تعیین برخی خواص فیزیکی پسته و مغز آن (رقم احمد آقایی)

محمد غلامی پرشکوهی[1*]، بهنام گوشکی[2]، علی ماشاءاله کرمانی[3]، مجید رشیدی[4]

[1] دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تاکستان، گروه ماشین‌های کشاورزی، تاکستان، ایران.
[2] دانش آموخته ی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تاکستان، گروه ماشین‌های کشاورزی، تاکستان، ایران
[3] مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان قزوین، قزوین،ایران
[4] استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تاکستان، گروه ماشین‌های کشاورزی، تاکستان، ایران

تاریخ دریافت: 90/10/11 تاریخ پذیرش: 91/2/3

چکیده

اطلاع از خواص فیزیکی میوه‌ها در طراحی و بهینه‌سازی سیستم‌های مرتبط با تولید و فرآوری آن‌ها، لازم و ضروری است. در این تحقیق، تعدادی از خواص هندسی(طول، عرض، ضخامت، قطر متوسط هندسی، قطر متوسط حسابی و مساحت سطح رویه)، خواص ثقلی(جرم، دانسیته‌ی واقعی، دانسیته‌ی توده و تخلخل) و خواص اصطکاکی و آیرودینامیکی(ضریب اصطکاک ایستایی و سرعت حد) پسته‌ی رقم احمد آقایی و مغز آن در پنج سطح رطوبتی 4/6، 12/35، 20/1، 27/85 و 35/6 درصد بر پایه‌ی تر اندازه‌گیری و محاسبه شد. اثر رطوبت بر طول، عرض، ضخامت، قطر متوسط هندسی و قطر متوسط حسابی، مساحت سطح رویه‌ی پسته به صورت غیرخطی و برای مغز خطی بود. با افزایش رطوبت، خواص ثقلی شامل جرم، دانسیته‌ی واقعی و دانسیته‌ی توده به صورت خطی افزایش پیدا کرد. این در حالی بود که تخلخل به صورت خطی با افزایش رطوبت در پسته و مغز کاهش پیدا کرد. بیش‌ترین ضریب اصطکاک استاتیکی برای پسته و مغز برای چوب و کم‌ترین آن برای آهن گالوانیزه به دست آمد. سرعت حد پسته و مغز آن با افزایش سطح رطوبت به طور خطی افزایش پیدا کرد و در محدوده 11/6- 10/59متر بر ثانیه برای پسته و 10/8 – 9/16 متر بر ثانیه برای مغز قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: پسته، خواص ثقلی، خواص فیزیکی، خواص هندسی، ضریب اصطکاک استاتیکی.

* مسوول مکاتبه: m.gholami@tiau.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

1- مقدمه

پسته، یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی است که اهمیت زیادی در صادرات و اقتصاد کشور دارد. آمارهای منتشر شده از سوی دفتر آمار وزارت کشاورزی آمریکا نشان می دهد ایران در سال زراعی 1389، 210 هزار تن پسته تولید کرده است که پس از آمریکا با تولید 236 هزار تن در مقام دوم قرار دارد(8). این گزارش، ایران را بزرگترین صادرکننده‌ی پسته در جهان معرفی کرده است. ایران در این سال 160 هزار تن از پسته‌ی تولیدی خود را صادر کرده است که در رتبه‌ی نخست از این نظر قرار گرفته است. صادرات پسته‌ی ایران در این سال 31 هزار تن نسبت به سال قبل افزایش داشته است. به همین دلیل در سال‌های اخیر در کشور ما توجه خاصی به مکانیزه نمودن مراحل فرآوری این محصول نموده‌اند، چراکه صدور پسته بدون رعایت استانداردهای لازم و کیفیت مناسب سود کمی را نصیب ما خواهد نمود.

یکی از نیازهای مکانیزه نمودن صنعت فرآوری پسته، طراحی دقیق ماشین‌های فرآوری و حمل و نقل است. اولین گام در طراحی دقیق و بهینه این ماشین‌ها دانستن خصوصیات فیزیکی و مکانیکی میوه‌ی پسته می‌باشد(1). دانستن این خصوصیات، تأثیر عمده‌ای روی عملکرد و بازده‌ی ماشین‌ها و دستگاه‌های خط فرآوری دارد. از طرفی، پسته و مغز آن در طول فرآیند فرآوری در طیف وسیعی از رطوبت قرار می‌گیرد و از آن جا که رطوبت بر بافت محصولات کشاورزی تاثیر زیادی می‌گذارد، بررسی خواص ذکر شده در رابطه با رطوبت، بسیار حائز اهمیت می‌باشد(11).

