

تأثیر مقدار رطوبت بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی دانه آفتابگردان آجیلی

مرتضی اسلامی^۱، لاله مهریار^{۲*}، محسن اسمعیلی^۳ و هادی بهرامی^۴

- ۱- کارشناس ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان (دانش آموخته مقطع کارشناسی علوم و صنایع غذایی مؤسسه آموزش عالی صبا)
 - ۲- دکتری تکنولوژی مواد غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه اورمیه (مدرس مؤسسه آموزش عالی صبا)
 - ۳- استاد تمام گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه اورمیه
 - ۴- کارشناس ارشد آزمایشگاه، مؤسسه آموزش عالی صبا
- تاریخ دریافت: ۹۷/۵/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۰/۲

چکیده

مطالعه ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و مکانیکی دانه آفتابگردان به منظور طراحی تجهیزات کنترل، حمل‌ونقل، پردازش و ذخیره کردن آن ضروری است. در این مطالعه، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و مکانیکی چهار توده دانه آفتابگردان آجیلی ارزیابی شده است. برخی از این ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و مکانیکی ارزیابی شده عبارت‌اند از: مقدار خاکستر کل، چربی، املاح معدنی، میانگین ابعاد دانه (طول، عرض، ضخامت، قطر)، ضریب کرویت، سطح مقطع دانه‌ها، حجم دانه، وزن هزار دانه، زاویه نشست، تخلخل، چگالی حقیقی و ظاهری، درصد مغز و پوسته، ضریب اصطکاک سطح و آزمون فشاری محوری. نتایج بررسی‌ها نشان داد که بیشترین میزان چربی (۴۸ درصد) و پتاسیم (۷۶/۶۳۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مربوط به نمونه ۳ (قلمی ابرق) و بیشترین مقدار خاکستر (۳/۸۳ درصد) و سدیم (۲۵/۳۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مربوط به نمونه ۴ (پسته‌ای ابرق) است. خواص فیزیکی دانه‌های آفتابگردان در پنج سطح رطوبتی ۴ تا ۳۲ درصد (بر مبنای وزن خشک) نیز ارزیابی شد و این نتیجه به دست آمد که با افزایش مقدار رطوبت، ویژگی‌هایی مانند میانگین ابعاد (طول، عرض، ضخامت)، ضریب کرویت، میانگین هندسی و حسابی قطر، سطح مقطع، حجم، وزن هزار دانه، زاویه نشست، تخلخل و چگالی حقیقی افزایش پیدا می‌کند، اما چگالی ظاهری کاهش می‌یابد. ضریب ثابت اصطکاک دانه‌های آفتابگردان در چهار سطح شیشه، نئوپان، گالوانیزه و آلومینیم با افزایش مقدار رطوبت افزایش نشان می‌دهد. بیشترین افزایش ضریب اصطکاک استاتیکی با افزایش رطوبت از ۴ به ۳۲ درصد در نمونه شماره ۳ و سطح آلومینیوم و کمترین افزایش در نمونه شماره ۱ و سطح شیشه دیده شده است. بر اساس نتایج آزمون فشاری محوری، نیروی بارگذاری عمودی بیشتر از نیروی بارگذاری افقی است و در تمامی نمونه‌ها در اثر افزایش مقدار رطوبت، نیروی بارگذاری عمودی و افقی کل کاهش یافته است.

کلیدواژه‌ها

آجیل و دانه‌های خوراکی، خواص بیوفیزیکی، ویژگی‌های کیفی، ویژگی‌های مکانیکی

روغن‌های گیاهی با کیفیت بالا در سرتاسر دنیا است

مقدمه

(De-Figueiredo *et al.*, 2011; Shukla & Srivastava, 1992). برابر آمار سازمان خواربار و کشاورزی جهانی (فائو)، اکراین، روسیه و آرژانتین

آفتابگردان از خانواده مرکبان با نام علمی *Helianthus annuus* L. یکی از گیاهان بومی نواحی مرکزی آمریکا و یکی از منابع عمده

درجه‌بندی کننده، رفع مشکلات توزیع استرس در مواد تحت فشار و اندازه‌گیری شکل و حجم محصولات کشاورزی در محاسبات تأثیر می‌گذارند (Simonyan *et al.*, 2009; Mohsenin, 1986). غلظت‌نیدن و لغزانیدن دانه‌ها به ضریب کرویت^۲ بستگی دارد و این فاکتور در طراحی تجهیزات ضروری است (Seifi & Alimardani, 2010). چگالی واقعی، حجمی و تخلخل نیز در انتقال محصول، تعیین حجم سیلوه‌ها، انبارداری و بسته‌بندی کاربرد دارند که می‌توانند در مقاومت جریان عبوری از درون توده نیز نمود پیدا کنند و بر میزان انتقال حرارت و جرم (رطوبت) در خلال فرآیند تهویه و خشک‌کردن مؤثر باشند (Tarighi *et al.*, 2011). وزن هزار دانه، شاخص مؤثر و مفیدی برای قطر معادل است و می‌تواند برای تخمین تئوریک حجم دانه‌ها و همچنین در تمیز کردن آنها با استفاده از نیروی آئرودینامیکی، جدا کردن و انتقال دانه‌ها به کار گرفته شود (Simonyan *et al.*, 2009; Perez *et al.*, 2007). برای تعیین ساختار انبار و تجهیزات، از زاویه نشست^۳ بهره گرفته می‌شود که از عوامل مهم در جریان پذیری مواد است (Seifi & Alimardani, 2010). ضریب اصطکاک استاتیک مواد روی فلز، چوب و دیگر سطوح در تعیین زاویه ناودان‌ها برای دستیابی به جریان مداوم از مواد، تعیین قدرت موتور برای انتقال و انبارداری دانه‌ها، پیش‌بینی فشار دانه‌ها روی دیواره‌های سیلو و تجهیزات برداشت نقش مهمی دارد (Mohsenin, 1986; Tarighi *et al.*, 2011; Gupta & Das, 1997). روی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و مکانیکی وابسته به رطوبت در محصولات کشاورزی مانند دانه نخود (Dutta *et al.*, 1988)، ارز (Baryeh & Mangope, 2003)، لوبیا (Cetin, 2007)، زرشک (Velayati *et al.*, 2011)

سه کشور عمده تولید کننده دانه آفتابگردان هستند. اکراین با تولید بیش از ۱۱ میلیون تن دانه آفتابگردان در سال، رتبه نخست را دارد (FAO, 2013). بر اساس آمار سازمان جهاد کشاورزی استان آذربایجان غربی، سطح زیر کشت آفتابگردان در ایران حدود ۶۰ هزار هکتار است و استان آذربایجان غربی با سطح زیر کشت ۲۴ هزار هکتار در سال ۱۳۹۸ در مقایسه با سایر استان‌های کشور، رتبه نخست کشوری را در تولید آفتابگردان آجیلی دارد که مساعد بودن شرایط اقلیمی و خاک‌های زراعی و وجود بزرگ‌ترین بازار خرید و فروش آجیل کشور در شهر خوی (از توابع استان آذربایجان غربی) از عمده دلایل کسب رتبه نخست در تولید آفتابگردان آجیلی است^۱ (W.A.A. Organization).

انواع غیر روغنی آفتابگردان (آجیلی) شامل پوسته (۴۷ درصد) و پروتئین (۳۰-۲۰ درصد) بیشتر از انواع روغنی است و ترکیبات دانه به مقدار قابل توجهی تحت تأثیر رقم آفتابگردان قرار می‌گیرد. چربی و پروتئین از اجزای اصلی دانه آفتابگردان هستند که به ترتیب ۴۷-۶۵ و ۲۰-۴۰ درصد از دانه پوست‌گیری شده را تشکیل می‌دهند (Raphael *et al.*, 1995). دانه آفتابگردان همچنین به‌عنوان منبع عالی ویتامین E، ویتامین B، پتاسیم، منیزیم، مس، سلنیم، فسفر و سدیم شناخته شده است (Ashwini, 2013).

دانستن ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و مکانیکی و بررسی وابستگی آنها به رطوبت به منظور بهینه کردن عملکرد ماشین‌های کشاورزی با اهمیت است (Simonyan *et al.*, 2009). اندازه، شکل و ابعاد دانه‌ها بر تفکیک دانه‌ها، تنظیم دستگاه‌های پوست‌گیری، انتقال حرارت و جرم، جداسازی مواد خارجی و دانه‌های معیوب، طراحی ماشین‌های

1- West Azerbaijan Agricultural (W.A.A.) Organization
3- Angle of repose

2- sphericity coefficient

مواد و روش‌ها**مواد**

چهار توده دانه آفتابگردان آجیلی (۱: قلمی سیاه، ۲: پسته‌ای سیاه، ۳: قلمی ابرق، ۴: پسته‌ای ابرق) از مناطق مختلف استان آذربایجان غربی تهیه و ناخالصی‌ها و مواد خارجی آنها مانند گردوغبار، خاک، سنگ، پوسته و دانه‌های شکسته و نارس با استفاده از غربال جدا گردید (Tarighi *et al.*, 2011). نمونه‌های آماده‌شده تا هنگام آزمایش در یخچال نگهداری شدند.

