

مطالعه روش‌های مناسب برای جداسازی دانه و مواد خارجی (غیردانه‌ای) آفتابگردان با

تعیین خواص آیرودینامیکی و فیزیکی محصول در رطوبت‌های مختلف

اسماعیل چاوشقلی^{۱*}، شمس اله عبدالله پور^۲، رضا عبدی^۳، عزیز بابایی^۴

^۱ فارغ التحصیل کارشناسی ارشد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی- دانشکده کشاورزی- دانشگاه تبریز

^۲ دانشیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی- دانشکده کشاورزی- دانشگاه تبریز

^۳ استادیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی- دانشکده کشاورزی- دانشگاه تبریز

^۴ فارغ التحصیل کارشناسی ارشد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی

*نویسنده مسئول:

Esichavoshi@gmail.com

ایران، آذربایجان غربی، خوی، چاوشقلی پلاک ۲۰، شماره تماس: ۰۹۱۴۸۴۲۲۷۶۳

تاریخ دریافت: ۹۲/۴/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۲/۹/۱۷

چکیده

در این تحقیق ابتدا با تعیین درصد بازده جداسازی ماشین برداشت آفتابگردان مشخص شد که محصول بدست آمده دارای افت کیفی و ارزش بهایی است. بنابراین خواص فیزیکی و آیرودینامیکی دانه آفتابگردان توده آجیلی (واریته قلمی) و مواد غیردانه‌ای آن شامل دانه‌های توخالی و پوشال خرد شده گل به منظور تعیین پارامترهای طراحی در تجهیزات جداساز تحت محتوی رطوبت (ترپایه) برداشت تا ۷ درصد مطالعه شد. نمونه‌ها از ماشین برداشت آفتابگردان و در مرحله برداشت محصول تهیه شد. با کاهش رطوبت، مقادیر خواص هندسی برای دانه و همچنین مساحت سطح تصویر، ضریب اصطکاک و سرعت حد برای اجزاء محصول کاهش یافت. چگالی حقیقی دانه‌ها از ۵۶۱/۰۲ تا ۴۵۷/۲۹ کیلوگرم بر مترمکعب کاهش و برای مواد پوشال از ۸۲۲/۵۷ تا ۸۹۷/۵۶ کیلوگرم بر مترمکعب افزایش پیدا کرد. بیشترین اختلاف بین دانه با دانه توخالی و پوشال به لحاظ مقادیر ضریب اصطکاک روی سطح فلزی و در محتوی رطوبت برداشت بیان شد. بیشترین مقادیر سرعت حد در محتوی رطوبت برداشت و برای دانه، دانه توخالی، پوشال به ترتیب ۷/۰۸، ۳/۶۲ و ۳/۳۹ و کمترین مقادیر آن در رطوبت ۷ درصد و به ترتیب ۵/۴۶، ۲/۷۰ و ۲/۶۰ متر بر ثانیه گزارش شد. با کاهش رطوبت، ضریب کشیدگی به ترتیب از ۰/۵۹ تا ۰/۹۵ و ۰/۸۰ تا ۱/۴۲ و ۰/۹۸ تا ۱/۵۳ افزایش یافت. بنابراین با بهره‌گیری از این خصوصیات می‌توان به طراحی و تنظیمات تجهیزات جداسازی مانند الک، جداسازهای ثقیلی، جریان باد به صورت مکشی یا دمشی و استوانه مشبک دوار با جریان هوادهی طولی و همچنین به ترکیبی از این روش‌ها دست یافت و در ماشین برداشت یا پس از آن تجهیز نمود.

واژه‌های کلیدی: آفتابگردان آجیلی، ماشین برداشت، جداسازی، مواد غیر دانه‌ای، خواص فیزیکی و آیرودینامیکی

۱- مقدمه

دانه آفتابگردان (*Helianthus Annuus*) از نظر استحصال روغن، ارزش استراتژیک داشته و از نظر مصرف آجیلی نیز جایگاه ویژه‌ای در بین تولیدات کشاورزی دارد. در پژوهش چاوشقلی (۲۰۱۱) مطرح شد آفتابگردان سطح زیرکشتی حدود ۱۰۰ هزار هکتار در ایران دارد و شهرستان خوی با داشتن رتبه‌ی اول کشور در زمینه تولید دانه آفتابگردان از نوع توده آجیلی، سالانه حدود ۱۵ الی ۲۰ هزار هکتار از اراضی کشت منطقه را به خود اختصاص می‌دهد اما گسترش و توسعه مکانیزاسیون در خصوص برداشت و تولید این محصول با مشکلات عدیده همراه است. اوهل و لمپ (۱۹۶۶)، محسنین (۱۹۸۶)، هافا و وان (۱۹۹۰) از پارامترهای مهم در طراحی ماشین‌های کشاورزی، به خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و آیرودینامیکی محصولات اشاره کردند که شناخت این خصوصیات برای دانه و اجزاء غیردانه‌ای (خارجی) آن می‌تواند در اعمال فرآیندهای مناسب در مراحل برداشت و فراوری نقش اساسی ایفا کند. ساهای و سینگ (۱۹۹۰) و کاشانی‌نژاد و همکاران (۲۰۰۶) در تحقیقات خود گزارش کردند که خواص آیرودینامیکی همچون سرعت حد و ضریب کشیدگی^{۲۴} محصول برای تعیین سرعت مناسب هوا برای انتقال و جداسازی نیوماتیکی توسط تجهیزات از عوامل مهم در طراحی است و این پارامترها نیز تحت تاثیر چگالی، شکل، اندازه و محتوی رطوبت محصول کشاورزی هستند. گومبل و همکاران (۱۹۹۰) بیان کردند که چگالی و ضریب اصطکاک در تعیین مقاومت حرکتی اجزاء روی سطوح موثر بوده و از

جمله عوامل مهم در جداسازی اجزاء از یکدیگر است. همچنین زیدو (۲۰۰۴) و فرئی (۱۹۸۰) به این نتیجه رسیدن که با تعیین این خواص برای محصولات دانه‌ای و غیردانه‌ای و تنظیمات لازم روی تجهیزات مربوطه می‌توان اجزاء دانه‌ای را با کمترین تلفات ممکن از اجزاء خارجی آن جداسازی و دانه را به اندازه و شکل‌های گوناگون درجه‌بندی کرد. آیمان و همکاران (۲۰۰۹) برای دانه کتان، ولایتی و همکاران (۲۰۱۱) برای دانه زیره از خواص محصول برای جداسازی و تمیزکردن استفاده کردند. گوپتا و همکاران (۲۰۰۷) سرعت حد سه رقم دانه آفتابگردان با نام‌های *SH-3322*, *PSF-118*, *NSFH-36* را در محدوده رطوبتی ۶٪ الی ۱۴٪ (خشک پایه) و با استفاده از تونل باد بررسی کردند. خدابخشیان و همکاران (۲۰۰۹)، خواص آیرودینامیکی دانه آفتابگردان ایرانی (آذرگل)، هسته^{۲۵} و پوسته^{۲۶} آن را مطابق ابعاد و در محتوی رطوبت ۳٪ الی ۱۴٪ (خشک پایه) بررسی کردند. فیگوریدو (۲۰۱۱) برخی از خواص هندسی و ثقلی سه رقم دانه آفتابگردان را با نام‌های *Morgan 9338*, *Paraiso 20*, *ACA 88* در محتوی رطوبتی بین ۲٪ الی ۲۰٪ (خشک پایه) اندازه‌گیری کرد. خدابخشیان و همکاران (۲۰۱۰)، خزایی و همکاران (۲۰۰۶)، گوپتاوداس (۱۹۹۷)، جعفری و همکاران (۲۰۱۱)، سیفی و همکاران (۲۰۱۱) مطالعاتی روی خواص دانه آفتابگردان انجام دادند. اما اطلاعات محدودی در مورد ارقام دانه آفتابگردان از نوع توده آجیلی موجود است. پس از برداشت محصول آفتابگردان آجیلی (که عمدتاً دستی است) از روش‌های ابتدائی و

^۱Kernel

^۲Hull Seed

آوردن بازده جداسازی از رابطه توصیه شده توسط سیمونیان و همکاران (۲۰۰۸) استفاده شد.

$$n = \frac{G_p}{G_p + G_0} \times 100 \quad (1)$$

که در آن n بازده جداسازی (درصد)، G_p وزن دانه خالص (گرم) و G_0 وزن اجزاء غیردانه‌ای (g) است. عمده اجزاء غیردانه‌ای محصول تولیدی شامل دانه‌های توخالی و پوشال خرد شده گل است. برای انجام آزمایشات خواص، از رقم دانه توده آجیلی با نام محلی قلمی استفاده شد که از محصول نهایی تجهیزات به‌کار گرفته شده، تهیه و مطابق شکل ۱ دسته بندی شدند. مطابق روش آلتوناس و ارکول (۲۰۱۰) نمونه‌ها در کیسه‌های پلی اتیلن قرار داده و به آزمایشگاه خواص فیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز انتقال داده شد و درون یخچال در دمای ۵ درجه سانتیگراد نگهداری شدند.



