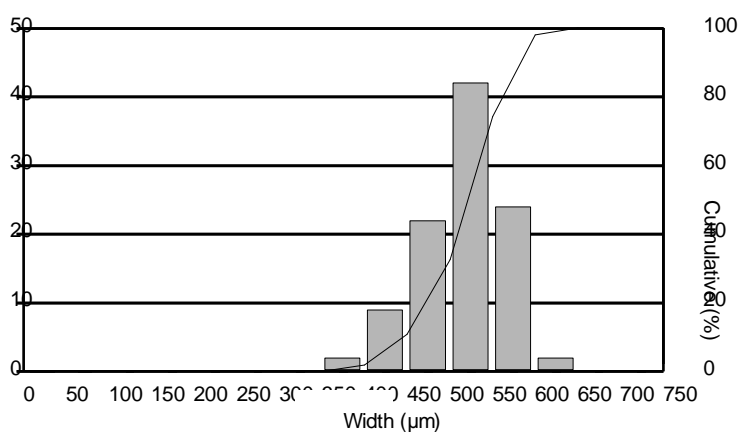
مقایسه نتایج حاصل از تکنیک پردازش تصویر با سایر روش‌های اندازه‌گیری دال بر کارایی مناسب این روش است. رضوی و همکاران همبستگی بالایی ($R^2 = 0/99 \pm 0/65$) بین نتایج حاصل از پردازش تصویر و سایر روش‌های اندازه‌گیری را در دانه‌های مرو و ریحان گزارش کردند (۱۳ و ۱۴). میانگین طول، عرض و سطح به ترتیب $778/9 \pm 76/3 \mu\text{m}$ ، $514/8 \pm 50/6 \mu\text{m}$ و $29/63 \times 10^4 \pm 5/22 \times 10^4 \mu\text{m}^2$ است (شکل‌های ۳، ۲ و ۴). این نتایج کمتر از مقادیر گزارش شده برای دانه‌های بالنگو، ریحان و دانه مرو است (۲۲ و ۱۴). میانگین ضریب کرویت، ضریب گردی و نسبت نما به ترتیب $0/996 \pm 0/015$ ، $0/62 \pm 0/055$ و $1/52 \pm 0/127$ است (شکل‌های ۵، ۶ و ۷). نتایج مربوط به ضریب کرویت بیشتر از مقادیر ارائه شده برای دانه‌های بالنگو، ریحان، دانه مرو، شاهدانه، کنجد و شاهی است. در حالی که ضریب گردی به دست آمده بیشتر از دانه ریحان و کمتر از دانه مرو می‌باشد (۴، ۱۲ و ۱۵ و ۱۷).

فایبر گلاس $0/35 \pm 0/32$ و ورق گالوانیزه $0/33 \pm 0/32$ تعیین گردید. میانگین ضریب اصطکاک استاتیکی تخته چوبی چند لایه و لاستیک بیشتر از سه سطح دیگر بوده و این دو سطح برای انتقال نامناسب هستند. مقادیر ضریب اصطکاک استاتیکی برای شیشه و فایبرگلاس مشابه هم بوده و کمترین ضریب به ورق گالوانیزه اختصاص دارد. ضریب اصطکاک استاتیکی روی تخته چوبی چند لایه از مقادیر مربوط به گشنیز، شنبلیله، گندم و شاهی بیشتر است. برعکس، مقدار این ضریب روی ورق گالوانیزه کمتر از مقادیر مربوط به این چهار دانه است (۲، ۴، ۸ و ۱۶). ضریب اصطکاک محصولات کشاورزی عموماً به خصوصیات ماده غذایی، میزان رطوبت، ویژگی‌های سطحی، سرعت لغزش و جنس سطحی که ماده غذایی روی آن حرکت می‌کند، بستگی دارد (۳). در شرایط یکسان از نظر سرعت لغزش، جنس سطح و میزان رطوبت، ویژگی‌های سطحی دانه فاکتور غالب و عامل ایجاد تفاوت بین ضرایب اصطکاک دانه‌های گوناگون می‌باشد.

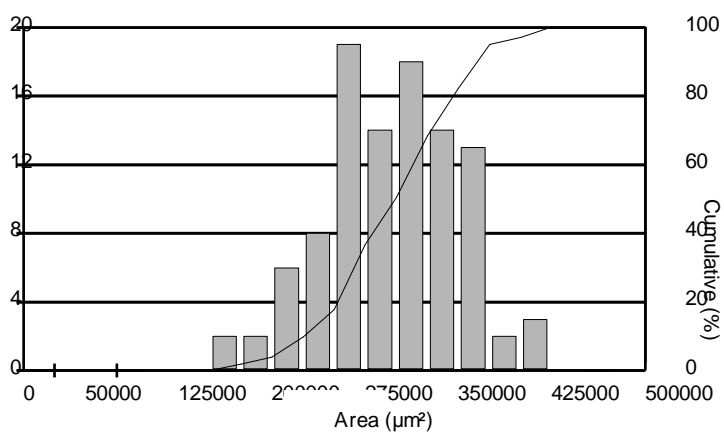
زاویه ریپوز تخلیه و پر کردن به ترتیب در محدوده 35° و $49/64^\circ$ قرار دارد. نوع، میزان رطوبت و خصوصیات فیزیکی یک ماده غذایی یا محصول کشاورزی از قبیل شکل، دانسیته، ضریب اصطکاک بین ذرات و غیره می‌تواند روی زاویه ریپوز موثر باشد (۳). زاویه ریپوز تخلیه دانه بیشتر از مقادیر گزارش شده برای دانه‌های ریحان، بالنگو، دانه مرو و کمتر از دانه شاهی است (۲ و ۲۲). هر چقدر میزان این زاویه زیاد باشد موقع تخلیه دانه بیشتری در داخل محل نگهداری (سیلو) باقی می‌ماند که نامطلوب است. زاویه ریپوز پر کردن آن بیشتر از دانه