روش‌ها**ویژگی‌های شیمیایی****مقدار رطوبت**

مقدار رطوبت اولیه دانه‌ها با آون گذاری (C) 103 ± 1 در مدت ۲۴ ساعت (تا زمان رسیدن به وزن ثابت) اندازه‌گیری و طبق رابطه (۱) محاسبه شد (AACC, 44-15A). برای دستیابی به یک سطح رطوبت مطلوب (۴، ۸، ۱۶، ۲۰ و ۳۲ درصد بر مبنای وزن خشک)، با استفاده از رابطه (۲) مقدار آب مورد نظر به دانه‌ها اضافه و دانه‌ها به مدت یک هفته به‌منظور تبادل و یکنواختی رطوبت، در یخچال با دمای 4°C نگهداری شدند. قبل از هر آزمایش، دانه‌ها از یخچال بیرون آورده شدند تا دمای آنها با دمای محیط متعادل شود. رطوبت اولیه در ۴ درصد بر مبنای وزن خشک در بسته‌های پلی‌اتیلنی غیر قابل نفوذ به هوا تنظیم شد (Sacilik *et al.*, 2003).

$$\text{MC}(\%) = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 \quad (1)$$

جسو (Sologubik *et al.*, 2013) و ذرت (Sangamithra *et al.*, 2016) مطالعات فراوان است.

با توجه به تولید بالای آفتابگردان در ایران، پراکندگی مناطق مختلف تولید دانه آفتابگردان آجیلی و لزوم حمل‌ونقل درست آن به مراکز فروش و مصرف، ارائه تدابیر مفید به منظور بهبود وضعیت حمل‌ونقل، پوست‌گیری و خشک‌کردن می‌تواند بر کاهش هزینه تمام شده محصول نهایی برای مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان تأثیر بسزایی داشته باشد. همچنین، با در نظر گرفتن کاربردهای فراوان دانه آفتابگردان آجیلی در صنعت غذا (به‌خصوص در شیرینی‌پزی‌ها) و مواد آرایشی، بررسی و مطالعه ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و مکانیکی آن به‌منظور شناخت بهتر ویژگی‌های این محصول و ارائه راهکارهای مناسب برای طراحی تجهیزات و دستگاه‌های مناسب برای برداشت محصول، فناوری حمل محصول برداشت‌شده، انبار کردن، تمیز کردن، جدا کردن، خرد کردن، بسته‌بندی و غیره امری ضروری برای کاهش کار مؤثر، کم کردن ضایعات محصول و اندازه‌گیری کارایی ماشین است (Mohsenin, 1986).

هدف از این تحقیق، تعیین ویژگی‌های شیمیایی (مقدار رطوبت، چربی، خاکستر کل، سدیم و پتاسیم)، فیزیکی (ابعاد محوری، وزن هزار دانه، زاویه نشست، ضریب اصطکاک ایستایی، چگالی ظاهری و چگالی حقیقی، تخلخل) و برخی ویژگی‌های مکانیکی دانه‌های آفتابگردان آجیلی متداول در استان آذربایجان غربی است.

استفاده از نورسنج شعله‌ای^۱

فلیم فتومتری برای تعیین کم و کیف چندین نوع کاتیون، به‌ویژه فلزاتی که به‌آسانی تحریک می‌شوند و با دمای شعله نسبتاً کم به سطوح انرژی بالاتر می‌روند (مانند سدیم، پتاسیم، کلسیم، روبیدیم، سزیم، مس و باریوم) مناسب است. برای اندازه‌گیری میران سدیم و پتاسیم موجود در نمونه‌های آزمایشی، از دستگاه نورسنج شعله‌ای (مدل Corning 405 آنالوگ) استفاده شد.

ویژگی‌های فیزیکی

درصد فراوانی مغز و پوسته

با ترازویی با دقت ۰/۰۱ g، صد گرم از هر نمونه جدا شد تا درصد فراوانی مغز و پوسته تعیین شود. نمونه‌ها به طور دستی پوست‌گیری و با استفاده از رابطه‌های ۵ و ۶ پوسته و مغز آنها اندازه‌گیری شد:

$$h = \frac{W_h}{W_s} \times 100 \quad (۵)$$

که در آن،

h = درصد پوسته؛ W_h = وزن پوسته (گرم)؛ و W_s = وزن نمونه قبل از پوست‌گیری (گرم).

$$N = \frac{W_k}{W_s} \times 100 \quad (۶)$$

که در آن،

N = درصد مغز دانه؛ W_k = وزن مغز دانه (گرم)؛ و W_s = وزن نمونه قبل از پوست‌گیری (گرم).

ابعاد محوری دانه‌ها

از هر نمونه ۲۰۰ دانه و از هر ۲۰۰ دانه، ۵۰ دانه به‌طور تصادفی انتخاب شد و با استفاده از کولیس با دقت ۰/۰۱ mm، ابعاد اصلی دانه‌ها یعنی

که در آن،

M = مقدار رطوبت (درصد)؛ M_1 = وزن اولیه نمونه (گرم)؛ و M_2 = وزن ثانویه نمونه (گرم).

$$Q = \frac{M_1 (M_f - M_i)}{100 - M_f} \quad (۲)$$

که در آن،

Q = مقدار آب افزوده شده (درصد)؛ M_1 = وزن اولیه نمونه (گرم)؛ M_i = رطوبت اولیه نمونه (درصد)؛ و M_f = رطوبت نهایی (درصد).

خاکستر

مقدار خاکستر با استفاده از استاندارد AACC، 08-01 تعیین شد (رابطه ۳).

$$AS(\%) = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 \quad (۳)$$

که در آن،

AS = خاکستر (درصد)؛ M_1 = وزن اولیه نمونه (گرم)؛ و M_2 = وزن نهایی نمونه (گرم).

مقدار چربی

مقدار روغن با استفاده از روش سوکسله-هنکل مطابق با استاندارد AOAC، 920.39 و از طریق رابطه ۴ تعیین شد. از هگزان به‌عنوان حلال استخراج‌کننده استفاده گردید.

$$OC(\%) = \frac{M_4 - M_3}{M_1} \times 100 \quad (۴)$$

که در آن؛

OC = مقدار روغن (درصد)؛ M_4 = وزن بالن به همراه چربی (گرم)؛ M_3 = وزن بالن خالی (گرم)؛ و M_1 = وزن اولیه نمونه (گرم).

آوردن حجم واقعی دانه‌ها از روش جابه‌جایی سیال طبق قانون ارشمیدس استفاده شد. برای این کار، دانه‌ها در تتراکلرید کربن (CCl_4) با چگالی kg m^{-3} ۱۵۹۱ فرو برده شد و تغییرات وزنی دانه‌ها به دست آمد. با داشتن چگالی سیال و فرمول چگالی، حجم واقعی و چگالی حقیقی هر دانه برحسب kg m^{-3} از طریق رابطه ۱۴ تعیین شد (حجم جابه‌جاشده نشان‌دهنده حجم حقیقی دانه‌هاست).

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s} \quad (14)$$

که در آن،

m_s = وزن واقعی دانه (کیلوگرم)؛ V_s = حجم واقعی دانه (مترمکعب).

چگالی ظاهری

به‌منظور محاسبه چگالی ظاهری دانه‌های آفتابگردان، از یک ظرف مدرج ۵۰۰ سی‌سی استفاده و تا ارتفاع مشخصی با دانه پر شد (V_b). با کم کردن وزن ظرف محتوی دانه از ظرف خالی، وزن دانه‌ها (m_b) نیز به دست آمد. چگالی ظاهری به کمک رابطه ۱۵ و از نسبت وزن دانه‌ها به حجمی که دانه‌ها اشغال کرده‌اند به دست آمد و برحسب kg m^{-3} بیان گردید (Deshpande *et al.*, 1993).

$$\rho_b = \frac{m_b}{V_b} \quad (15)$$

که در آن،

M_b = وزن دانه (کیلوگرم)؛ V_b = حجم دانه (مترمکعب).

تخلخل

درصد تخلخل، نسبت فضاهای خالی بین دانه‌هاست به‌کل توده و با استفاده از رابطه ۱۶ محاسبه شد (Seifi & Alimardani, 2010; Tarighi *et al.*, 2011)

طول (L)، عرض (W) و ضخامت (T) برحسب میلی‌متر اندازه‌گیری شد. پس از آن، با استفاده از رابطه‌های ۷ تا ۱۳ میانگین هندسی قطر (D_e)، میانگین حسابی قطر (D_a)، ضریب کرویت (Φ)، حجم دانه‌ها (V) و سطح مقطع دانه‌ها (S) محاسبه شد (Seifi & Alimardani, 2010; Tarighi *et al.*, 2011).

$$D_e = (LWT)^{\frac{1}{3}} \quad (7)$$

$$D_a = \frac{(L + W + T)}{3} \quad (8)$$

$$\Phi = \frac{(LWT)^{\frac{1}{3}}}{L} \quad (9)$$

$$S = \pi D_e^2 \quad (10)$$

$$S = \frac{\pi B L^2}{(2L - B)} \quad (11)$$

$$V = \left(\frac{\pi B^2 L^2}{(2L - B)} \right) \quad (12)$$

$$B = (LW)^{\frac{1}{2}} \quad (13)$$

وزن هزار دانه

برای اندازه‌گیری وزن هزار دانه، از هر نمونه ۳ گروه دانه ۵۰۰ تایی به‌صورت تصادفی انتخاب شد. دانه‌های انتخاب‌شده با ترازویی با دقت ۰/۰۱ گرم وزن و حاصل آن در عدد ۲ ضرب شد. از میانگین ۳ تکرار، وزن هزار دانه گزارش شد (Dutta *et al.*, 1988; Joshi *et al.*, 1993).