شکل ۱- اجزاء محصول آفتابگردان مورد آزمایش

Fig. 1. Materials for studying

۲-۲- سطح رطوبتی آزمایش‌ها

محتوای رطوبتی (ترپایه) اولیه نمونه‌ها به روش موجود در استاندارد ASAE (۱۹۹۸) و با خشک کردن

اخیراً از طریق به‌کارگیری تجهیزات (تولید داخل و واردات) در مرحله برداشت اقدام به جداسازی دانه آفتابگردان از اجزاء غیردانه‌ای می‌کنند. این تجهیزات بر اساس تحقیقات انجام یافته از سوی کاربران آن به لحاظ کیفی و تمیز بودن محصول رضایت بخش نبوده و مطالعه روی جداسازی ماشین برداشت در این تحقیق مؤید این مطلب است. بنابراین یکسری ویژگی‌های اجزاء دانه‌ای و غیردانه‌ای محصول بررسی شد تا علاوه بر به‌کارگیری در طراحی و ساخت تجهیزات نوین برای تنظیم کار کردن تجهیزات موجود نیز مورد استفاده قرار گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- ارزیابی جداسازی ماشین برداشت و تهیه نمونه

در تجهیزات برداشت آفتابگردان مراحل کوبیدن، جداسازی و تمیز شدن محصول به ترتیب انجام می‌شود. قسمتی از جداسازی در مرحله کوبیدن و در مرحله نهایی عمل جداسازی و تمیز کردن باهم صورت می‌گیرد. نمونه‌ها در زمان برداشت محصول در منطقه آذربایجان غربی، شهرستان خوی از زیر جریان جرمی اجزاء خروجی از شبکه ضدکوبنده (ورودی به جداکننده و تمیزکننده) و از توده اجزاء خارج شده از تمیزکننده (محصول نهایی) ماشین برداشت بدست آمد. قابل ذکر است در حالی که دستگاه با تنظیمات توصیه شده شرکت سازنده بکار برده شد، از هر قسمت ۲۰ نمونه هر یک به وزن ۵/۰ کیلوگرم در زمان‌ها و نواحی مختلف مزارع تهیه شد. بعد از این که نمونه‌ها تهیه شدند برای هر نمونه، دانه و اجزاء خارجی به طور دستی جداسازی و با ترازوی دقت ۰/۰۱ گرم توزین شدند. برای به‌دست

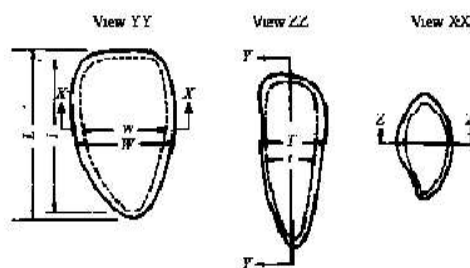
$$d_p = \left(L \frac{(W+T)^2}{4} \right)^{1/3} \quad (2)$$

$$\Psi = \frac{(LWT)^{1/3}}{L} \quad (3)$$

که در آن L , T , W , d_p به ترتیب طول، عرض، ضخامت و قطر معادل دانه بر حسب میلی‌متر و Ψ (بدون بعد) کرویت دانه است.

اندازه‌گیری حجم و مساحت سطح تصویر برای هر یک از اجزاء محصول با انتخاب ۱۰ نمونه به طور تصادفی و با ۳ تکرار انجام گرفت. برای تعیین مقادیر حجم، از روش فیگوریدو و همکاران (۲۰۱۱) و نسبت جرم به چگالی حقیقی (رابطه ۴) استفاده شد.

که در آن V_g حجم (میلی‌متر مکعب)، m_g جرم (گرم) و ρ_t چگالی حقیقی (کیلوگرم بر مترمکعب) است.



شکل ۲- ابعاد دانه آفتابگردان: L طول، W عرض و T

ضخامت را نشان می‌دهد (Gupta & Das, 1997).

Fig. 2. Dimension of sunflower seed: L (length), W (width), T (thickness)

برای به‌دست آوردن مساحت سطح تصویر، A_p (سانتیمتر مربع) و اثر رطوبت بر آن از روش پردازش تصویر و نرم افزار ایمج پرو^{۲۷} استفاده شد. بدین ترتیب

و قرار دادن در آون در دمای 30 ± 10.3 درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت، تعیین شد. آزمایشات تعیین رطوبت اولیه ۳ مرتبه تکرار گردید و میانگین آن‌ها به عنوان رطوبت اولیه (همان رطوبت برداشت) گزارش شد. برای رسیدن به رطوبت مورد نظر آزمایش‌ها، نمونه‌ها در آون و در دمای حدود ۶۰ درجه سانتیگراد قرار داده می‌شد و پس از کاهش وزن و از دست دادن رطوبت مورد نظر، برای آزمایش آماده شد. از این روش نعلبندی (۲۰۰۸) برای دانه گندم استفاده کرد. اثر محتوی رطوبت (در صد ترپایه) در چهار سطح رطوبت برداشت، ۲۰، ۱۵ و ۷ درصد و اجزاء محصول آفتابگردان در سه سطح شامل دانه، دانه توخالی و پوشال خرد شده گل با استفاده از آزمایش فاکتوریل^{۲۸} $V_g = \left(\frac{m_g}{\rho_t} \right) \times 10^6$ (۴)

قالب طرح کاملاً تصادفی مطالعه شد. در اندازه‌گیری ضریب اصطکاک، نوع سطح اصطکاکی چهار سطح، فلزی، چوبی، لاستیکی، پلی کربنات به عنوان فاکتور سوم نیز بیان شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها و رسم منحنی‌های مربوطه در نرم افزارهای آماری Excel 2007 و SPSS 17 انجام شد.

۲-۳- خواص هندسی

برای اندازه‌گیری فراوانی ابعاد دانه‌ها، از توده اجزاء تهیه شده، ۲۰ عدد دانه و با ۲۰ تکرار به‌طور تصادفی از قسمت‌های مختلف نمونه برداری و طول، عرض و ضخامت هر دانه به طوری که در شکل ۲ نمایان است، به‌وسیله کولیس دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. قطر معادل و درصد کرویت مطابق روش جین و بال (۱۹۹۷) و محسنین (۱۹۸۶) و با پیروی از معادلات ۲ و ۳ تعیین شد.