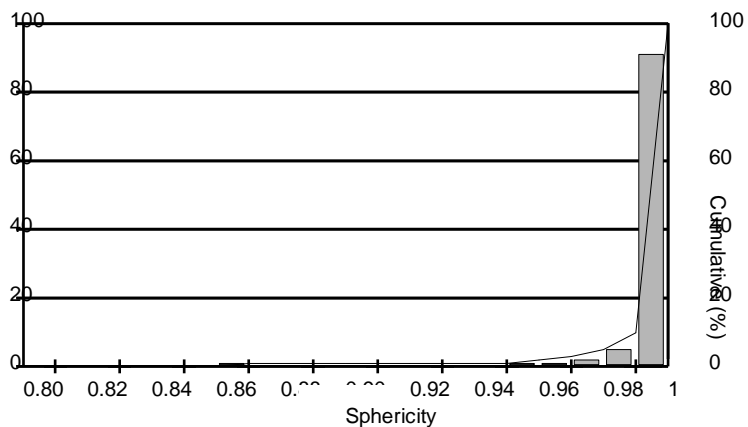
شکل ۲. توزیع طول دانه بارهنگ، اندازه‌گیری شده توسط روش پردازش تصویر



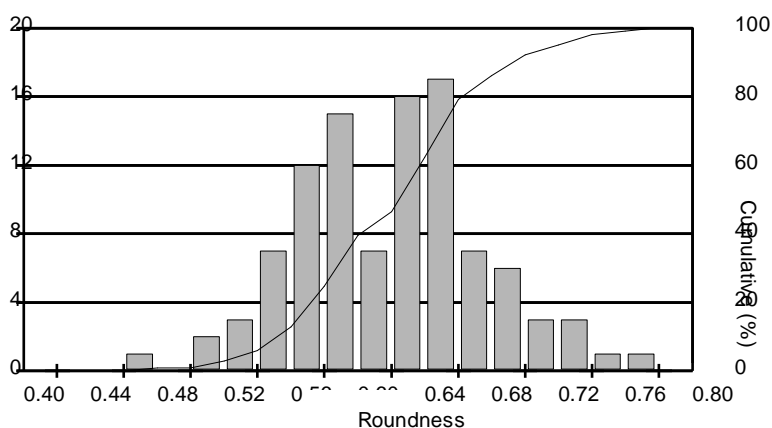
شکل ۳. توزیع عرض دانه بارهنگ، اندازه‌گیری شده توسط روش پردازش تصویر



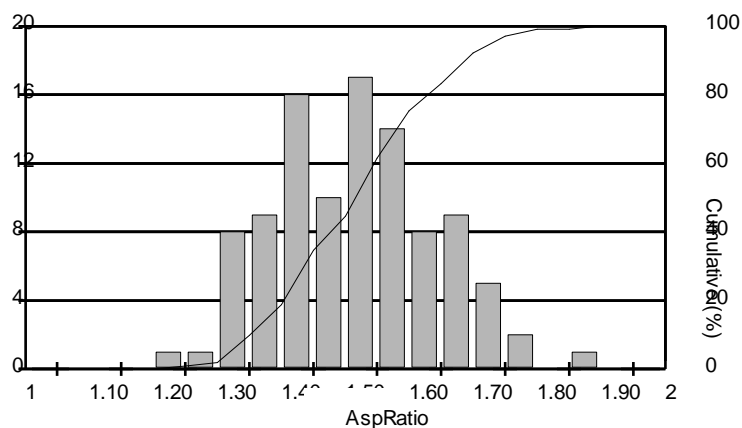
شکل ۴. توزیع سطح دانه بارهنگ، اندازه‌گیری شده توسط روش پردازش تصویر



شکل ۵. توزیع ضریب کرویت دانه بارهنگ، اندازه‌گیری شده توسط روش پردازش تصویر



شکل ۶. توزیع ضریب گردی دانه بارهنگ، اندازه‌گیری شده توسط روش پردازش تصویر



شکل ۷. توزیع نسبت نمای دانه بارهنگ، اندازه‌گیری شده توسط روش پردازش تصویر

نتیجه‌گیری

اندازه‌گیری گردید. متوسط جرم هزار دانه ۱۴۷ mg و میانگین دانسیته توده، دانسیته حقیقی و درصد تخلخل به ترتیب $701/8 \text{ kg/m}^3$ ، 1283 kg/m^3 و ۴۵/۳٪ محاسبه شد.