چگالی حقیقی

چگالی حقیقی به‌صورت نسبت واقعی وزن به حجم واقعی دانه‌های آفتابگردان تعریف می‌شود. چگالی حقیقی دانه‌های آفتابگردان، مطابق با روش محسنین (۱۹۸۶) با کمی تغییرات به دست آمد. بیست دانه آفتابگردان به‌طور تصادفی انتخاب و با ترازویی با دقت ۰/۰۰۱ g وزن شد. برای به دست

بدین صورت است که نمونه مورد نظر روی سطح دستگاه قرار داده می شود و حسگر بارگذاری در سرعت تعریف شده تا حد شکستگی بر نمونه نیرو وارد می کند. از دستگاه آنالیز بافت (TA XT Plus Texture Analyzer) مجهز به حسگر بارگذاری ۲۵ کیلوگرم نیرو برای این منظور استفاده شد. مسیر بارگذاری نیرو بر روی نمونه ها در دو جهت افقی و عمودی اجرا گردید.

تجزیه و تحلیل آماری

میانگین ها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند. اندازه های اولیه در ۵۰ تکرار، مقادیر مربوط به رطوبت در ۲۰ تکرار و مقادیر شیمیایی در ۳ تکرار انجام گرفتند.

نتایج و بحث

ویژگی های شیمیایی ارقام آفتابگردان مورد

آزمایش

مقدار روغن و خاکستر به دلیل اثرات تغذیه ای مفید در بدن می تواند مهم باشد. مقدار روغن با روش سوکسله-هنکل محاسبه شد. همان طور که در جدول ۱ مشاهده می شود، مقدار روغن در نمونه های ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب ۴۶، ۴۰، ۴۸ و ۴۳/۳ درصد بود. این نتایج با نتایج تحقیقات سینگ و همکاران (Singh et al. 1999) همخوانی دارد که میزان روغن در ارقام مختلف دانه های آفتابگردان را ۳۷/۹۲-۴۶/۳ درصد گزارش داده اند.

خاکستر دانه های آفتابگردان حاوی پتاسیم، سدیم، منیزیم، کلسیم و غیره است. بیشترین و کمترین مقدار خاکستر در نمونه های ۴ و ۱ دیده شده است (جدول ۱). سدیم و پتاسیم به دلیل تأثیرشان در تنظیم و کاهش فشارخون مهم هستند. پتاسیم در بین مواد معدنی موجود در آفتابگردان

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_s}\right) \times 100 \quad (16)$$

که در آن،
 ρ_b = چگالی ظاهری (کیلوگرم بر مترمکعب)؛ و
 ρ_s = چگالی حقیقی دانه (کیلوگرم بر مترمکعب).

زاویه نشست

زاویه نشست (θ_f) زاویه ای است که تل دانه ها با سطح افق می سازد که با استفاده از جعبه چوبی با ابعاد $10 \times 10 \times 10$ سانتی متر اندازه گیری شد. با پر کردن جعبه از نمونه و خالی کردن یک باره آن، دانه ها پخش می شوند و شیبی طبیعی به وجود می آورند که با اندازه گیری مساحت دانه های پخش شده (V) و ارتفاع دانه ها (A) زاویه نشست با رابطه ۱۷ به دست می آید (Tarighi et al., 2011).

$$\theta_f = \tan^{-1}\left(\frac{A}{V}\right) \quad (17)$$

زاویه اصطکاک

ضریب اصطکاک استاتیک عبارت است از نیرویی که دانه برای شروع حرکت نیاز دارد. برای محاسبه زاویه اصطکاک استاتیک (μ_s) دانه ها، از ۴ سطح مختلف شامل نئوپان، گالوانیزه، شیشه و آلومینیم استفاده شد. دانه ها روی سطوح مذکور قرار داده شدند و سطح اصطکاکی تا آن مقدار بالا برده شد که دانه شروع به حرکت کند، شیب سطح (α) قرائت و با استفاده از رابطه ۱۸ زاویه اصطکاک محاسبه شد (Tarighi et al., 2011).

$$\mu_s = \tan \alpha \quad (18)$$

ویژگی های مکانیکی

ویژگی های مکانیکی دانه های آفتابگردان آجیلی پوست گیری نشده تحت آزمون فشاری محوری^۱ و در سرعت پروب^۲ 2 mm s^{-1} ارزیابی شد. روش کار

دارای بیشترین غلظت است. بر اساس جدول ۲، مقدار پتاسیم را دارند که شاید ناشی از رقم دانه‌ها، نمونه‌های ۴ و ۳ نسبت به نمونه‌های دیگر بالاترین اثر تنش، استرس و شرایط اقلیمی باشد.

جدول ۱- مقادیر اولیه چربی، خاکستر، رطوبت مغز دانه و درصد پوسته و مغز دانه آفتابگردان

نمونه	چربی (درصد)	خاکستر (درصد)	رطوبت مغز دانه (درصد)	مقدار پوسته (درصد)	مقدار مغز دانه (درصد)
*۱	۴۶	۳/۴۷±۰/۱۲	۴/۲۰±۰/۵۳	۵۳/۷۵±۰/۴۵	۴۶/۲۵±۰/۴۵
۲	۴۰	۳/۷۸±۰/۱۹	۳/۳۰±۰/۱۴	۵۲/۴۵±۰/۶۶	۴۷/۵۵±۰/۶۶
۳	۴۸	۳/۵۳±۱/۲۷	۳/۶۰±۰/۶۰	۵۳/۷۸±۱/۹۳	۴۶/۲۲±۱/۹۳
۴	۴۳/۳	۳/۸۳±۰/۱۴	۳/۸۷±۰/۵۰	۴۳/۱۷±۲/۰۵	۵۶/۸۳±۲/۰۵

*۱: قلمی سیاه، ۲: پسته‌ای سیاه، ۳: قلمی ابرق، ۴: پسته‌ای ابرق

جدول ۲- نتایج اندازه‌گیری سدیم و پتاسیم

نمونه	نشر	غلظت K^+ در نمونه (پی‌پی‌ام)	نشر	غلظت Na^+ در نمونه (پی‌پی‌ام)
*۱	۹۸	۷۳/۴۵۶	۳۰	۲۲/۱۷۰
۲	۹۵	۷۱/۰۶۹	۳۲	۲۳/۷۴۴
۳	۱۰۲	۷۶/۶۳۹	۳۰	۲۲/۱۷۰
۴	۱۰۰	۷۵/۰۴۷	۳۴	۲۵/۳۱۸

*۱: قلمی سیاه، ۲: پسته‌ای سیاه، ۳: قلمی ابرق، ۴: پسته‌ای ابرق

ویژگی‌های فیزیکی ارقام آفتابگردان مورد آزمایش

درصد فراوانی پوسته و مغز دانه

جدول (۱) نشان می‌دهد که مقدار پوسته دانه‌های آفتابگردان مورد آزمایش از ۴۳/۱۷ تا ۵۶/۸۳ درصد و مقدار مغز بین ۴۶/۲۲ و ۵۶/۸۳ درصد متغیر است. این نتیجه‌گیری با نتایج تحقیقات سینگ و همکاران (Singh et al., 1999) و نل (Nel, 2001) متفاوت است که به ترتیب مقدار پوسته دانه ارقام مختلف آفتابگردان را ۲۲/۳ تا ۲۸/۰۰ درصد و ۳۱/۰ تا ۳۱/۸ درصد گزارش کردند.

تغییرات دیگر ابعاد اصلی کمتر است. بیشترین میزان افزایش ابعاد محوری در اثر افزایش مقدار رطوبت از ۴ به ۳۲ درصد، مربوط به نمونه ۴ و در ضخامت (به میزان ۱۳ درصد) است.

ابعاد محوری

در جدول (۳) مشاهده می‌شود که با افزایش مقدار رطوبت از ۴ به ۸ درصد، عرض نمونه‌های ۲ و ۴ کاهش و سپس افزایش پیدا می‌کند که با نتایج بررسی‌های سیفی و علیمردانی (Seifi & Alimardani, 2010) (در مقدار رطوبت بین ۴ و ۱۲ درصد) و تحقیقات بیسه و همکاران (Bhise et al., 2013) (در مقدار رطوبت ۱۴-۱۲ درصد) برای دانه آفتابگردان همخوانی دارد. ضخامت در تمامی نمونه‌ها با افزایش رطوبت از ۴ به ۳۲ درصد افزایش یافته است که فقط در نمونه ۱ این افزایش معنی‌دار

ابعاد محوری دانه‌های آفتابگردان از جمله طول (L)، عرض (W) و ضخامت (T) نمونه‌ها در مقدار رطوبت ۴ تا ۳۲ درصد بر مبنای وزن خشک در جدول (۳) افزایش نشان می‌دهد؛ دیده می‌شود که تغییرات طول در اثر افزایش مقدار رطوبت، نسبت به

ضریب کرویت با نتایج تحقیقات برای دیگر محصولات کشاورزی مانند بزرک (Selvi *et al.*, 2006) و سویا (Wandkar *et al.*, 2012) همخوانی دارد. مقدار کرویت در بیشتر محصولات کشاورزی ۱-۳۲/۰ است. قطر معادل، میانگین حسابی قطر، حجم و سطح مقطع دانه‌ها با افزایش رطوبت افزایش یافته است (جدول ۳)، ولی این افزایش در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار نیست.