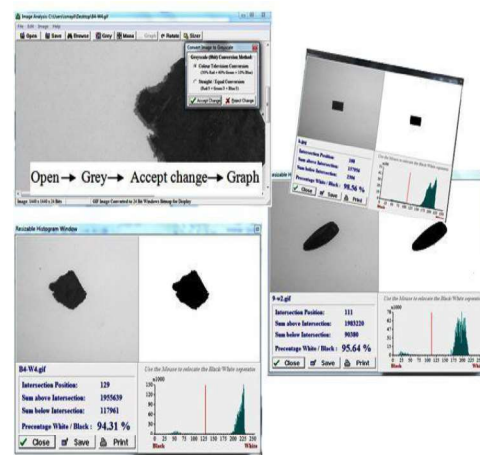
^{۲۷} ImagePro

محسنین (۱۹۸۶) مطالعه شد. چگالی حقیقی، ρ_t (کیلوگرم بر مترمکعب) با استفاده از روش جابجایی سیال مایع، اندازه‌گیری شد. برای هر آزمایش، حجم مشخصی از تولون (۳۰۰ میلی‌لیتر) در یک استوانه مدرج ریخته و سپس مقدار ۳۰ گرم نمونه درون آن غوطه ور شدند. نسبت جرم دانه‌ها به حجم جابجا شده‌ی تولون که از روی استوانه مدرج قابل تشخیص بود برابر با چگالی حقیقی نمونه‌ها در نظر گرفته شد. برای محاسبه چگالی ظاهری، ρ_b (کیلوگرم بر مترمکعب) از یک ظرف استوانه‌ای شکل با حجم تقریبی ۵۰۰ سانتیمترمکعب استفاده شد. برای هر آزمایش، نمونه‌ها از ارتفاع ۱۵ سانتیمتر به داخل ظرف ریخته شدند و سپس جرم اجزاء داخل ظرف توسط یک ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم تعیین شد. مقادیر چگالی ظاهری از تقسیم جرم نمونه داخل ظرف بر حجم آن محاسبه شد. برای تعیین ضریب اصطکاک از سطح شیب‌دار صفحات روی یک میز با شیب قابل تنظیم استفاده شد. نمونه‌ها داخل جعبه چوبی با ابعاد ۱۰×۲۰×۲۰ سانتیمتر پر شد که این جعبه از سر و ته باز و بدون تماس با سطح شیب‌دار بود. سپس با افزایش شیب میز ظرف در آستانه لغزیدن قرار گرفت. در این لحظه با تعیین زاویه سطح شیب‌دار برحسب درجه، ضریب اصطکاک استاتیکی برابر با تانژانت آن زاویه به دست آمد. این آزمایش روی ۴ سطح اصطکاکی فولادی، چوبی، لاستیکی، پلی‌کربنات و با ۵ تکرار در هر رطوبت مورد نظر انجام شد.

۵-۲- خواص آیرودینامیکی

دانه آفتاگردان و اجزاء غیر دانه‌ای آن مانند اکثر

که تصویر هر نمونه در محفظه خاصی با استفاده از دوربین عکس‌برداری دیجیتالی مدل سامسونگ (با حسگر تصویر ۱۲ مگا پیکسل) و پس زمینه متمایز با رنگ روشن و سفید تهیه شد. در نرم‌افزار ایمج پرو با انتخاب گزینه Grey به حالت سیاه و سفید تبدیل شد و بعد با استفاده از گزینه Graph میزان درصد سیاهی یا سفیدی تصویر موجود مشخص شد، به‌طوری که میزان درصد سیاهی تصویر بیانگر درصد سیاهی نمونه مورد نظر بود (شکل ۳). با انجام این کار برای یک جسم با شکل منظم و مشخص مانند یک تکه کاغذ رنگی با مساحت معلوم یک سانتیمتر مربع و تعیین میزان در صد سیاهی به دست آمده برای آن و با استفاده از تناسب‌بندی بین میزان درصد سیاهی و مساحت مشخص، مساحت سطح تصویر نمونه مورد نظر به دست آمد.



شکل ۳- تعیین مساحت با نرم افزار ImagePro

Fig. 3. Determining the projected area with ImagePro software

۴-۲- خواص ثقلی

خواص ثقلی دانه و اجزاء محصول با به کارگیری روش‌های موجود در تحقیقات جعفری (۲۰۰۸) و



شکل ۴- تونل باد قائم برای اندازه‌گیری سرعت حد

Fig. 4. Vertical wind tunnel used to determine the terminal velocity of materials

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ارزیابی تمیزش در ماشین برداشت محصول

میانگین بازده درصد جداسازی در زیر شبکه ضد کوبنده و خروجی تمیزکننده (نهایی) ماشین به ترتیب ۶۵/۷۵ و ۷۱/۵۲ درصد حاصل شد که نشان می‌دهد که حدود ۳۰ درصد محصول در خروجی ماشین برداشت حاوی اجزاء خارجی و غیر دانه‌ای است. با توجه به نوع محصول که مصرف بازار آن بصورت آجیلی است این موضوع مهم‌ترین عامل در افت کیفی و ارزش بهای محصول است که می‌توان با استفاده از خواص مهندسی اجزاء محصول به ارائه سیستم‌های مناسب که جداسازی آن‌ها بر اساس شکل و ابعاد، چگالی، ضریب اصطکاک مواد روی سطوح، سرعت حد و ضریب کشیدگی (باد بردگی) و یا ترکیبی از این روش‌ها است در مراحل برداشت تا فراآوری محصول دست یافت.

محصولات کشاورزی دارای شکل و ابعاد غیر منظم است و تعیین سرعت حد برای این اجزاء بصورت تئوری همراه با خطا همراه است. بنابراین لازم بود تا سرعت حد آن بصورت عملی و آزمایشگاهی اندازه‌گیری شود. به این منظور دستگاه تونل باد عمودی مطابق استانداردها و توصیه‌های مهتا (۱۹۷۷) و افسونجونیور و همکاران (۲۰۰۷) طراحی و ساخته شد. نمای کلی این دستگاه همراه با اجزاء در شکل (۴) مشخص است. اندازه‌گیری سرعت حد برای دانه، دانه توخالی و پوشال با انتخاب ۲۵ نمونه از توده نمونه محصول به‌طور تصادفی و با ۴ تکرار انجام شد. تک نمونه‌ها را در مقطع آزمون قرار داده و سپس با تغییر جریان ورودی هوا توسط دریچه ورودی هوا یا تغییر سرعت دورانی موتور توسط اینورتر مدل (TECO) سرعت هوایی که نمونه را به حالت معلق در هوا نگه می‌داشت به عنوان سرعت حد نسبی نمونه ثبت شد. سرعت هوا به وسیله سرعت سنج هوا از نوع سیم داغ (مدل yk-2004ah) با دقت ۰/۱ متر بر ثانیه در ۴ نقطه از مقطع تونل اندازه‌گیری و متوسط آنها یادداشت شد. همچون روش گوپتا و همکاران (۲۰۰۶)، با مشخص نمودن سرعت حد، جرم و مساحت سطح تصویر، مقادیر ضریب کشیدگی اجزاء محصول از رابطه (۵) محاسبه شد.

$$C_d = \frac{2Wg(\rho_t - \rho_f)}{A_p \rho_t \rho_f V_t^2} \quad (5)$$

که در آن C_d ضریب کشیدگی (بدون بعد)، Wg وزن (کیلوگرم متر بر مجذور ثانیه)، A_p مساحت سطح تصویر (متر مربع)، ρ_f چگالی هوا (۱/۲۷ کیلوگرم بر مترمکعب)، ρ_t چگالی حقیقی جسم (کیلوگرم بر مترمکعب) و V_t سرعت حد (متر بر ثانیه) است.

$$L=0.023Mc+26.036 \quad (R^2=0.91)$$

$$W=0.03Mc+9.304 \quad (R^2=0.98)$$

$$T=0.026Mc+4.82 \quad (R^2=0.86)$$

$$d_p=0.032Mc+10.86 \quad (R^2=0.93)$$

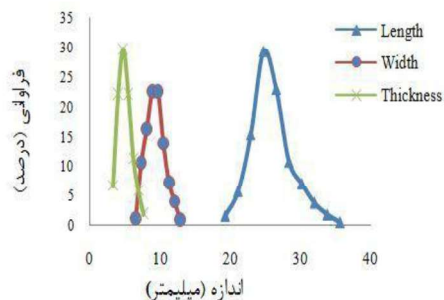
$$\Psi=0.094Mc+40.49 \quad (R^2=0.90)$$

۳-۲-رطوبت اولیه (برداشت)

میزان رطوبت اولیه (درصدتر پایه) که محصول آن رطوبت برداشت شد برای دانه و دانه توخالی آفتابگردان ۳۰ درصد و برای پوشال خرد شده گل آفتابگردان حدود ۴۰ درصد گزارش شد.