شکل و اندازه‌ی مواد، پارامترهایی هستند که بر منحنی سرمایش مواد و جداسازی دانه از مواد ناخواسته و درجه‌بندی آن موثرمی‌باشد(11). رعایت این مسأله در مورد پسته در امر نگه داری و در مرحله‌ی جداسازی آشغال در دستگاه آشغال‌گیر و جداسازی پسته‌های پوک در دستگاه پوک‌گیر پسته به شکل بهینه دخیل است.

از جمله خواص فیزیکی پسته که در طراحی ماشین‌آلات تأثیرگذار است خواص ثقلی می‌باشد. دانسیته‌ی توده و تخلخل ملاحظات مهم در طراحی خشک کن‌ها و سیستم‌های هوادهی هستند. همچنین این خواص روی مقاومت توده‌ی ذخیر شده محصول در برابر هوا تأثیر می‌گذارد. از این خواص برای پیش بینی ساختار بار برای انبارها نیز استفاده می‌شود(10). دانسیته‌ی ظاهری و دانسیته‌ی مغز به عنوان عاملی در مشخص کردن کیفیت دانه و سیستم‌های درجه‌بندی به حساب می‌آید. رعایت این مسأله، کمک عمده‌ای در طراحی صحیح دستگاه‌های درجه‌بندی پسته می‌نماید. همچنین آگاهی از دانسیته و وزن مخصوص جهت محاسبه‌ی انتشار حرارتی در حل مسائل انتقال گرما سودمند می‌باشد. این امر در اتخاذ روش‌های مناسب خشک کردن و نگه داری محصول پسته دخالت دارد(1).

تاکنون مطالعات ارزشمند زیادی در زمینه خواص فیزیکی پسته و محصولات دانه‌ای انجام شده است. رضوی و همکاران (2007) خواص ثقلی پنج رقم پسته مهم تجاری ایران را مورد بررسی قرار دادند. همچنین خواص اصطکاکی پنج رقم پسته مهم تجاری را در پنج سطح اصطکاکی به صورت تابعی از رطوبت بررسی کرد (13، 14 و 15). کاشانی‌نژاد و همکاران (2006) خواص فیزیکی پسته و مغز رقم اوحدی از جمله خواص ثقلی آن را به صورت تابعی از رطوبت بررسی کرد. وی همچنین خواص اصطکاکی و سرعت حد پسته و رقم اوحدی را در سطوح مختلف رطوبتی بررسی کرد(9). سو و همکاران (1991) خواص فیزیکی و حرارتی پسته‌ی رقم کرمانی را بررسی کردند. آنان در تحقیق خود تعدادی از خواص ثقلی این رقم شامل دانسیته‌ی توده و وزن مخصوص حقیقی را به صورت تابعی از رطوبت بررسی کردند(7). زابلستانی و طباطبایی‌فر(1389) تاثیر رطوبت را بر برخی خواص فیزیکی، خواص اصطکاکی و سرعت حد بادام و مغز بادام را بررسی کرد(2). پولات (2007) خواص اصطکاکی پسته‌ی رقم قرمز کشور ترکیه را تعیین کرد(13).

این تحقیق به منظور بررسی خواص فیزیکی شامل خواص هندسی(طول، عرض، ضخامت، قطر متوسط هندسی، قطر متوسط حسابی و مساحت سطح رویه)، خواص ثقلی(جرم، دانسیته‌ی حقیقی، دانسیته‌ی توده و تخلخل) و خواص اصطکاکی و آیرودینامیکی (ضریب اصطکاک ایستایی و سرعت حد) پسته‌ی رقم احمد آقایی و مغز آن اندازه‌گیری و محاسبه شد.