وزن هزار دانه

با توجه به جدول ۳، با افزایش مقدار رطوبت از ۴ به ۳۲ درصد، وزن هزار دانه به صورت خطی در تمامی نمونه‌ها با اختلاف معنی دار ($p < 0.05$) افزایش یافته است. محدوده تغییرات وزن هزار دانه ۲۲۴/۴-۱۰۱/۹ گرم گزارش شده است که با نتایج به دست آمده برای دانه آفتابگردان (Ashwini, 2013; Gupta & Das, 1997) دانه‌های لوبیا (Eşref & Halil, 2007) و دانه‌های گندم (Tabatabaeefar, 2003) مطابقت دارد.

است. افزایش در ابعاد محوری را می‌توان به ساختار فیبری و متخلخل پوسته دانه آفتابگردان مربوط دانست که توانایی جذب آب و متورم شدن دانه‌ها را دارد.

کرویت، قطر معادل، میانگین حسابی قطر، حجم و سطح مقطع

تغییرات کرویت، میانگین هندسی قطر، میانگین حسابی قطر، حجم و سطح مقطع در جدول (۳) نشان داده شده است. کرویت یکی از خصوصیات است که به صورت نسبت حجم جسم جامد به کره‌ای (دایره‌ای) با همان حجم تعریف می‌شود که جسم جامد را احاطه می‌کند (Baümler *et al.*, 2006). ضریب کرویت نمونه‌ها با افزایش درصد رطوبت از ۴ به ۳۲ برای نمونه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب از ۰/۴۴۱ به ۰/۴۶۲ (با ۴/۷ درصد افزایش)، ۰/۴۳۲ به ۰/۴۵۳ (با ۴/۸ درصد افزایش)، ۰/۵۷۸ (با ۶/۶ درصد افزایش) و ۰/۵۲۷ به ۰/۵۶۱ (با ۶/۴ درصد افزایش) بیشتر شده است. این افزایش در

جدول ۳- تغییرات ابعاد محوری دانه‌ها و وزن هزار دانه آفتابگردان در رطوبت‌های مختلف

نمونه	مقدار رطوبت (بر مبنای وزن خشک)				ویژگی‌ها
	۲۲	۲۰	۱۶	۸	
۱	۲۵/۷۰۳±۲/۱۹۴ ^a	۲۵/۷۷۳±۲/۲۳۷ ^a	۲۵/۵۸۷±۲/۲۶۱ ^a	۲۵/۸۴۵±۲/۲۲۹ ^a	طول (میلی‌متر)
۲	۲۲/۳۲۸±۱/۸۹۱ ^a	۲۲/۴۰۶±۱/۸۹۷ ^a	۲۲/۳۱۲±۱/۸۹۵ ^a	۲۲/۰۳۸±۱/۸۷۳ ^a	
۳	۱۹/۸۴۸±۲/۲۵۹ ^a	۱۹/۸۰۱±۲/۲۶۰ ^a	۱۹/۸۷۲±۲/۲۴۸ ^a	۱۹/۸۷۱±۲/۲۳۳ ^a	
۴	۱۶/۳۸۲±۱/۱۴۰ ^a	۱۶/۴۰۳±۱/۱۴۵ ^a	۱۶/۳۷۵±۱/۱۴۵ ^a	۱۶/۳۶۹±۱/۱۱۳ ^a	
۱	۱۰/۳۶۱±۰/۹۹۰ ^a	۱۰/۱۸۰±۱/۰۰۰ ^a	۱۰/۱۵۵±۰/۹۵۰ ^a	۹/۹۵۱±۱/۰۰۸ ^a	عرض (میلی‌متر)
۲	۸/۵۶۶±۰/۶۶۵ ^a	۸/۶۰۶±۰/۷۰۲ ^a	۸/۰۴۰±۰/۶۸۳ ^a	۸/۱۷۶±۰/۷۳۳ ^a	
۳	۱۱/۴۷۳±۰/۹۸۳ ^a	۱۱/۰۵۹±۰/۹۹۳ ^a	۱۰/۸۸۳±۱/۰۹۷ ^a	۱۰/۸۱۱±۱/۰۸۳ ^a	
۴	۹/۱۸۹±۱/۰۴۳ ^a	۹/۰۷۱±۱/۰۴۵ ^a	۸/۷۸۲±۱/۰۴۳ ^a	۸/۶۱۶±۱/۰۱۲ ^a	
۱	۶/۳۳۷±۰/۶۹۹ ^a	۶/۰۰۱±۰/۷۶۱ ^{ab}	۵/۸۵۴±۰/۷۰۸ ^{ab}	۵/۷۰۳±۰/۷۰۰ ^{ab}	ضخامت (میلی‌متر)
۲	۵/۳۹۴±۰/۷۰۸ ^a	۵/۰۷۷±۰/۶۴۴ ^a	۵/۰۷۳±۰/۶۸۶ ^a	۴/۹۹۳±۰/۸۶۰ ^a	
۳	۶/۵۳۵±۰/۹۸۹ ^a	۶/۱۹۵±۱/۰۴۴ ^a	۵/۹۸۴±۱/۰۴۲ ^a	۵/۹۲۰±۱/۰۷۶ ^a	
۴	۵/۱۹۸±۱/۰۲۷ ^a	۴/۹۵۷±۰/۹۶۵ ^a	۴/۶۱۲±۱/۰۴۲ ^a	۴/۵۹۷±۰/۹۴۲ ^a	

ادامه جدول ۳- تغییرات ابعاد محوری دانه‌ها و وزن هزار دانه آفتابگردان در رطوبت‌های مختلف

ویژگی‌ها	نمونه	مقدار رطوبت (بر مبنای وزن خشک)			
		۴	۸	۱۶	۲۰
میانگین هندسی قطر	۱	۱۳/۶۹۴±۰/۹۲۹ ^a	۱۳/۸۲۳±۰/۸۸۵ ^a	۱۳/۸۶۵±۰/۹۱۱ ^a	۱۳/۹۸۵±۰/۹۴۲ ^a
	۲	۱۱/۷۸۶±۰/۹۶۹ ^a	۱۱/۷۲۶±۰/۹۵۵ ^a	۱۱/۹۳۰±۰/۹۰۹ ^a	۱۲/۰۲۹±۰/۸۶۲ ^a
	۳	۱۲/۱۴۶±۱/۰۴۹ ^a	۱۲/۲۰۱±۱/۰۲۶ ^a	۱۲/۲۴۶±۱/۰۳۱ ^a	۱۲/۳۵۲±۰/۹۹۷ ^a
	۴	۹/۸۸۹±۰/۸۶۳ ^a	۹/۸۶۱±۰/۸۴۸ ^a	۹/۹۲۳±۰/۸۳۴ ^a	۱۰/۱۴۴±۰/۸۳۶ ^a
میانگین حسابی قطر	۱	۱۱/۲۰۲±۰/۸۶۸ ^a	۱۱/۳۲۹±۰/۸۰۴ ^a	۱۱/۴۷۱±۰/۸۱۲ ^a	۱۱/۶۰۰±۰/۸۶۵ ^a
	۲	۹/۵۸۹±۰/۸۱۶ ^a	۹/۶۲۶±۰/۸۶۹ ^a	۹/۸۱۵±۰/۷۸۳ ^a	۹/۹۰۷±۰/۷۱۴ ^a
	۳	۱۰/۶۹۷±۱/۰۹۳ ^a	۱۰/۷۸۹±۱/۰۵۸ ^a	۱۰/۸۵۱±۱/۰۳۹ ^a	۱۱/۰۲۳±۰/۹۷۱ ^a
	۴	۸/۶۳۹±۱/۰۰۲ ^a	۸/۶۲۳±۰/۹۸۵ ^a	۸/۶۷۳±۱/۰۲۰ ^a	۹/۰۰۳±۰/۹۶۵ ^a
کروییت	۱	۰/۴۴۱±۰/۰۳۹ ^a	۰/۴۴۱±۰/۰۳۹ ^a	۰/۴۵۱±۰/۰۳۹ ^a	۰/۴۵۲±۰/۰۳۸ ^a
	۲	۰/۴۳۲±۰/۰۲۶ ^a	۰/۴۳۷±۰/۰۲۲ ^a	۰/۴۴۱±۰/۰۲۲ ^a	۰/۴۴۳±۰/۰۲۳ ^a
	۳	۰/۵۷۸±۰/۰۵۴ ^a	۰/۵۶۱±۰/۰۵۵ ^a	۰/۵۵۰±۰/۰۵۶ ^a	۰/۵۴۶±۰/۰۵۶ ^a
	۴	۰/۵۲۷±۰/۰۴۷ ^a	۰/۵۲۷±۰/۰۴۶ ^a	۰/۵۳۰±۰/۰۵۷ ^a	۰/۵۴۹±۰/۰۵۰ ^a
حجم (میلی متر مکعب)	۱	۲۵۰/۳۱۰±۵۱/۱۶۴ ^a	۳۵۸/۰۵۰±۴۷/۰۳۶ ^a	۳۶۵/۱۲۰±۴۸/۳۸۲ ^a	۳۷۳/۳۰۰±۵۲/۷۸۰ ^a
	۲	۲۵۸/۴۴۰±۲۱/۲۰۰ ^a	۲۵۹/۳۳۰±۴۷/۰۳۸ ^a	۲۶۸/۷۶۰±۴۳/۲۹۷ ^a	۲۷۳/۲۲۰±۳۹/۷۶۵ ^a
	۳	۳۰۹/۰۹۰±۶۲/۵۹۲ ^a	۳۱۳/۶۲۰±۵۹/۹۱۳ ^a	۳۱۷/۰۹۰±۵۹/۶۰۱ ^a	۳۲۶/۱۵۰±۵۷/۰۶۱ ^a
	۴	۲۰۲/۴۰۰±۴۴/۲۴۶ ^a	۲۰۱/۶۰۰±۴۳/۴۸۴ ^a	۲۰۴/۰۶۰±۴۵/۱۲۹ ^a	۲۱۸/۴۱۰±۴۴/۷۵۱ ^a
سطح مقطع (میلی متر مربع)	۱	۴۳۹/۷۵۰±۱۰۵/۴۸۰ ^a	۴۵۳/۴۳۰±۹۵/۸۹۸ ^a	۴۷۳/۳۴۰±۱۰۰/۴۳۰ ^a	۴۹۱/۰۰۰±۱۱۱/۵۰۰ ^a
	۲	۲۷۴/۹۷۰±۷۴/۴۴۷ ^a	۲۷۹/۸۶۰±۸۲/۵۶۶ ^a	۲۹۵/۵۷۰±۷۶/۲۲۴ ^a	۳۰۳/۲۴۰±۶۸/۸۴۸ ^a
	۳	۴۱۵/۷۳۰±۱۴۱/۶۰۰ ^a	۴۲۵/۶۶۰±۱۳۰/۷۲۰ ^a	۴۳۳/۸۸۰±۱۳۱/۹۸۰ ^a	۴۵۶/۱۱۰±۱۲۸/۰۱۰ ^a
	۴	۲۱۸/۶۸۰±۷۸/۵۶۴ ^a	۲۱۷/۲۲۰±۷۷/۰۴۹ ^a	۲۲۲/۷۵۰±۸۳/۲۶۵ ^a	۲۱۷/۲۲۰±۷۷/۰۴۹ ^a
وزن ۱۰۰۰ دانه (گرم)	۱	۱۹۹/۳ ^e	۱۹۹/۸ ^d	۲۰۴ ^c	۲۱۳/۹ ^b
	۲	۱۴۵ ^e	۱۴۸/۶ ^d	۱۵۱/۷ ^c	۱۵۹/۳ ^b
	۳	۱۸۶/۶ ^e	۱۸۷/۲ ^d	۱۹۱ ^c	۲۰۰ ^b
	۴	۱۰۱/۹ ^e	۱۰۲/۹ ^d	۱۰۵ ^c	۱۱۰ ^b