۳-۳-خواص هندسی

منحنی فراوانی در شکل ۵ توزیع نرمال را برای ابعاد دانه نشان می‌دهد. اطلاع از نحوه توزیع ابعاد و شکل دانه‌ها از خصوصیات مهم و کاربردی در تعیین پارامترهای طراحی در تجهیزات جداسازی و تمیزکن است. میانگین طول، عرض، ضخامت، قطر معادل و درصد کرویت به ترتیب معادل ۲۵/۸۴، ۹/۳، ۴/۹۹، ۱۰/۹۳ میلی‌متر و ۴۱/۲ درصد حاصل شد. جعفری (۲۰۰۸) این مقادیر را برای دانه آفتابگردان در رطوبت ۵/۹٪ (خشک پایه) به ترتیب برابر ۲۰/۱، ۷/۵۱، ۳/۹۵ میلی‌متر و ۴۲ درصد گزارش کرد. میانگین ابعاد دانه در محتوی رطوبت‌های مختلف در جدول ۱ نشان داده شده است. آنالیز واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که محتوی رطوبت روی عرض، قطر معادل و درصد کرویت در سطح احتمال ۵ درصد ($P \leq 0.05$) اثر معنی‌داری دارد در صورتی که روی طول و ضخامت معنی‌دار نیست. با کاهش رطوبت، مقادیر ابعاد نیز کاهش می‌یابد که می‌تواند به دلیل چروکیدگی حاصل از دست دادن رطوبت باشد. روابط ریاضی به همراه مجذور ضریب رگرسیون (R) برای طول، عرض، ضخامت، قطر معادل و درصد کرویت دانه رقم قلمی بر حسب تابعی از محتوی رطوبت بصورت زیر به دست آمد:



شکل ۵- توزیع فراوانی ابعاد دانه آفتابگردان دانه قلمی
Fig. 5. Frequency of dimensions for sunflower seeds (GALAMI)

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر نوع اجزاء محصول و محتوی رطوبت روی حجم و مساحت سطح تصویر نمونه در جدول ۲ آورده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود اثر نوع اجزاء روی حجم و مساحت در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شده است در حالی که اثر متقابل رطوبت در اجزاء روی حجم نمونه‌ها معنی‌دار نبوده و اثر رطوبت روی مساحت سطح تصویر در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شده است. مقایسه میانگین حجم و مساحت سطح تصویر نمونه‌ها برای هر سطح رطوبتی در جدول ۳ آورده شده است. با بررسی هر ستون حجم، نشان داده می‌شود که هر سه نمونه در گروه‌های مختلف قرار دارند بنابراین در تمام رطوبت‌ها بین میانگین آن‌ها اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری وجود دارد. در صورتی که اختلاف بین میانگین مساحت دانه قلمی و سایر نمونه‌ها معنی‌دار نیست. دانه قلمی و

پوشال به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین حجم در هر رطوبت را دارد در حالی که بیش‌ترین مقادیر مساحت سطح تصویر در اجزاء پوشال مشاهده می‌شود که علت آن هم داشتن شکل صفحه‌ای آن‌ها است. اوموبوواجو^{۲۸} (۱۹۹۹) بیان کرد که مساحت سطح تصویر اجسام از فاکتورهای مؤثر در رفتار حرکتی اجزاء در برابر سیال و خصوصاً جریان هواست که از تفاوت این مشخصه در اجزاء می‌توان برای جداسازی از یکدیگر بهره برد. با بررسی مقادیر جدول ۳ نشان داده می‌شود با کاهش محتوی رطوبت، حجم و مساحت نیز کاهش می‌یابد که می‌تواند به دلیل چروکیدگی حاصل از دست دادن رطوبت باشد. آیمان و همکاران (۲۰۰۹)، سینگ و همکاران (۲۰۰۳) در تحقیقات خود به‌ترتیب برای دانه کتان و ارزن به نتیجه دست یافتند که با روند کاهشی رطوبت، مساحت سطح دانه‌ها کاهش می‌یابد.

۳-۴- خواص ثقلی

اوگبونایا (۲۰۱۰) در مطالعات خود اظهار داشت که چگالی از خواص مهم و کاربردی در اندازه‌بندی، انتقال و جداسازی دانه‌ها با استفاده از تجهیزات هیدرودینامیک است. نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر نوع اجزاء محصول و محتوی رطوبت روی چگالی ظاهری، چگالی حقیقی جدول ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود اختلاف اثر نوع اجزاء، رطوبت و اجزاء در رطوبت روی خواص در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شده است. در واقع علت معنی‌دار بودن رطوبت، تغییرات غیر یکنواخت حجم و جرم با تغییر رطوبت است و عامل اصلی معنی‌داری نوع اجزاء، تفاوت

خواص ثقلی نمونه‌ها است. مقایسه میانگین چگالی ظاهری، چگالی حقیقی نمونه‌ها در جدول ۵ نشان می‌دهد که میانگین هر دو خواص برای همه نمونه‌ها و رطوبت‌ها در گروه‌های مختلف قرار دارند یعنی در هر رطوبتی اختلاف میانگین‌ها معنی‌دار است. با کاهش رطوبت چگالی حقیقی دانه‌ها کاهش یافته است و چگالی ظاهری تغییر چندانی نداشته است. این نتایج مطابق با نتایج فیگوریدو (۲۰۱۱) و سیفی (۲۰۱۰) برای دانه آفتابگردان، یالسن و همکاران (۲۰۰۷) برای نخود فرنگی، کوچکی (۲۰۰۷) برای دانه هندوانه، است. در صورتی که چگالی حقیقی برای مواد پوشال با کاهش رطوبت افزایش پیدا کرده است. دلیل آن هم کاهش یافتن بیش‌تر حجم نسبت به جرم است. بیش‌ترین مقدار چگالی حقیقی مربوط به مواد پوشال و برابر kgm^{-3} $897/56$ و کم‌ترین آن مربوط به دانه توخالی و برابر kgm^{-3} $249/2$ در رطوبت ۷ درصد است. بیش‌ترین اختلاف مقدار میانگین چگالی حقیقی بین دانه و پوشال در رطوبت ۷ درصد مشاهده می‌شود. این نتیجه حاصل می‌شود که اگر چگالی حقیقی به عنوان یک خصوصیت در جداسازی دانه و اجزاء خارجی به کار رود، هر چقدر رطوبت محصول کم‌تر باشد نتیجه بهتری حاصل خواهد شد. کم‌ترین و بیش‌ترین مقادیر میانگین چگالی ظاهری به‌ترتیب برای پوشال و دانه گزارش شد. گزارشات مربوط به ارقام دانه آفتابگردان مطابق با نتایج جعفری (۲۰۰۸) است. کوسنکر و کارابابا (۲۰۰۷) نیز نشان دادند که با افزایش رطوبت ابتدا چگالی حقیقی دانه گشنیز کاهش و سپس افزایش می‌یابد.

جدول ۱- مقایسه میانگین خواص هندسی دانه قلمی افتابگردان در رطوبت‌های مختلف

Table1- Mean of dimensions properties of sunflower seed at different moisture contents

خواص	میانگین پارامترها در رطوبت‌های (% تریایه) مختلف			
	۷	۱۵	۲۰	۳۰
طول (میلیمتر)	۲۶/۲۶ ^a	۲۶/۳۲ ^a	۲۶/۴۲ ^a	۲۶/۷۷ ^a
عرض (میلیمتر)	۹/۵۵ ^b	۹/۷۳ ^{ab}	۹/۸۵ ^{ab}	۱۰/۲۴ ^a
ضخامت (میلیمتر)	۵/۰۹ ^a	۵/۱۰ ^a	۵/۲۵ ^a	۵/۶۷ ^a
قطر معادل (میلیمتر)	۱۱/۱۷ ^b	۱۱/۲۹ ^{ab}	۱۱/۴۳ ^{ab}	۱۱/۹۰ ^a
درصد کرویت	۴۱/۴۲ ^b	۴۱/۶۷ ^b	۴۲/۱۲ ^b	۴۳/۵۴ ^a

حروف متفاوت در هر ردیف خواص نشانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ است