2- مواد و روش‌ها

پسته‌ی رقم احمد آقایی یکی از ارقام مهم شهرستان رفسنجان واقع در استان کرمان است که به عنوان نمونه‌ی مورد آزمایش ما انتخاب شده است. در حدود 20 کیلوگرم پسته‌ی خشک از شهرستان رفسنجان تهیه شد. این پسته‌ها داری رطوبت حدود 38 درصد بر پایه‌ی تر بود و به صورت کاملاً دستی پوست‌گیری و

Archive of SID

www.SID.ir

تمام مراحل خشک شدن آن به صورت طبیعی در نور خورشید انجام شده بود. پسته‌ها بعد از تهیه شدن کاملاً تمیز و مواد زائد آن جدا گشتند. رطوبت اولیه‌ی پسته‌ها با استفاده از روش آون در دمای 2±103 درجه‌ی سلسیوس و تا رسیدن به وزن ثابت تعیین شد (9). رطوبت اولیه 4/6 درصد بر پایه‌ی تر تعیین شد. برای به دست آوردن نمونه‌هایی با رطوبت بیش تر، مقدار آب مقطر محاسبه شده طبق رابطه‌ی 1 به آن اضافه شد. با افزودن مقدار آب مقطر مورد نیاز چهار سطح رطوبت 12/35٪، 20/1٪، 27/85٪ و 35/6٪ (بر پایه‌ی تر) دیگر نیز ایجاد شد. سپس، نمونه‌ها در ظروف پلاستیکی دربسته قرار گرفتند و در دمای 5 درجه‌ی سلسیوس به مدت 10 روز در یخچال نگه داری شدند تا رطوبت به طور یکنواخت در محصول پخش شود (9).

$$w_2 = w_1 \times \left[\frac{M_2 - M_1}{100 - M_2}\right] \quad (1)$$

که در آن:

w_2 وزن آب اضافه شده (گرم)، w_1 وزن نمونه(گرم)، M_2 رطوبت نهایی (درصد بر پایه‌ی تر) و M_1 رطوبت اولیه (درصد بر پایه‌ی تر) می‌باشد.

بیش از شروع آزمایش، نمونه‌های مورد نیاز برای هم دما شدن با محیط حداقل 2 ساعت در دمای محیط قرار گرفتند(4).

2-2- خواص هندسی

برای بررسی خواص هندسی (طول، عرض، ضخامت، کرویت، قطر متوسط هندسی وحسابی و مساحت سطح رویه) تعداد 100 پسته به طور تصادفی انتخاب شد و سه بعد اصلی آن با استفاده از یک کولیس دیجیتالی مدل Guanglu، ساخت کشور چین و با دقت 0/01 میلی‌متر اندازه گیری شد. برای اندازه گیری ابعاد مغز، پوست سخت پسته با دست جدا و مغز آن را بیرون کشیده و ابعاد آن اندازه‌گیری شد. قطر متوسط هندسی و حسابی، مساحت سطح رویه و کرویت با استفاده از روابط (2 تا 5) محاسبه گردید(11).

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

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

$$\phi = \frac{(LWH)^{1/3}}{L} \quad (4)$$

$$S = \pi D_g^{\,2} \quad (5)$$

که در روابط فوق:

D_a و D_g میانگین قطرحسابی وهندسی (میلی‌متر)، ϕ کرویت (درصد)، S مساحت سطح رویه(میلیمتر مربع)، L طول (میلی‌متر)، W عرض (میلی‌متر) و H ضخامت (میلی‌متر) می باشد.

2-3- خواص ثقلی

برای تعیین واحد جرم پسته و مغز آن از هر یک از پنج سطح رطوبتی فوق‌الذکر تعداد 100 عدد پسته به طور تصادفی انتخاب شده و هر دانه را با یک ترازوی دیجیتالی مدل AND-GF600 با دقت 0/001 توزین شد. برای تعیین وزن مغز پسته‌ها، پوسته سخت را با دست جدا کرده و به همان روش انجام شد.

دانسیته‌ی واقعی به عنوان جرم واحد حجم حقیقی تعریف شده است. لذا برای محاسبه‌ی آن نیاز به مشخص کردن حجم حقیقی و واحد جرم پسته و مغز آن است. حجم حقیقی با استفاده از روش جابه جایی مایع تولوئن(C_7H_8) در استوانه‌ی مدرج تعیین شد. تولوئن، کم‌تر جذب پسته می‌شود و کشش سطحی آن کم است به طوری که تمام گودی‌های کم عمق پسته را پر می‌کند(11). دانسیته‌ی واقعی نمونه‌ها با تقسیم جرم نمونه بر حجم حقیقی نمونه محاسبه شد. این آزمایش‌ها در 5 تکرار هم برای پسته و هم مغز در هر سطح رطوبتی انجام شد و مقدار متوسط آن گزارش شد. به منظور محاسبه‌ی دانسیته‌ی توده، از یک ظرف استوانه‌ای با حجم معلوم استفاده شد که توسط پسته‌یا مغز از ارتفاع 0/5 متری از سر استوانه پر شد. به طوری که کاملاً هم سطح شد و هیچ‌گونه فشار اضافی وارد نشد. دانسیته‌ی توده با تقسیم جرم پسته درون ظرف بر حجم ظرف (مشخص و ثابت) برآورد شد(11). این آزمایش نیز برای هر سطح رطوبتی در 5 تکرار انجام شد و مقدار متوسط آن گزارش شد.