نتایج به صورت میانگین ± انحراف معیار ۲۰ تکرار هستند. حروف متفاوت در هر ردیف نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

* ۱: قلمی سیاه، ۲: پسته‌ای سیاه، ۳: قلمی ابرق، ۴: پسته‌ای ابرق

چگالی ظاهری و چگالی حقیقی

تغییرات چگالی ظاهری و چگالی حقیقی با افزایش درصد رطوبت از ۴ به ۳۲ بر مبنای وزن خشک در شکل (۱) نشان داده شده است. مقادیر چگالی ظاهری و حقیقی به ترتیب در محدوده ۲۹۷/۴-۱۸۸/۳۱ کیلوگرم بر مترمکعب و ۶۴۸/۹۱-۴۱۲/۰۶ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش شده است.

چگالی ظاهری نمونه‌های مورد آزمون با افزایش مقدار رطوبت به صورت خطی کاهش یافته است (شکل ۱). این کاهش می‌تواند به این دلیل باشد که در اثر افزایش رطوبت، حجم و جرم دانه‌ها افزایش پیدا می‌کند، اما افزایش حجم دانه و به دنبال آن افزایش فضای آزاد بین دانه‌ها باعث کاهش در چگالی ظاهری شده است. در نمونه‌های ۱، ۲ و ۳ در

دیفوزیون بخار آب در خشک کردن ساده تر می شود (Tarighi *et al.*, 2011; Bhise *et al.*, 2013). در افزایش تخلخل برای دانه های آفتابگردان (Gupta & Das, 1997)، لوبیا سودانی (Baryeh & Mangope, 2003) و دانه رازیانه (Ahmadi & Mollazade, 2009) نتایج مشابهی گزارش شده است. در حالی که دسفانده و همکاران (Deshpande *et al.*, 1993) و ایسا و همکاران (Eissa *et al.*, 2010) گزارش داده اند در سویا، نخود و کتان، با افزایش درصد رطوبت مقدار تخلخل کاهش می یابد.

زاویه نشست

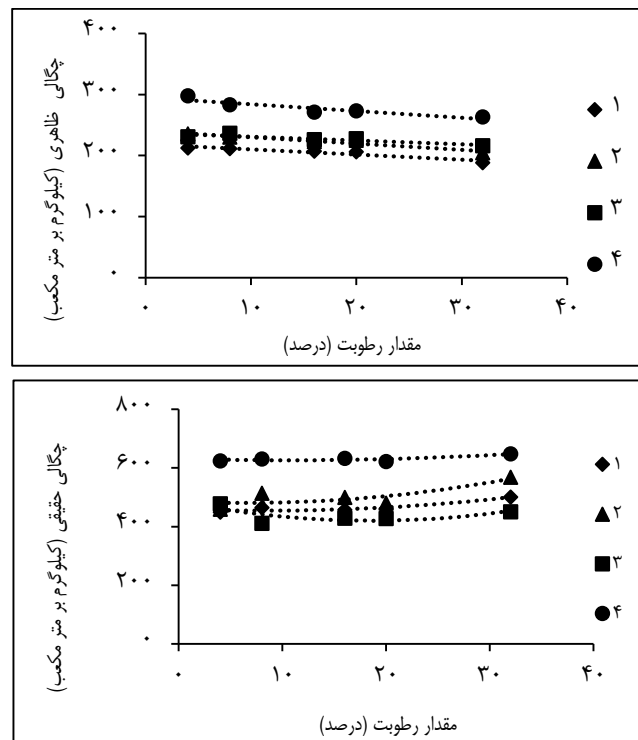
نتایج به دست آمده از اثر تغییرات رطوبت بر زاویه نشست در جدول (۵) نشان داده شده است. دامنه تغییرات این زاویه در محدوده ۲۴/۰۷۱-۷/۹۵۹ درجه گزارش گردید. با افزایش درصد رطوبت، زاویه نشست نیز افزایش پیدا کرده و این میزان در افزایش درصد رطوبت از ۲۰ به ۳۲ بیشترین مقدار بوده است. دلیل افزایش زاویه نشست با افزایش رطوبت را به این نسبت داده اند که لایه ای نازک از رطوبت اطراف دانه ها را احاطه کرده که اثر کشش سطحی ناشی از لایه رطوبت موجب می شود دانه ها در کنار یکدیگر نگه داشته شوند (Pradhan *et al.*, 2009). این نتایج با نتایج تحقیقات گوپتا و داس (Gupta & Das, 1997) و طریقی و همکاران (Tarighi *et al.*, 2011) برای دانه آفتابگردان همخوانی دارد.

افزایش رطوبت از ۱۶ به ۱۸ درصد چگالی ظاهری افزایش و سپس کاهش می یابد (شکل ۱) که با نتایج تحقیقات بیسه و همکاران (Bhise *et al.*, 2013) (۱۸-۱۶ درصد) و سیفی و علیمردانی (Seifi & Alimardani, 2010) (۱۶-۱۲ درصد) همخوانی دارد.

چگالی حقیقی با افزایش رطوبت افزایش می یابد که می تواند ناشی از افزایش بیشتر وزن نسبت به حجم دانه ها باشد (شکل ۱). چگالی ظاهری نمونه های ۱ و ۳ با افزایش مقدار رطوبت از ۴ تا ۱۶ درصد کاهش نشان می دهد که با نتایج بررسی های بیسه و همکاران (Bhise *et al.*, 2013) در مقدار رطوبت ۱۲-۱۰ درصد و سیفی و علیمردانی (Seifi & Alimardani, 2010) در مقدار رطوبت ۱۲-۵ درصد همخوانی دارد.

تخلخل

میزان تخلخل نمونه ها در محدوده ۶۴/۰۷۹-۴۲/۶۸۱ درصد قرار داشت. تخلخل در تمامی نمونه ها با افزایش رطوبت از ۴ به ۳۲ درصد بر اساس وزن خشک، افزایش پیدا کرده است (جدول ۵). تخلخل به چگالی حجمی و ظاهری بستگی دارد، این میزان وابستگی در دانه های مختلف متفاوت است (Singh *et al.*, 1999). این است که میزان کاهش چگالی ظاهری با افزایش رطوبت نسبت به میزان افزایش چگالی حقیقی کمتر است. هر چه مقدار تخلخل بیشتر باشد هوادهی و



شکل ۱- تغییرات چگالی حقیقی و چگالی ظاهری دانه‌های آفتابگردان در رطوبت‌های مختلف
 کد نمونه: ۱ قلمی سیاه، ۲ پسته‌ای سیاه، ۳ قلمی ابرق، ۴ پسته‌ای ابرق