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر نوع اجزاء محصول و رطوبت روی حجم و مساحت سطح تصویر

Table 2- Analysis of variance to examine the effect of moisture content of materials on projected area and volume

مساحت سطح تصویر (cm ²)		حجم (mm ³)			
F	میانگین مجزورات	F	میانگین مجزورات	درجه آزادی	منابع تغییرات
۱۶/۴۸ ^{**}	۱/۱۱۸	۴۲۵/۷۶ ^{**}	۴۳۹۱۸۰/۹۹	۲	اجزاء
۳/۶۹ [*]	۰/۲۵	۱/۶۱ ^{ns}	۱۶۶۳۱۰۸۳	۳	رطوبت
۰/۲ ^{ns}	۰/۰۱۴	۰/۳۹۴ ^{ns}	۴۰۶/۵۳۵	۶	رطوبت × اجزاء
	۰/۰۶۸		۱۰۳۱/۵۲	۲۴	اشتباه آزمایشی

***، ** به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪

جدول ۳- مقایسه میانگین حجم و مساحت سطح تصویر اجزاء محصول در رطوبت‌های مختلف

Table3- Mean of projected area and volume of materials at different moisture contents

میانگین پارامترها در رطوبت‌های (% تریایه) مختلف				پارامتر نمونه‌های آزمایشی
۷	۱۵	۲۰	برداشت	
۴۶۸/۲۸ ^a	۴۸۹/۹ ^a	۴۹۸/۷۲ ^a	۵۰۱/۷۶ ^a	۱- دانه رقم قلمی
۳۴۱/۳۷ ^b	۳۴۳/۷۲ ^b	۳۴۵/۳۶ ^b	۳۴۹/۲۵ ^b	حجم (mm ³) ۲- دانه توخالی
۸۷/۴۹ ^c	۱۰۱/۳۵ ^c	۱۰۹/۱۲ ^c	۱۴۹/۳ ^c	۳- پوشال
۱/۶۹ ^a	۱/۷۶ ^{ab}	۱/۷۹ ^{ab}	۲/۰۵ ^{ab}	۱- دانه رقم قلمی
۱/۴۵ ^a	۱/۵۱ ^b	۱/۵۸ ^b	۱/۷ ^b	مساحت (cm ²) ۲- دانه توخالی
۱/۹۶ ^a	۲/۰۳ ^a	۲/۱۹ ^a	۲/۵ ^a	۳- پوشال

حروف متفاوت در هر ستون نشانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ است

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر نوع اجزاء محصول و محتوی رطوبت روی چگالی ظاهری، چگالی حقیقی و تخلخل
Table 4- Analysis variance to examine the effect of moisture content of materials on true and bulk density

چگالی ظاهری (kgm^{-3})		چگالی حقیقی (kgm^{-3})			
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مجزورات	F	میانگین مجزورات	F
اجزاء	۲	۱۲۳۱۴۲/۵۶	۷۵۱۴/۶۲**	۴۹۳۹۳۰۷/۱۹	۹۸۰۸/۴۲**
رطوبت	۳	۴۰۹/۱۸۹	۲۴/۹۷**	۴۳۴۶/۶۷	۱۷/۴۸**
رطوبت X اجزاء	۶	۱۸۳/۱۳۹	۱۱/۱۷۶**	۱۱۳۶۱/۸۸	۴۵/۶۸**
اشتباه آزمایشی	۷۲			۲۴۸/۷	

***, ** به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪.

جدول ۵- مقایسه میانگین چگالی ظاهری، چگالی حقیقی در رطوبت‌های مختلف
Table5- Mean of true and bulk density of materials at different moisture contents

میانگین خواص در رطوبت‌های (٪ ترپایه) مختلف				پارامتر	
۷	۱۵	۲۰	برداشت		
۲۱۷/۶۲ ^a	۲۰۱/۱۸۴ ^a	۲۰۰/۵۱ ^a	۲۰۸/۲۳ ^a	۱-دانه رقم قلمی	چگالی
۱۰۷/۳۲ ^b	۱۰۳/۲۶ ^b	۱۱۰/۶ ^b	۱۰۸/۵۷ ^b	۲-دانه توخالی	ظاهری (kgm^{-3})
۸۲/۹ ^c	۷۷/۵۴ ^c	۷۵/۱۹ ^c	۸۹ ^c	۳-پوشال	
۴۵۷/۲۸۷ ^b	۴۸۱/۹۷ ^b	۵۰۷/۱۴۸ ^b	۵۶۱/۰۲ ^b	۱-دانه رقم قلمی	چگالی حقیقی (kgm^{-3})
۲۴۹/۳ ^c	۲۷۴/۳۸ ^c	۲۹۰/۷ ^c	۳۱۹/۷۵ ^c	۲-دانه توخالی	
۸۹۷/۵۶ ^a	۸۷۸/۰۸ ^a	۸۷۲/۶۳ ^a	۸۲۲/۵۷ ^a	۳-پوشال	

حروف متفاوت در هر ستون پارامتر نشانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ است.

۳-۵- ضریب اصطکاک استاتیکی

حاصل از تجزیه واریانس اثر نوع اجزاء محصول، جنس سطح اصطکاکی و رطوبت روی ضریب اصطکاک استاتیکی نمونه‌ها در جدول ۶ نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود اختلاف اثر نوع جزء مواد مورد آزمایش، سطح اصطکاکی، رطوبت و ترکیب اثرات متقابل آن‌ها روی ضریب اصطکاک استاتیکی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شده است. مقایسه میانگین ضریب

هندرسون و پتری (۱۹۷۶) و رابلسکی و اسمیت (۱۹۸۰) اظهار داشتند در جاهایی که جداسازی با روش‌های دیگر امکان پذیر نیست از اختلاف مقدار ضریب اصطکاک مواد روی سطوح استفاده می‌شود و همچنین دانستن آن به منظور تعیین شیب الک و غربال در ماشین‌های برداشت اهمیت بسزایی دارد. نتایج

اصطکاک استاتیکی در هر یک از سطوح اصطکاکی و رطوبت، در سطح احتمال ۵٪ برای مواد مورد آزمایش در جدول ۷ آورده شده است. برای تمام سطوح اصطکاکی و مواد، مقدار ضریب اصطکاک با کاهش رطوبت کاهش می‌یابد که می‌تواند به دلیل کاهش چسبندگی مواد روی سطوح باشد. جعفری و همکاران (۲۰۱۱) برای دانه آفتابگردان، سینگ (۲۰۱۰) برای دانه ارزن و نعلبندی (۲۰۱۱) برای دانه گندم و ماستونک در تحقیقات خود نیز به این نتایج دست یافتند. بیش‌ترین مقدار ضریب اصطکاک اجزاء محصول، مربوط به رطوبت برداشت و سطح لاستیکی و کم‌ترین مقدار آن در رطوبت ۷ درصد و سطح چوبی به‌دست آمده است. میانگین ضریب اصطکاک دانه قلمی با سایر اجزاء (مواد خارجی) در رطوبت‌های برداشت، ۱۵، ۷ درصد روی سطح فلزی و سطح چوبی اختلاف معنی‌دار دارد و امکان جداسازی دانه از سایر اجزاء و خصوصاً پوشال خرد شده گل را نشان می‌دهد.