درصد تخلخل پسته و مغز آن از رابطه‌ی 3 محاسبه گردید(11).

$$\varepsilon = [(\rho_t - \rho_b)/\rho_t] \times 100 \quad (6)$$

که در آن:

ε تخلخل(درصد)، ρ_t دانسیته‌ی واقعی(کیلوگرم بر متر مکعب)و ρ_b دانسیته‌ی توده (کیلوگرم بر متر مکعب) می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

2-4- خواص اصطکاکی و آیرودینامیکی

برای تعیین ضریب اصطکاک ایستایی (μ)، از دستگاهی استفاده شد که دارای یک سطح شیب‌دار قابل تنظیم بود (شکل 1-الف). ضریب اصطکاک استاتیکی در روی پنج سطح اصطکاکی شامل آهن گالوانیزه، شیشه، چوب، پلاستیک و استیل[1] و در 5 تکرار تعیین شد. برای به دست آوردن این ضریب، نمونه‌های پسته‌یا مغز را در یک استوانه پلاستیکی با ارتفاع 10 سانتی‌متر و قطر 8 سانتی‌متر که دو سر آن باز بود ریخته شد. استوانه، کمی بالا کشیده شد تا لبه‌ی آن با سطح اصطکاکی مورد نظر تماس نداشته باشد. زاویه‌ی سطح شیب‌دار به تدریج افزایش داده شد تا استوانه‌ی محتوی نمونه شروع به حرکت کند. زاویه‌ی شروع به سریدن توسط نقاله‌ی مدرج کنار سطح شیب‌دار قرائت و ثبت شد و ضریب اصطکاک استاتیکی از رابطه‌ی 4 ، محاسبه گردید(9).

$$\mu = \tan\varphi \qquad (7)$$

که در آن:

μ ضریب اصطکاک استاتیکی و φ زاویه سطح شیب‌دار (بر حسب درجه) می‌باشد.

برای تعیین سرعت حد از تونل باد (شکل 1- ب) استفاده شد که دارای موتور الکتریکی، فن (پنکه) گریز از مرکز و کانال آزمایش بود. نمونه‌ها درون کانال و روی صفحه‌ی مشبک قرار داده شده و به تدریج، سرعت فن افزایش داده شد تا زمانی که نمونه‌ها در سطح معین به ارتفاع حدود 30 سانتی‌متردرون تونل باد به صورت شناور در آید. در این حالت، سرعت جریان باد درون تونل توسط بادسنج از نوع سیم داغ مدل Testo 425 اندازه‌گیری و ثبت شد. این آزمایش‌ها نیز برای 5 سطح رطوبتی فوق‌الذکر با 5 تکرار انجام شد(9).

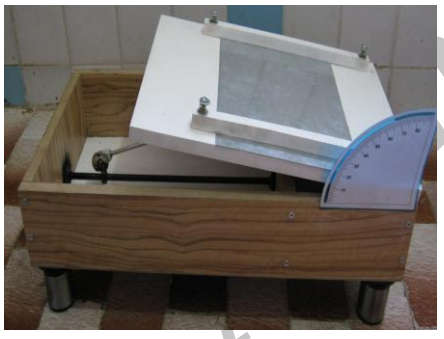
به منظور بررسی اثر سطوح مختلف رطوبت و نوع سطح نتایج داده‌های ضریب اصطکاک به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی توسط نرم‌افزار MSTAT-C مورد تجزیه واریانس قرار گرفت. داده‌های سرعت حد نیز برای بررسی اثر رطوبت به صورت One-way مورد آنالیز واریانس قرار گرفت.