ضریب اصطکاک ایستایی

نتایج بررسی ضریب اصطکاک ایستایی در سطوح شیشه، نئوپان، گالوانیزه و آلومینیم در درصد رطوبت بین ۴ تا ۳۲ در جدول ۴ نشان داده شده است. میزان ضریب اصطکاک ایستایی برای سطوح ذکر شده به ترتیب در محدوده ۰/۴۲۹-۰/۵۸۷، ۰/۳۲۸-۰/۵۲۶، ۰/۳۳۱-۰/۵۴۷ و ۰/۶۳۹-۰/۳۲۳ به دست آمد. با توجه به جدول (۴) با افزایش درصد رطوبت، ضریب اصطکاک ایستایی در تمامی نمونه‌ها افزایش یافته است که دلیل آن، افزایش چسبندگی بین دانه و سطح موردنظر است که باعث می‌شود نیروی لازم برای شروع حرکت افزایش یابد (Seifi & Alimardani, 2010; Gupta & Das, 1997; Khodabakhshian et al., 2010). اصطکاک مربوط به سطوح صاف و صیقلی و

بیشترین آن مربوط به سطوح صاف و به هم فشرده گزارش شده است (Amin et al., 2004). در این مطالعه، بیشترین ضریب اصطکاک ایستایی، (۰/۴۷۰)، در رطوبت ۴ درصد مربوط به سطح شیشه و نمونه ۳ دیده می‌شود، در حالی که در اثر افزایش رطوبت از ۴ به ۳۲ درصد، کمترین میزان (۱۷/۷۱ درصد) مربوط به نمونه ۱ و سطح شیشه و بیشترین میزان (۷۲/۱۷ درصد) مربوط به نمونه ۳ و سطح آلومینیم است. افزایش مقدار ضریب اصطکاک ایستایی در اثر افزایش رطوبت در محصولاتمانند دانه گلرنگ (Gupta & Prakash, 1992). هندوانه (Razavi et al., 2007). سویا (Davies & El-Okene, 2009) و بادام (Mirzabe et al., 2013) نیز گزارش شده که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. ضریب اصطکاک ایستایی

به دست آمده از تحقیقات گوپتا و داس (Gupta & Das, 1997) در رطوبت ۴ تا ۲۰ درصد، بین ۴ و ۲۲ درصد برابر ۰/۵۵-۰/۲۹ گزارش شده است و در این مطالعه در رطوبت‌های ۴ تا ۳۲ درصد و در تحقیقات سیفی و علیمردانی (Seifi & Alimardani, 2010) در رطوبت ۰/۳۵۱-۰/۶۵۱ و در تحقیقات سیفی و علیمردانی (Seifi & Alimardani, 2010) در رطوبت ۰/۳۲-۰/۶۴ به دست آمده است.

جدول ۴- مقادیر ضریب اصطکاک برای سطوح و رطوبت‌های مختلف

نمونه	شیشه	نئویان	گالوانیزه	آلومینیم	مقدار رطوبت (درصد بر مبنای وزن خشک)
۱*	۰/۴۲۹±۰/۰۸۸ ^b	۰/۳۲۹±۰/۰۵۲ ^b	۰/۳۶۰±۰/۰۵۳ ^d	۰/۳۲۳±۰/۰۶۴ ^c	۴
۲	۰/۴۵۸±۰/۰۵۴ ^b	۰/۳۳۱±۰/۰۵۴ ^c	۰/۳۶۰±۰/۰۴۸ ^d	۰/۳۳۷±۰/۰۴۸ ^c	
۳	۰/۴۷۰±۰/۰۶۲ ^b	۰/۳۲۸±۰/۰۴۷ ^c	۰/۳۳۱±۰/۰۳۷ ^d	۰/۳۶۳±۰/۰۷۹ ^d	
۴	۰/۴۵۷±۰/۰۶۱ ^c	۰/۳۲۹±۰/۰۴۸ ^c	۰/۳۵۵±۰/۰۶۵ ^c	۰/۳۸۱±۰/۰۸۷ ^c	
۱	۰/۴۳۶±۰/۰۷۶ ^{ab}	۰/۳۷۰±۰/۰۵۵ ^b	۰/۳۶۸±۰/۰۷۲ ^{cd}	۰/۴۱۷±۰/۰۶۶ ^b	۸
۲	۰/۴۶۱±۰/۰۹۱ ^{ab}	۰/۳۹۰±۰/۰۵۷ ^{bc}	۰/۳۷۴±۰/۰۶۱ ^{cd}	۰/۴۵۳±۰/۰۷۴ ^b	
۳	۰/۴۷۶±۰/۰۸۴ ^b	۰/۳۹۲±۰/۰۶۵ ^b	۰/۳۷۷±۰/۰۶۱ ^{cd}	۰/۴۴۷±۰/۰۶۴ ^c	
۴	۰/۴۷۱±۰/۰۷۸ ^{bc}	۰/۴۱۲±۰/۰۶۱ ^b	۰/۴۰۳±۰/۰۶۲ ^c	۰/۴۶۸±۰/۰۸۶ ^b	
۱	۰/۴۶۹±۰/۰۵۸ ^{ab}	۰/۳۷۲±۰/۰۵۸ ^b	۰/۴۱۴±۰/۰۷۷ ^{bc}	۰/۴۴۵±۰/۰۸۰ ^b	۱۶
۲	۰/۴۸۱±۰/۰۶۹ ^{ab}	۰/۳۹۴±۰/۰۵۳ ^b	۰/۴۱۳±۰/۰۶۱ ^{bc}	۰/۴۶۷±۰/۰۸۷ ^b	
۳	۰/۴۹۳±۰/۰۷۱ ^b	۰/۴۰۳±۰/۰۶۵ ^b	۰/۴۲۱±۰/۰۶۵ ^{bc}	۰/۵۲۹±۰/۰۷۶ ^b	
۴	۰/۵۲۱±۰/۰۷۱ ^{ab}	۰/۴۱۰±۰/۰۶۸ ^b	۰/۴۰۶±۰/۰۵۶ ^c	۰/۵۰۹±۰/۰۹۰ ^b	
۱	۰/۴۸۶±۰/۰۹۹ ^{ab}	۰/۳۷۵±۰/۰۵۲ ^b	۰/۴۴۰±۰/۰۵۲ ^b	۰/۴۶۸±۰/۰۶۷ ^{ab}	۲۰
۲	۰/۵۲۶±۰/۱۰۲ ^{ab}	۰/۴۰۷±۰/۰۷۲ ^b	۰/۴۵۶±۰/۰۵۶ ^{ab}	۰/۴۸۲±۰/۰۵۹ ^b	
۳	۰/۵۳۶±۰/۰۸۷ ^{ab}	۰/۴۲۲±۰/۰۵۴ ^b	۰/۴۶۲±۰/۰۴۸ ^b	۰/۵۲۴±۰/۰۶۹ ^b	
۴	۰/۵۴۳±۰/۰۸۵ ^a	۰/۴۱۵±۰/۰۵۴ ^b	۰/۴۷۳±۰/۰۶۵ ^b	۰/۵۱۴±۰/۰۵۹ ^b	
۱	۰/۵۰۵±۰/۰۸۵ ^a	۰/۴۷۷±۰/۰۷۷ ^a	۰/۵۰۷±۰/۰۶۲ ^a	۰/۵۲۴±۰/۰۵۸ ^a	۳۲
۲	۰/۵۳۹±۰/۱۱۵ ^a	۰/۵۰۰±۰/۱۰۰ ^a	۰/۵۰۲±۰/۰۷۳ ^a	۰/۵۶۶±۰/۰۷۱ ^a	
۳	۰/۵۸۷±۰/۱۱۷ ^a	۰/۵۲۲±۰/۰۷۹ ^a	۰/۵۴۷±۰/۰۶۰ ^a	۰/۶۲۵±۰/۱۱۰ ^a	
۴	۰/۵۴۸±۰/۱۲۴ ^a	۰/۵۲۶±۰/۰۷۰ ^a	۰/۵۴۱±۰/۰۷۰ ^a	۰/۶۳۹±۰/۰۹۶ ^a	

به صورت میانگین ± انحراف معیار ۲۰ تکرار است. حروف متفاوت در هر ستون برای هر نمونه مورد نظر نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

* ۱: قلمی سیاه، ۲: پسته‌ای سیاه، ۳: قلمی ابرق، ۴: پسته‌ای ابرق

در دامنه ۰/۶۶۷-۱۱۳/۱۱۰ نیوتن و نیوتن و ۲۲/۰۱۶-۱۱۲/۶۲۹ نیوتن قرار دارد. در تمامی نمونه‌ها دیده می‌شود در اثر افزایش مقدار رطوبت، نیروی بارگذاری عمودی و افقی کل کاهش یافته است (Perez et al., 2007; Joshi et al., 1993; Khodabakhshian et al., 2010). در اثر افزایش

ویژگی‌های مکانیکی نیروی بارگذاری افقی و عمودی تغییرات نیروی بارگذاری افقی و عمودی با افزایش رطوبت از ۴ به ۳۲ درصد بر مبنای وزن خشک در جدول (۵) ارائه شده است. محدوده تغییرات نیروی بارگذاری افقی و عمودی به ترتیب

رطوبت از ۴ به ۸ درصد، نیروی بارگذاری افقی نمونه ۱ ابتدا افزایش یافته (از ۲۱/۸۰۰ به ۵۰/۲۱۹ نیوتن رسیده) و پس از آن کاهش یافته (از ۴۲/۷۶۷ نیوتن، به ۳۲/۰۵۸ و ۱۸/۹۷۶ نیوتن رسیده) است. این افزایش در نیروی بارگذاری می‌تواند به دلیل این باشد که وقتی رطوبت افزایش پیدا می‌کند ممکن است پوسته متورم شود و فضای خالی دانه و پوسته را پر کند و باعث افزایش نیروی بارگذاری شود و همچنین کاهش نیروی بارگذاری به نرم شدگی فیبرهای سلولزی نسبت داده شده است (Seifi & Alimardani, 2010; Baümler *et al.*, 2006; Pradhan *et al.*, 2009). همان‌طور که در جدول (۵) مشاهده می‌شود، نیروی بارگذاری عمودی نسبت به نیروی بارگذاری افقی بیشتر است که دلیل آن مقاومت بیشتر دانه در برابر نیرو در این حالت گفته شده است. این نتایج با نتایج به دست آمده از تحقیقات توکلی و همکاران (Tavakoli *et al.*, 2009) و بیسه و همکاران (Bhise *et al.*, 2013) برای آفتابگردان، سویا، و دانه گندم همخوانی دارد.