جدول ۶- تجزیه واریانس اثر نوع اجزاء محصول، جنس سطح اصطکاکی و محتوی رطوبت روی ضریب اصطکاک استاتیکی نمونه‌ها
Table 6- Analysis of variance to examine the effect of moisture content of materials and type of surface on coefficient of static friction

F	میانگین مجذورات	درجه آزادی	منابع تغییرات
۴۴۴/۰۸۶**	۰/۱۳۸	۲	نوع اجزاء
۲۸۹۵/۵۵**	۰/۹	۳	سطح اصطکاکی
۳۲۱۸/۲۶**	۱	۳	رطوبت
۱۶/۵۶**	۰/۰۰۵	۶	نوع اجزاء X سطح اصطکاکی
۱۳۱/۶**	۰/۰۴۱	۶	نوع اجزاء X رطوبت
۳۰/۹۸**	۰/۰۱	۹	سطح اصطکاکی X رطوبت
۱۷/۸۸**	۰/۰۰۶	۱۸	نوع اجزاء X سطح اصطکاکی X رطوبت
	۰/۰۰۰۳	۲۴۰	اشتباه آزمایشی

** بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ است

جدول ۷- مقایسه میانگین ضریب اصطکاک در هر یک از سطوح اصطکاکی و رطوبت
Table 7- Mean of coefficient of static friction on surfaces at different moisture contents

میانگین ضریب اصطکاک استاتیکی در رطوبت‌های مختلف				نوع اجزاء محصول در سطوح مختلف اصطکاکی	
۷	۱۵	۲۰	برداشت		
۰/۲۴۱ ^a	۰/۳۷۷ ^a	۰/۴۲۹ ^a	۰/۴۹۸ ^c	۱- دانه رقم قلمی	سطح فلزی
۰/۲۶۹ ^b	۰/۳۲۶ ^c	۰/۴۲۶ ^a	۰/۵۲۸ ^b	۲- دانه توخالی	
۰/۲۹۳ ^c	۰/۳۵۶ ^b	۰/۴۷۶ ^b	۰/۶۹۳ ^a	۳- پوشال	
۰/۲۴۸ ^b	۰/۳۲ ^b	۰/۳۵۶ ^a	۰/۵۰۳ ^b	۱- دانه رقم قلمی	سطح چوبی
۰/۲۲ ^c	۰/۲۷۷ ^c	۰/۳۷۲ ^a	۰/۴۰۵ ^c	۲- دانه توخالی	
۰/۲۷۹ ^a	۰/۳۵۷ ^a	۰/۴۰۸ ^b	۰/۵۸ ^a	۳- پوشال	
۰/۵۱۶ ^b	۰/۵۷۴ ^b	۰/۶۶۸ ^a	۰/۶۷ ^b	۱- دانه رقم قلمی	سطح لاستیکی
۰/۴۳ ^a	۰/۶۰۱ ^b	۰/۶۴۳ ^a	۰/۶۸ ^b	۲- دانه توخالی	
۰/۵۲۲ ^a	۰/۵۲۱ ^a	۰/۶۵۶ ^a	۰/۸۲ ^a	۳- پوشال	
۰/۲۵۷ ^b	۰/۳۲۵ ^a	۰/۴۱۳ ^b	۰/۵۵۱ ^b	۱- دانه رقم قلمی	سطح پلی‌کربنات
۰/۲۶۱ ^b	۰/۳۱۸ ^a	۰/۳۷۷ ^c	۰/۴۷۳ ^c	۲- دانه توخالی	
۰/۳۰۳ ^a	۰/۳۲۴ ^a	۰/۴۶۴ ^a	۰/۴۷۸ ^a	۳- پوشال	

حروف متفاوت هر ستون برای هر یک از سطوح و رطوبت نشانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ است.

۳-۶- خواص آیرودینامیکی

روی سرعت حد هستند، تحت اثر تغییرات محتوی رطوبت اجزاء بودند. گوپتا (۲۰۰۷) و خدابخشیان (۲۰۰۹) نیز در نتایج خود دریافتند که رطوبت اثر معنی‌داری روی خواص آیرودینامیکی دانه آفتابگردان دارد. اختلاف مقادیر سرعت حد و ضریب کشیدگی بین اجسام از روش‌های موثر و ساده در طراحی و تنظیمات تجهیزات انتقال، جداسازی و تمیزکن است. مقایسه میانگین سرعت حد و ضریب کشیدگی دانه رقم قلمی با مواد خارجی در رطوبت‌های مختلف در جدول ۹ شده است. همانگونه که در رطوبت‌های مختلف مشاهده می‌شود میانگین سرعت حد و ضریب کشیدگی دانه رقم قلمی در گروه متفاوت از سایر مواد قرار گرفته است

جدول ۸ نتایج تجزیه واریانس اثر نوع اجزاء محصول و محتوی رطوبت را روی سرعت حد و ضریب کشیدگی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود اختلاف اثر نوع اجزاء، رطوبت و اثر متقابل آن‌ها روی سرعت حد در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شده است به عبارت دیگر رقم دانه آفتابگردان با مواد غیردانه‌ای از لحاظ مشخصه سرعت حد اختلاف معنی‌داری دارد. همچنین تغییر محتوی رطوبت اجزاء، این مشخصه را به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر قرار می‌دهد، چون طبق نوشته سومر (۲۰۰۸) که چگالی حقیقی، وزن و مساحت سطح تصویر از عوامل تاثیرگذار

ترتیب برابر ۳/۴۶ و ۳/۶۹ متر بر ثانیه و در رطوبت برداشت مشاهده می‌شود و بیان می‌کند در رطوبت‌های بالا می‌توان با استفاده از روش جداسازی توسط هوا، به نتایج بهتر و قابل قبولی دست یافت در صورتی که با این تفسیر بیش‌ترین مقدار اختلاف بین ضریب کشیدگی دانه رقم قلمی با سایر اجزاء در رطوبت‌های ۱۵ و ۷ درصد است. با این نتایج امکان جداسازی دانه از دانه‌های توخالی و پوشال آفتابگردان با بکارگیری جریان هوا و روش باد بردگی در مراحل برداشت و پس از برداشت وجود دارد و می‌توان ماشین برداشت آفتابگردان را به تجهیزات جداساز نیوماتیکی مجهز نمود. زیدو (۲۰۰۷) در مطالعات خود روی جداسازی دانه *Tef* از مواد پوشال آن به این نتیجه دست یافت.

یعنی اختلاف معنی‌دار با آن‌ها دارد و با کاهش محتوی رطوبت نشان داده می‌شود مقادیر سرعت حد کاهش و ضریب کشیدگی افزایش پیدا می‌کند. گوپتا (۲۰۰۷) برای دانه آفتابگردان و افسونجونبور (۲۰۰۷) برای دانه قهوه در بررسی سرعت حد و ضریب کشیدگی به نتایج مشابه دست یافتند. بیش‌ترین مقادیر سرعت حد به دست آمده برای دانه رقم قلمی، دانه توخالی و پوشال به ترتیب برابر ۷/۰۸، ۳/۴۹ و ۳ متر بر ثانیه در رطوبت برداشت و کم‌ترین آن به ترتیب برابر ۵/۴۶، ۲/۷ و ۲/۶ متر بر ثانیه در رطوبت ۷ درصد است که مقادیر به دست آمده برای دانه رقم قلمی مطابق با یافته‌های خدابخشیان (۲۰۰۹) برای دانه آفتابگردان است. از لحاظ عددی بیش‌ترین اختلافی که بین میانگین سرعت حد دانه رقم قلمی با دانه توخالی و پوشال وجود دارد به

جدول ۸- تجزیه واریانس اثر نوع اجزاء محصول آفتابگردان و محتوی رطوبت روی سرعت حد و ضریب کشیدگی

Table 8-Analysis of variance to examine the effect of moisture content of materials on terminal velocity and drag coefficient

ضریب کشیدگی، C_d		سرعت حد، $(ms^{-1})V_t$			
F	میانگین مجذورات	F	میانگین مجذورات	درجه آزادی	منابع تغییرات
۶۴/۳۴**	۱/۵	۹۳۴/۲۳**	۸۴/۸۳	۲	اجزاء
۴۱/۷۱**	۰/۹۷۲	۵۱/۵۷**	۴/۶۸	۳	رطوبت
۱/۷۴ ^{ns}	۰/۰۴۱	۶/۰۸**	۰/۵۵	۶	رطوبت × اجزاء
	۰/۰۲۳		۰/۰۹۱	۷۲	اشتباه آزمایشی

** و ^{ns} به ترتیب نشانگر اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ و غیر معنی‌دار است.

جدول ۹- مقایسه میانگین سرعت حد و ضریب کشیدگی در محتوی رطوبت‌های مختلف
Table9- Mean of terminal velocity and drag coefficient of materials at different moisture contents

میانگین خواص در رطوبت‌های (%) ترپایه مختلف				پارامتر
۷	۱۵	۲۰	برداشت	
۵/۴۶ ^a	۵/۶۳ ^a	۶/۶۲ ^a	۷/۰۸ ^a	۱-دانه رقم قلمی
۲/۷۰ ^b	۳/۴۰ ^b	۳/۴۹ ^b	۳/۶۲ ^b	۲-دانه توخالی
۲/۶۰ ^b	۲/۷۵ ^c	۳/۰۰ ^c	۳/۳۹ ^b	۳-پوشال
۰/۹۵ ^b	۰/۷۵ ^b	۰/۷۴ ^c	۰/۵۹ ^c	۱-دانه رقم قلمی
۱/۴۲ ^a	۱/۱۷ ^a	۰/۹۵ ^b	۰/۸۰ ^b	۲-دانه توخالی
۱/۵۳ ^a	۱/۱۷ ^a	۱/۱۳ ^a	۰/۹۸ ^a	۳-پوشال

حروف متفاوت هر ستون برای هر یک از سطوح و رطوبت نشانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ است.