3- نتایج و بحث

3-1- خواص هندسی

شکل‌های 2 تا 5 متوسط خواص ابعادی و هندسی پسته‌ی رقم احمدآقایی و مغز آن را در پنج سطح رطوبتی نشان می‌دهد. همان طور که پیداست طول، عرض، ضخامت، قطر متوسط هندسی، قطر متوسط حسابی و مساحت سطح رویه با افزایش رطوبت افزایش پیدا کرد. این افزایش به علت متورم شدن سلول-های پسته و مغز در اثر رطوبت بوده است. کرویت برای دانه‌ی پسته با افزایش رطوبت روند خاصی نشان نداد و بعضاً به میزان خیلی کمی کاهش یا افزایش از خود نشان داد و در مجموع در 72 درصد ثابت ماند. اما برای مغز پسته با افزایش رطوبت کرویت از 65/81 تا 68/01 درصد افزایش داشت. نتایج تحقیقات رضوی (2007)، کاشانی‌نژاد (2006)، و پولات (2007) این نتایج را تایید می‌کند(9، 13 و 14).

مقایسه‌ی ابعادی پسته و مغز رقم احمد آقایی از نظر طولی با ارقام بادامی، کله قوچی، ممتاز و اوحدی نشان دهنده‌ی بزرگ‌تر بودن این رقم نسبت به این ارقام است که نتایج کشیده بودن پسته‌ی احمد آقایی را که در عرف مشهور است را تایید می‌کند(14).



الف

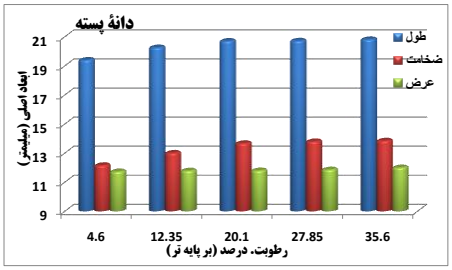
ب

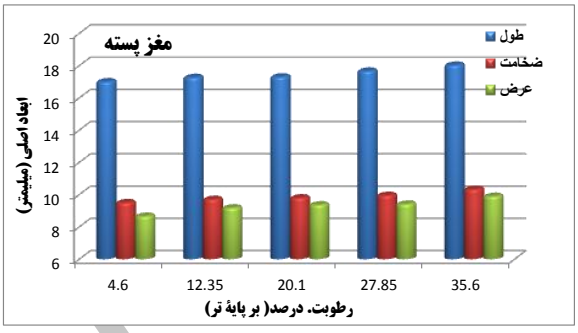
1- فولاد ضد زنگ

Archive of SID

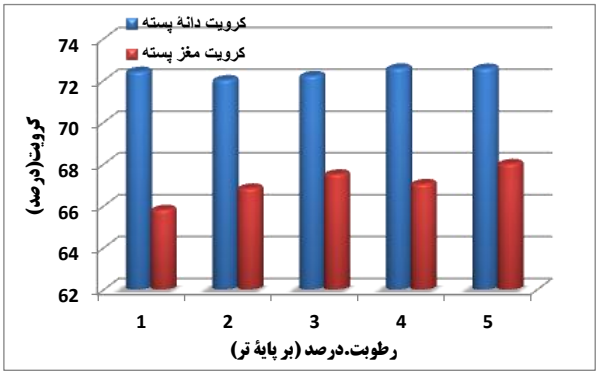
www.SID.ir

شکل 1- الف) سطح شیب‌دار به کار رفته برای تعیین ضریب اصطکاک استاتیکی، ب) تونل باد برای اندازه گیری سرعت حد

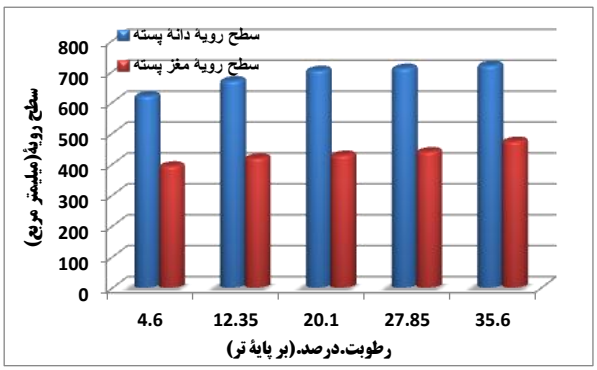




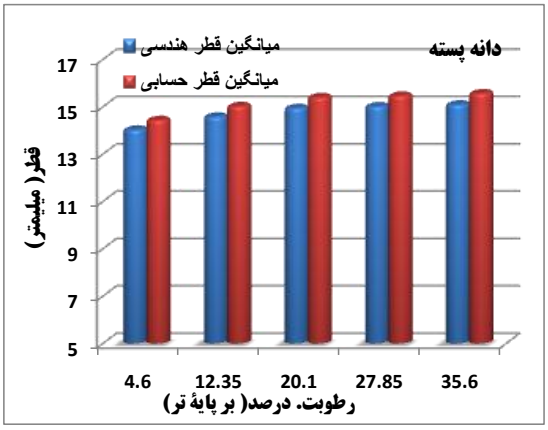
شکل 2- خواص ابعادی پسته‌ی رقم احمدآقایی و مغز آن را در پنج سطح رطوبتی