جدول ۵- تغییرات تخلخل، زاویه نشست و نیروی لازم برای شکستن دانه‌های آفتابگردان در درصدهای متفاوت رطوبت

رطوبت (درصد)	زاویه نشست	تخلخل (درصد)	نیرو (نیوتن)		کار تا نیروی بیشینه (میلی‌ژول)		کار کل (میلی‌ژول)
			عمودی	افقی	عمودی	افقی	
۱	۷/۹۵۹±۰/۷۱۰ ^d	۵۲/۸۰۵ ^e	۲۱/۸۰۰ ^d	۷۴/۷۶۶ ^a	۳/۰۱۴ ^e	۳۹/۴۹۹ ^a	۲۳۲/۲۵۳ ^a
۲	۹/۷۴۹±۰/۴۹۴ ^d	۴۸/۸۱۷ ^e	۴۳/۵۹۱ ^a	۴۴/۵۹۱ ^a	۳۷/۷۷۵ ^d	۴۷/۲۱۴ ^b	۵۰/۹۳۹ ^c
۳	۹/۳۴۵±۰/۷۸۵ ^c	۵۱/۷۷۶ ^b	۱۱۳/۱۱۰ ^a	۱۲۳/۱۰۳ ^a	۱۵۴/۲۱۴ ^a	۱۷۰/۷۳۱ ^a	۴۰/۵۱۶ ^a
۴	۹/۶۴۶±۰/۸۳۷ ^d	۵۲/۳۹۵ ^e	۵۴/۴۶۶ ^a	۵۵/۶۵۳ ^b	۳۷/۲۷۲ ^c	۴۱/۵۲۸ ^b	۱۲۰/۶۳۸ ^a
۸	۱۲/۹۵۶±۰/۵۷۹ ^c	۵۴/۵۴۹ ^d	۵۰/۲۱۹ ^a	۵۵/۵۱۵ ^b	۵۵/۹۹۳ ^a	۲۲/۹۹۵ ^d	۴۸/۱۲۳ ^e
۱۶	۱۳/۰۹۲±۰/۴۸۵ ^{cd}	۵۵/۱۹۸ ^c	۴۲/۲۷۶ ^b	۳۶/۴۲۲ ^b	۳۹/۸۹۵ ^c	۱۳/۸۵۳ ^d	۲۴/۹۸۰ ^d
۲۰	۱۳/۳۸۶±۰/۶۳۵ ^b	۴۲/۶۸۱ ^e	۱۰۰/۸۴۲ ^b	۱۱۲/۶۲۹ ^b	۵۰/۵۵۰ ^c	۸۷/۵۶۰ ^b	۱۲۰/۴۷۳ ^d
۳۲	۱۱/۹۶۹±۰/۶۴۶ ^{cd}	۵۵/۲۰۹ ^d	۴۸/۹۱۶ ^b	۵۷/۱۰۴ ^a	۷۸/۵۰۳ ^a	۵۰/۹۶۵ ^a	۸۰/۸۵۶ ^d
۱	۱۵/۱۰۳±۰/۹۷۴ ^c	۵۴/۷۹۶ ^c	۴۲/۷۶۷ ^b	۴۸/۲۳۹ ^c	۴۹/۷۵۶ ^b	۳۱/۲۹۰ ^b	۱۵۰/۸۷۴ ^b
۲	۱۴/۴۱۸±۰/۷۱۶ ^{bc}	۵۵/۴۹۶ ^b	۲۷/۲۵۳ ^c	۳۰/۸۸۱ ^c	۲۲/۴۴۱ ^e	۱۲/۷۸۵ ^e	۱۶/۹۳۶ ^e
۳	۱۳/۴۴۱±۰/۷۶۸ ^b	۴۷/۳۹۳ ^c	۵۵/۵۶۴ ^c	۵۸/۷۰۳ ^c	۹۵/۹۷۱ ^b	۲۲/۸۹۶ ^e	۲۰۴/۱۱۲ ^b
۴	۱۳/۱۸۲±۰/۸۰۵ ^c	۵۷/۱۶۹ ^b	۳۰/۲۱۴ ^c	۳۳/۱۱۷ ^c	۵۴/۵۵۹ ^b	۱۶/۸۶۹ ^d	۱۱۰/۶۳۳ ^c
۱	۱۸/۱۲۳±۰/۱۷۵ ^b	۵۵/۳۹۹ ^b	۳۲/۰۵۸ ^c	۴۲/۵۲۲ ^d	۱۹/۳۵۱ ^d	۱۳/۹۲۹ ^e	۱۱۰/۹۳۱ ^c
۲	۱۷/۰۸۲±۰/۲۶۳۵ ^b	۵۳/۱۸۶ ^d	۲۵/۱۴۴ ^d	۲۷/۹۶۹ ^d	۴۲/۷۲۱ ^b	۵۰/۵۴۱ ^a	۱۰۰/۴۱۴ ^b
۳	۱۵/۲۳۹±۰/۸۴۹ ^b	۴۶/۸۳۷ ^d	۴۱/۵۶۱ ^d	۴۳/۸۷۵ ^d	۳۶/۱۳۸ ^e	۵۴/۹۹۳ ^c	۲۰۰/۹۵۲ ^c
۴	۱۶/۱۰۸±۰/۳۸۹ ^b	۵۶/۱۴۶ ^c	۱۶/۰۶۳ ^d	۲۲/۵۱۶ ^d	۲۰/۰۲۹ ^e	۲۰/۷۵۶ ^c	۴۳/۶۲۱ ^e
۱	۲۴/۰۷۱±۰/۷۳۶ ^a	۶۲/۴۴۱ ^a	۱۸/۹۷۶ ^e	۳۴/۵۳۹ ^e	۲۴/۱۷۷ ^c	۲۵/۲۰۰ ^c	۹۷/۹۲۰ ^d
۲	۲۳/۵۵۰±۰/۸۵۹ ^a	۶۴/۰۷۹ ^a	۲۴/۱۹۳ ^e	۲۶/۰۷۶ ^e	۵۵/۴۴۴ ^a	۱۴/۸۸۶ ^c	۱۴۰/۴۹۵ ^a

مقدار رطوبت (بر مبنای وزن خشک) (درصد)

۱۲۰/۱۶۱ ^e	۱۴۲/۱۱۳ ^d	۳۱/۸۳۹ ^d	۴۷/۶۶۴ ^d	۳۸/۵۵۰ ^e	۳۲/۳۳۳ ^e	۵۲/۰۹۲ ^a	۱۹/۸۱۰±۲/۱۵۹ ^a	۳
۱۱۲/۹۱۰ ^b	۱۳۱/۹۷۷ ^b	۹/۶۰۱ ^e	۲۲/۸۶۳ ^d	۲۲/۰۱۶ ^e	۰/۶۶۷ ^e	۵۹/۴۸۴ ^a	۲۰/۳۲۹±۱/۰۱۷ ^a	۴

نتایج به صورت میانگین±انحراف معیار ۱۵ تکرار هستند. حروف متفاوت در هر ستون برای هر نمونه مورد نظر نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد است. * ۱: قلمی سیاه، ۲: پسته‌ای سیاه، ۳: قلمی ابرق، ۴: پسته‌ای ابرق

نتیجه گیری

شیشه به رطوبت نسبت به دیگر سطوح است. همچنین مشخص شد نیروی بارگذاری (افقی و عمودی) با افزایش درصد رطوبت کاهش می‌یابد. با توجه به نتایج به دست آمده، حالت افقی بهترین حالت نیروی بارگذاری است که می‌توان برای شکستن دانه‌های آفتابگردان استفاده کرد. با توجه به نتایج به دست آمده از این مطالعه می‌توان برای طراحی و ساخت دقیق دستگاه‌های فرآوری دانه‌های آفتابگردان و نیز در بهبود ویژگی‌های کاربردی آن گام‌هایی برداشت.

با توجه به نتایج این مطالعه، مشخص گردید که مقادیر پارامترهای فیزیکوشیمیایی مطالعه شده در ارقام مختلف دانه آفتابگردان آجیلی با هم متفاوت‌اند. معلوم شد میانگین ابعاد، ضریب کرویت، حجم دانه‌ها و سطح مقطع دانه‌ها، وزن هزار دانه، زاویه نشست، چگالی حقیقی و تخلخل با افزایش درصد رطوبت، افزایش و چگالی ظاهری کاهش می‌یابد. بررسی‌های ضریب اصطکاک ایستایی با افزایش مقدار رطوبت حاکی از وابستگی کمتر سطح

تعارض منافع

نویسندگان در رابطه با انتشار مقاله ارائه شده به طور کامل از اخلاق نشر تبعیت کرده و از موارد سوء اخلاق از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پرهیز نموده‌اند و منافعی تجاری در این راستا وجود ندارد.