در این مطالعه برخی خصوصیات مهندسی دانه بارهنگ

توسط دمنده مطلوب بود. توسط پردازش تصویر میانگین طول، عرض و سطح به ترتیب $۷۷۸/۹ \mu\text{m}$ ، $۵۱۴/۸ \mu\text{m}$ ، $۲۹/۶۳۴۴ \times ۱۰^۴ \mu\text{m}^2$ و میانگین ضریب کرویت، ضریب گردی و نسبت نما به ترتیب $۰/۹۹۶$ ، $۰/۶۲$ و $۱/۵۲$ به دست آمد.

ورق گالوانیزه با کمترین ضریب اصطکاک استاتیکی بهترین سطح برای انتقال دانه در بین ۵ سطح مورد مطالعه بود. زاویه ریپوز تخلیه و زاویه ریپوز پر کردن به ترتیب $۳۶/۱^\circ$ و $۱۸/۱^\circ$ بود. سرعت حد دانه $۱/۸۶ \text{ m/s}$ به دست آمد. پائین بودن سرعت حد این دانه به دلیل کاهش انرژی مصرفی

منابع

- ۱) امین، غ. ۱۳۸۴. متداولترین گیاهان دارویی سنتی ایران. معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تهران، ۴۶۴، ۲۶۵.
- ۲) محمدی مقدم، ت.، س. م.، ع.، رضوی، و س. نیک نیا. ۱۳۷۸. بررسی خواص فیزیکی دانه های بالنگو و شاهی. پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشینهای کشاورزی و مکانیزاسیون. ۷ شهریورماه مشهد مقدس
- ۳) رضوی، م. ع. و ر. اکبری. ۱۳۸۵. خواص بیوفیزیکی محصولات کشاورزی و مواد غذایی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۲۷، ۸۳ و ۹۳.
- 4) Altuntas, E., E. Ozgoz., and F. Taser. 2005. Some physical properties of fenugreek (*Trigonella foenum-graceum* L.) seeds. *Journal of Food Engineering*, 71: 37-43.
- 5) Amin, M. N., M. A. Hossain., and K. C. Roy. 2004. Effects of moisture content on some physical properties of lentil seeds. *Journal of Food Engineering*, 65: 83-87.
- 6) Aviara, N. A., M. I. Gwandzang., and M. A. Haque. 1999. Physical Properties of Guna Seeds. *Journal of Agriculture and Engineering Research*, 73: 105-111.
- 7) Baryeh, E. A. 2002. Physical properties of millet. *Journal of Food Engineering*, 51: 39-46.
- 8) Coskuner, Y., and E. Karababa. 2007. Some physical properties of flaxseed. *Journal of Food Engineering*, 78: 1067-1073.
- 9) Coskuner, Y., and E. Karababa. 2007. Physical properties of coriander seeds (*Coriandrum sativum* L.). *Journal of Food Engineering*, 80: 408-416.
- 10) Kingsly, A. R. P., D. B. Singh., M. R. Manikantan., and R. K. Jain. 2006. Moisture dependent physical properties of dried pomegranate seeds. *Journal of Food Engineering*, 75: 492-496.
- 11) Mohsenin, N. N. 1978. Physical properties of plant and animal materials. Gordon and Breach Science Publishers, New York. 76-78, 569.
- 12) Razavi, S. M. A., T. Mohammadi Moghaddam., and A. Mohammad Amini. 2008. Physical-Mechanical Properties and Chemical Composition of Balangu (*Lallemantiaroyleana* (Benth. in Walla.)) Seed. *International Journal of Food Engineering*, 4(5). 1-12.
- 13) Razavi, S. M. A., A. Bostan., and M. Rezaie. 2010. Image processing and physic-mechanical properties of basil seed (*Ocimum basilicum*). *Journal of Food Process Engineering*, 33 (1), 51-64.
- 14) Razavi, S. M. A., A. Bostan, and R. Rahbari. 2010. Computer image analysis and other physico-mechanical properties of wild sage seed (*Salvia macrosiphon*), *International Journal of Food Properties*, 13 (2), 308-316.
- 15) Sacilik, K., R. Ozturk., and R. Keskin. 2003. Some physical properties of hemp seed. *Biosystems Engineering*, 86(2): 191-198.
- 16) Tabatabaefar, A. 2003. Moisture-dependent physical properties of wheat. *International Agrophysics*, 17: 207-211.
- 17) Tunde-Akintunde, T. Y., and B. O. Akintunde. 2004. Some physical properties of sesame seed. *Biosystems Engineering*, 88 (1): 59-65.
- 18) Vilche, C., M. Gely., and E. Santalla. 2003. Physical Properties of Quinoa Seeds. *Biosystems Engineering*, 86 (1): 59-65.