۴- نتیجه گیری

۳- با کاهش محتوی رطوبت (ترپایه) از برداشت تا ۷

درصد حجم و مساحت سطح تصویر برای اجزاء مواد محصول کاهش پیدا کرد. دانه قلمی و پوشال به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار حجم در هر رطوبت را داشت در حالی که بیش‌ترین مقادیر مساحت سطح تصویر در اجزاء پوشال مشاهده شد.

۴- با کاهش رطوبت چگالی حقیقی دانه‌ها کاهش یافته است و چگالی ظاهری تغییر چندانی نداشته است. در صورتی که چگالی حقیقی برای مواد پوشال با کاهش رطوبت افزایش پیدا کرد. بیش‌ترین مقدار چگالی حقیقی مربوط به مواد پوشال و برابر kgm^{-3} ۸۹۷/۵۶^۳ و کم‌ترین آن مربوط به دانه توخالی و برابر kgm^{-3} ۲۴۹/۲ در رطوبت ۷ درصد گزارش شد. همچنین چگالی ظاهری دانه، دانه توخالی و پوشال به ترتیب از ۲۰۸/۲۳ تا ۲۱۷/۶۲، ۱۰۸/۵۷ تا ۱۰۷/۳۲ و ۸۹ تا kgm^{-3} ۸۲/۹ تغییر یافت.

۵- مقدار ضریب اصطکاک استاتیکی برای تمام سطوح اصطکاکی (فلزی، چوبی و لاستیکی) و اجزاء

۱- میانگین بازده درصد جداسازی در زیر شبکه ضد کوبنده و خروجی تمیزکننده (نهایی) ماشین به ترتیب ۶۵/۷۵ و ۷۱/۵۲ درصد حاصل شد، و نشان داد که حدود ۳۰ درصد محصول در خروجی ماشین برداشت حاوی اجزاء خارجی و غیر دانه‌ای است و این میزان عامل افت کیفی و ارزش بهای دانه آفتابگردان آجیلی بود.

۲- میانگین طول، عرض، ضخامت، قطر معادل و درصد کرویت به ترتیب معادل ۲۵/۸۴، ۹/۳، ۴/۹۹، ۱۰/۹۳ میلی‌متر و ۴۱/۲ درصد حاصل شد و مقادیر متوسط این پارامترها با کاهش محتوی رطوبت (ترپایه) کاهش یافتند. تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که محتوی رطوبت روی خواص هندسی، ثقلی، ضریب اصطکاک استاتیکی و خواص آیرودینامیکی دانه آفتابگردان و مواد غیر دانه‌ای (دانه توخالی و پوشال خرد شده گل) در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪ اثر معنی‌دار داشت.

۷- با توجه به اینکه خواص اندازه‌گیری شده دانه آفتابگردان با مواد غیر دانه‌ای در رطوبت‌های برداشت و پس از آن تفاوت‌های معنی‌داری وجود دارد، با بهره‌گیری از این خصوصیات می‌توان به طراحی و تنظیمات تجهیزات جداسازی و تمیزکن مانند الک، غربال، صفحات لرزشی و جداسازهای ثقلی (استفاده از اختلاف چگالی)، جریان باد بصورت مکشی یا دمشی و استوانه مشبک دوار با جریان هوادهی طولی و همچنین به ترکیبی از این روش‌ها دست یافت و در ماشین برداشت یا پس از آن تجهیز نمود.

محصول با کاهش محتوی رطوبت کاهش یافت. بیش‌ترین مقدار آن برای اجزاء مربوط به رطوبت‌های برداشت و سطح لاستیکی و کم‌ترین مقدار آن در رطوبت ۷ درصد و سطح چوبی به‌دست آمد. میانگین ضریب اصطکاک دانه قلمی با سایر اجزاء (مواد خارجی) در رطوبت‌های برداشت، ۱۵، ۷ درصد روی سطح فلزی و سطح چوبی اختلاف معنی‌دار داشت.

۶- با کاهش محتوی رطوبت از برداشت تا ۷ درصد سرعت حد (ms^{-1}) برای دانه، دانه توخالی و پوشال آفتابگردان به ترتیب از ۷/۰۸ تا ۵/۴۶، ۳/۶۲ تا ۲/۷۰ و ۳/۳۹ تا ۲/۶۰ متر بر ثانیه کاهش و ضریب کشیدگی به ترتیب از ۰/۵۹ تا ۰/۹۵، ۰/۸۰ تا ۱/۴۲ و ۰/۹۸ تا ۱/۵۳ افزایش نشان داد.

۵- فهرست منابع

1. AfonsoJunior, P.C., Corre, P.C., Pinto, F.A.C., and Queiroz,D.M. 2007. Aerodynamic properties of coffee cherries and beans. **Biosystems Engineering**, 98: 39-46.
2. Ajval, E. A. and B. A. Adejumo. 2005. Performance Evaluation of an Okra Thresher. **Engineering International: the CIGR Ejournal**. Manuscript PM 04 006 Vol. VII.
3. Altuntas, E. and M. Erkol. 2010. Physical Properties of Shelled and Kernel Walnuts as Affected by the Moisture Content. **Czech J. Food Sci**, 6: 547-556
4. ASAE standard. 1998. S352.2 DEC 92, Moisture Measurement – Unground Grain and Seeds. Published by ASAE. p. 551.
5. Ayman, H. and E. Amer. 2009. Aerodynamic and solid flow properties for flaxseeds for pneumatic separation by using air stream. **International Journal of Agricultural & Biological of Engineering**, Vol. 2 No.4
5. Chavoshgoli, E. 2012. Determination of Physical and Aerodynamic Properties of grain and MOG in order to design suitable mechanisms in separation and cleaning systems. A thesis submitted to Graduate Studies Office in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Mechanic of Agricultural Machinery, Tabriz, Iran, (in farsi).