مراجع

- Ahmadi, H., Mollazade, K., Khorshidi, J., Mohtasebi, S.S. and Rajabipour, A. 2009. Some physical and mechanical properties of fennel seed (*Foeniculum vulgare*). Journal of Agricultural Science. 1(1): 66-75.
- Amin, M., Hossain, M. and Roy, K. 2004. Effects of moisture content on some physical properties of lentil seeds. Journal of Food Engineering. 65, 83-87.
- Ashwini, T. 2013. Development of power operated decorticator for confectionery sunflower seeds (*Helianthus Annuus* L.). Doctoral dissertation, University of Agricultural Sciences GKVK, Bangalore.
- Baryeh, E. A., and Mangope, B. 2003. Some physical properties of QP-38 variety pigeon pea. Journal of Food Engineering. 56, 59-65.

- Bäumler, E., Cuniberti, A., Nolasco, S.M. and Riccobene, I.C. 2006. Moisture dependent physical and compression properties of safflower seed. *Journal of Food Engineering*. 72, 134-140.
- Bhise, S., Kaur, A. and Manikantan, M. 2013. Moisture dependant physical properties of sunflower seed (Psh 569). *International Journal Engineering Sciences*. 2(8): 23-27.
- Cetin, M. 2007. Physical properties of barbania bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv. 'Barbania') seed. *Journal of Food Engineering*. 80, 353-358.
- Davies, R., and El-Okene, A. 2009. Moisture-dependent physical properties of soybeans. *International Agrophysics*. 23(3): 299-303.
- De Figueiredo, A.K., Bäumler, E., Riccobene, I.C. and Nolasco, S.M. 2011. Moisture-dependent engineering properties of sunflower seeds with different structural characteristics. *Journal of Food Engineering*. 102, 58-65.
- Deshpande, S., Bal., S. and Ojha, T. 1993. Physical properties of soybean. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 56(2): 89-98.
- Dutta, S., Nema, V. K. and Bhardwaj, R. 1988. Physical properties of gram. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 39(4): 259-268.
- Eissa, A.H.A., Mohamed, M.A., Moustafa, H. and Alghannam, A.R.O. 2010. Moisture dependent physical and mechanical properties of chickpea seeds. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 3(4):80-93.
- Eşref, I., and Halil, Ü. 2007. Moisture-dependent physical properties of white speckled red kidney bean grains. *Journal of Food Engineering*. 82, 209-216.
- FAO. FAOSTAT data. Agriculture [Online]. Available: <http://faostat.fao.org> [Accessed 25 September 2013].
- Gupta, R., and Das, S. 1997. Physical properties of sunflower seeds. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 66(1): 1-8.
- Gupta, R., and Prakash, S. 1992. The effect of seed moisture content on the physical properties of JSF-1 safflower. *Journal of Oilseeds Research*. 9, 209-216.
- Joshi, D., Das, S. and Mukherjee, R. 1993. Physical properties of pumpkin seeds. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 54(3): 219-229.
- Khodabakhshian, R., Emadi, B. and Fard, M. A. 2010. Some engineering properties of sunflower seed and its kernel. *Journal of Agricultural Science and Technology* 4(4): 37-46.
- Mirzabe, A.H., Khazaei, J., Chegini, G.R. and Gholami, O. 2013. Some physical properties of almond nut and kernel and modeling dimensional properties. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. 15(2): 256-265.

- Mohsenin, N.N., 1970. Physical properties of plant and animal materials. Physical properties of plant and animal materials. Vol. 1. Structure, physical characteristics and mechanical properties. Gordon and Breach Science., New York.
- Nel, A. A. 2001. Determinants of sunflower seed quality for processing. Ph.D. Thesis. Faculty of Natural and Agricultural Sciences. Pretoria University, Pretoria.
- Perez, E.E., Crapiste, G.H. and Carelli, A.A., 2007. Some physical and morphological properties of wild sunflower seeds. *Biosystems engineering*. 96(1):41-45.
- Pradhan, R., S. Naik, N. Bhatnagar, and V. Vijay. 2009. Moisture-dependent physical properties of jatropha fruit. *Industrial Crops and Products* 29: 341-347.
- Raphael, M., Rohani, S. and Sosulski, F. 1995. Isoelectric precipitation of sunflower protein in a tubular precipitator. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*. 73(4): 470-483.
- Razavi, S. M., Rafe, A. Moghaddam, T. M. and Amini, A. M. 2007. Physical properties of pistachio nut and its kernel as a function of moisture content and variety. Part II. Gravimetric properties. *Journal of Food Engineering*, 81:218-225.
- Sacilik, K., Öztürk, R. and Keskin, R. 2003. Some physical properties of hemp seed. *Biosystems Engineering* 86(2): 191-198.
- Sangamithra, A., John, S. G., Sorna Prema, R., Nandini, K., Kannan, K., Sasikala, S. and Suganya, P. 2016. Moisture dependent physical properties of maize kernels. *International Food Research Journal*. 23, 109-115.
- Seifi, M. R., and Alimardani, R. 2010. Moisture-dependent physical properties of sunflower seed (SHF8190). *Modern Applied Science*. 4(7):135-143.
- Selvi, K. Ç., Pinar, Y. and Yeşiloğlu, E. 2006. Some physical properties of linseed. *Biosystems Engineering* 95(4): 607-612.
- Shukla, B. D., and Srivastava, P. K. 1992. Oilseed processing technology. Sunflower. Central Institute of Agricultural Engineering Publications., India. PP: 179-208.
- Simonyan, K.J., Yiljep, Y.D., Oyatoyan, O.B. and Bawa, G.S. 2009. Effects of moisture content on some physical properties of *Lablab purpureus* (L.) sweet seeds. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*.
- Singh, N., Singh, R., Kaur, K. and Singh, H. 1999. Studies of the physico-chemical properties and polyphenoloxidase activity in seeds from hybrid sunflower (*Helianthus annuus*) varieties grown in India. *Food chemistry*. 66(2):241-247.
- Sologubik, C.A., Campañone, L.A., Pagano, A.M. and Gely, M.C. 2013. Effect of moisture content on some physical properties of barley. *Industrial Crops and Products*. 43, 762-767.

- Tabatabaeefar, A. 2003. Moisture-dependent physical properties of wheat. *International Agrophysics*. 17(4): 207-212.
- Tarighi, J., Mahmoudi, A. and Karami Rad, M. 2011. Moisture-dependent engineering properties of sunflower (var. Armaviriski). *Australian Journal of Agricultural Engineering*. 2(2): 40-44.
- Tavakoli, H., Rajabipour, A. and Mohtasebi, S.S. 2009. Moisture-dependent some engineering properties of soybean grains. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*.
- Velayati, E., B. Emadi, M. Khojastehpour, and M, Saidirad. 2011. The Effect of Moisture Content on Physical Properties of Berberis. *Journal of Agricultural Machinery Engineering*. Ferdowsi University. Mashhad. 1(2): 100-109 (In Persian).
- W.A.A. Organization. West Azerbaijan Agricultural Organization [Online]. Available at: <http://waaj.ir/>.
- Wandkar, S.V., Ukey, P.D. and Pawar, D.A., 2012. Determination of physical properties of soybean at different moisture levels. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. 14(2):138-142.

Original Research

The Effects of Moisture Content on Physico-Chemical Properties of Confectionary Sunflower Seeds

M. Eslami, L. Mehryar*, M. Esmaili and H. Bahrami

* Corresponding Author: Ph.D of Food Technology, Department of Food Science and Technology, Urmia University (Lecturer at SABA Institute of Higher Education), Urmia, Iran. Email: laleh.mehryar@gmail.com
Received: 5 August 2018, Accepted: 23 December 2019
<http://doi: 10.22092/fooder.2019.122910.1163>

The study of physicochemical and mechanical characteristics of sunflower seeds are important when the designing of control equipment's, transportation, processing, and product storage are concerned. In this study, physicochemical and mechanical characteristics of four varieties of confectionary sunflower seeds were evaluated. Some of the assessed physicochemical and mechanical properties include: the content of total ash, fat, and minerals and also the mean length, width, thickness, diameter, sphericity, surface area, volume, 1000-grain weight, angle of repose, porosity, particle density and bulk density, hull and kernel percentage, coefficient of friction surface and axial compression test. The results showed that the highest amount of fat content (48%) and potassium content (76.639 mg per kg) were found in sample number 3; and highest amount of ash content (3.83%) and sodium content (25.318 mg per kg) were found in sample number 4. Physical properties of sunflower seeds were studied in five moisture content levels of 4% to 32% (based on dry basis weight). The results revealed increasing trend in length, width, thickness, sphericity, geometric and arithmetic mean diameter, surface area, volume, 1000-grain weight, angle of repose, porosity and density upon increasing moisture content; while, bulk density decreased. The coefficient of static friction of all seeds at glass, chipboard, galvanized, and aluminum surfaces increased with the increase in moisture content. When the moisture content increased from 4 to 32 percent, the highest increase in the coefficient of static friction was observed in sample number 3 with aluminum surface and the lowest increase in the coefficient of static friction was observed in sample number 1 with glass surface. Based on results obtained from the axial compression test, the vertical loading force was found to be more than that the horizontal loading force and in all samples, the total vertical and horizontal loading forces were decreased by increasing the moisture content.

Keywords: Biophysical properties, Edible nuts and seeds, Mechanical properties, Qualitative properties