6. Coskuner, Y. and E. Karababa. 2007. Physical properties of coriander seeds (*Coriandrum sativum*L.). **J. Food Eng**, 80: 408-416.
7. Figueiredo, A.K., E.Bäumler., I.C.Riccobene and S.M.Nolasco.2011. Moisturedependent engineering properties of sunflower seeds with different structural characteristics. **Journal of Food Engineering**, 102: 58-65.
8. Freye, Th. 1980. Untersuchungen zur Trennung von Korn-Spreu-Gemischen durch die Reinigungsanlage des Maehdreschers (Investigations into separation of grain-chaff-mix through the cleaning shoe of a combine harvester). **Forschungsbericht Agrartechnik, MEG 47. Dissertation**, Universitaet Hohenheim.
9. Gumble, L.O. andC. Maina.1990. Friction coefficient of cereal seeds on various surfaces. **Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America**, 21(4): 61-64.
10. Gupta, R.K. and S.K. Das. 1997. Physical properties of sunflower seeds. **Journal of Food Engineering**66: 1-8.
11. Gupta, R.K., G.Arora andR. Sharma.2007. Aerodynamic properties of sunflower seed (*Helianthus annuus* L.). **Journal of Food Engineering**, 79: 899-904.
12. Haffar, I. andG R. Van Ea. 1990. A model to describe terminal velocities of graded cucumbers. **Applied Engineering research**, 6(2): 115-116.
13. Hartman, M., O.Trnka andK. Svoboda. 1994. Free settling of nonspherical particles. **Ind. Eng. Chem. Res**, 33: 1979-1983.
14. Henderson, M.S. R.L. and M.E. Perry. 1976. Agricultural process Engineering (Handbook). Pp.162-196.
15. Jafari, S., J.Khazaei., A.Arabhosseini,J. Massah andM.H. Khoshtaghaza. 2011. Study on mechanical properties of sunflower seeds. **Food Sci. Technol**, ISSN 1505-0297.
16. Jafari, S. 2008. Design and Construction a Laboratory Sunflower Seed Dehuller Machine. A thesis submitted to Graduate Studies Office in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Mechanic of Agricultural Machinery. Tehran, Iran, (in farsi).
17. Jain, R. K. and S. Bal. 1997. Properties of pearl millet. **Journal of Agricultural Engineering Reasearch**, 66: 85-91
18. Kashaninejad, M., A. Mortazavi., A. Safekordiand L.G.Tabil.2006. Some physical properties of pistachio (*Pistachio vera* L.) nut and its kernel. **Journal of Food Engineering**, 72: 30-38.
19. Khazaei, J., M. Sarmadi and J. Behzad. 2006. Physical properties of sunflower seeds and kernels ralated to harvesting and dehulling. **Lucrari Stiintifice**, Vol. 49. Seria Agronomie.
20. Khodabakhshian, R., B. Emadi andM.H.Abbaspour Fard. 2009. Aerodynamic Properties of Sunflower Seed, Kernel and its Hull Affected By Moisture Content and Size, Azargol

Variety as a Case Study. **International Agricultural Engineering Conference, Bangkok, Thailand.**

21. Khodabakhshian, R., B.Emadi and M.H. Abbaspour-Fard. 2010. Gravimetric Properties of sunflower Seeds and kernels. **World Applied Sciences Journal**, 8: 119-128.
22. Koocheki, A., S.M.A.Razavi., E. Milani,T.M. Moghadam.,M.Abedini., S.Alamatiyan and S.Izadkhah. 2007. Physical properties of watermelon seed as a function of moisture content and variety. **Int. Agrophysics**, 21: 349-359.
23. Mehta, R.D. 1977. The aerodynamic design of blower tunnels with wide-angle diffusers. **Prog. Aerospace Sci**, 18, Pp. 59-120.
24. Mohsenin, NN. 1986. Physical Properties of Plant and Animal Materials (Handbook^{2nd ed}). **Gordon & Breach Science Publishers**, New York, Pp. 616-681.
25. Nalbandi, H. 2008. Determining physical and mechanical properties of seed Mastounak (*Turgenia Latifolia*) For the feasibility mechanism of the separation it and wheat grains. A thesis submitted to Graduate Studies Office in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Mechanic of Agricultural Machinery. Tabriz, Iran, (in farsi).
26. Ogbonnaya, C. and S.Musliu Olushola. 2010. Determination of Selected Engineering Properties of Cowpea (*Vigna unguiculata*) Related to Design of Processing Machines. **International Journal of Engineering and Technology**, Vol.2, 6: 373-378.
27. Omobuwajo, O.T., O.R. Omobuwajo and A.L.Sann.2003. Physical properties of calabash nutmeg (*Monodora myristica*) seeds. **Journal of Food Engineering**. 57: 375–381.
28. Sahay, K.M., and K.K.Singh. 1994. Unit operations of agricultural processing. **New Delhi: Vikas Publishing House** (Abst).
29. Seifi, M.R. 2011. Moisture-Dependent Physical Properties of Sunflower Seed (*SHF8190*). **Modern Applied Science**, Vol. 4, No. 7.
30. Simonyan, K.J. and Y.D. Yiljep. 2008. Investigating Grain Separation and Cleaning Efficiency Distribution of a Conventional Stationary Rasp-bar Sorghum Thresher. **CIGR Ejournal**, Vol 10.
31. Singh, K.P., H.N. Mishra and S. Supradip. 2003. Moisture-dependent properties of barnyard millet grain and kernel. **J. Food Eng**, Vol 96: 598–606.
32. Sumer Peker M. and S. Helvaci. 2008. Solid–Liquid Two Phase Flow. Department of Chemical Engineering, Ege University, I' zmir, Turkey. P.86.
33. Uhl, J.B. and B.J.Lamp. 1966. Pneumatic separation of grain and straw mixtures. **Transactions of the ASAE**, 9: 244–246.
34. Velayati, A., B.Emadi., M. Khojastehpour and M. Saeidierad. 2011. Influence of moisture content on some physical properties of barberry. **Journal of Agricultural Machinery Engineering**. Vol 1. No1. (in farsi).

35. Wrubleski, P. D and L.G.Smit. 1980. Separation Characteristics of Conventional and Non-Conventional Grain Combines. **Published by the American Society of Agricultural and Biological Engineers**, St. Joseph, (Abs).
36. Yalcin, I., C. Ozarslak and T.Akbas. 2007. Physical properties of pea (*Pisum sativum*) seed. **J.Food Eng.**, 79: 731-735.
37. Zewdu, A.D. 2004. Untersuchungen zur Leistungssteigerung der Reinigungsanlage eines Maehdreschers durch zusaetzlichen Querschwingungen (Investigations into performance improvement of combine cleaning shoe through additional lateral oscillations), PhD Dissertation, Technical University of Dresden, Germany, 125P.
38. Zewdu, A.D. 2007. Aerodynamic properties of tef grain and straw material. **Biosystems Engineering**, 98: 304-309.

Determination of Physical and Aerodynamic Properties of Sunflower Seed at Different Moisture Contents in Order to Study Suitable Methods in Separation from Other Materials

E. Chavoshgoli^{1*}, S. Abdollahpour², R. Abdi³, A. Babaie⁴

M.Sc., Mechanical Engineering of Agricultural Machinery, University of Tabriz, Iran

2Associated professor, Department of Mechanical Engineering of Agricultural Machinery, University of Tabriz, Iran.

3Associated Professor, Department of Mechanical Engineering of Agricultural Machinery, University of Tabriz, Iran.

4M.Sc., Mechanical Engineering of Agricultural Machinery, University of Tabriz, Iran

** Corresponding author: esichavoshi@gmail.com*

Received: 2013-07-12 Accepted: 2013-12-08

Abstract

At first the stationary grain thresher was evaluated and used to study grain separation and cleaning efficiency distribution of the cleaning unit which showed that quality of product was unsuitable. This study aimed to develop simple systems to predict physical and aerodynamic properties of edible sunflower seed (cultivar of GALAMI) and MOG (material other grain) including hollow seeds and chaff materials for designing and setting equipment of cleaning and separation. These materials were obtained from thresher and separator of sunflower seeds at the harvest season. The properties were evaluated at four levels of moisture content from harvesting to 7% (w.b.). As the moisture content decreased, dimensions' characteristic decreased for seeds, also the projected area, coefficient of static friction, terminal velocity for all materials decreased, whereas the seed true density decreased from 561.02 to 457.29 kgm⁻³ and this value for Chaff materials increased from 822.57 to 897.56 kg m⁻³. The highest difference of coefficient of static friction value between seeds with MOG was in mild steel surface at moisture content of harvesting. The highest average terminal velocity was at moisture content of harvesting that for seeds, Hollow seeds and Chaff material was obtained at 7.08, 3.62 and 3.39 ms⁻¹, respectively, and the lowest one was at the moisture content of 7% for all materials, at 5.46, 2.70 and 2.60 ms⁻¹, respectively. Furthermore, the decrease in moisture content and drag coefficient tended to increase, so that its value for seeds, Hollow seeds and chaff materials changed from 0.59 to 0.95, 0.80 to 1.42 and 0.98 to 1.53, respectively. According to this investigation complete separation of seeds from MOG using the properties of product and applying sieve, gravity separator, mesh cylinder with air flow and combined methods is possible at various moisture contents.

Keywords: Edible sunflower seed, Material other grain, Harvester, Separation, Aerodynamic and physical properties