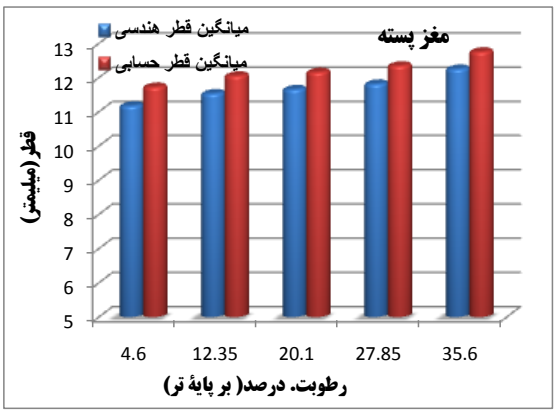


شکل 3- کرویت پسته‌ی رقم احمدآقایی و مغز آن را در پنج سطح رطوبتی



شکل 4- سطح رویه‌ی پسته‌ی رقم احمدآقایی و مغز آن را در پنج سطح رطوبتی





شکل 5- میانگین قطر حسابی و هندسی پسته‌ی رقم احمدآقایی و مغز آن را در پنج سطح رطوبتی

جدول 1، روابط رگرسیونی بین خواص هندسی و محتوی رطوبت را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می شود این روابط حاکی از آن است که طول، عرض، ضخامت، قطر متوسط هندسی، قطر متوسط حسابی و مساحت سطح رویه برای پسته با افزایش رطوبت به صورت غیرخطی افزایش می‌یابد. در حالی که برای مغز پسته افزایش به صورت خطی بوده است. کاشانی‌نژاد (2006) روابط رگرسیونی ابعادی با رطوبت را هم برای پسته و هم برای مغز به صورت غیرخطی به دست آورد. این در حالی است که رضوی (2007) هم برای پسته و هم برای مغز، روابط خطی به دست آورد(9 و 14). بافت پوسته‌ی سخت پسته می‌تواند دلیلی بر تفاوت خطی و غیر خطی بودن مغز و پسته باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

3-2- خواص ثقلی

و سو و همکاران (1991) تفاوت‌هایی دارد که به نوع روش به کار برده شده در محاسبه‌ی حجم حقیقی می‌باشد(7، 9 و 15). معادلات رگرسیونی دانسیته‌ی واقعی به عنوان تابعی از رطوبت در

جدول 1- معادلات رگرسیون برای خواص هندسی دانه و مغزپسته در محدوده‌ی رطوبت 4/6٪ تا 35/6٪

معادله‌ی رگرسیونی برای میوه‌ی پسته	R^2	معادله‌ی رگرسیونی برای مغز پسته	R^2
$L = -0.0023M^2 + 0.1361M + 18.867$	0/97	$l = 0.0317M + 16.814$	0/94
$W = 0.0003M^2 - 0.0027M + 11.751$	0/96	$w = 0.0348M + 8.6036$	0/92
$T = -0.0025M^2 + 0.1562M + 11.496$	0/99	$t = 0.0245M + 9.367$	0/94
$D_g = -0.0015M^2 + 0.0921M + 13.647$	0/99	$d_g = 0.0314M + 11.051$	0/95
$D_a = -0.0015M^2 + 0.0965M + 14.038$	0/99	$d_a = 0.0304M + 11.595$	0/95
$S = -0.1266M^2 + 8.16M + 585.84$	0/99	$s = 2.3259M + 383.53$	0/95
$\phi = -0.0002M^3 + 0.0115M^2 - 0.2081M + 73.15$	0/99	$\phi = 0.0003M^3 - 0.0206M^2 + 0.4394M + 64.152$	0/94

ϕ، کرویت- D_a، D_g قطر حسابی وهندسی- L، طول- W، عرض- T، ضخامت- S، مساحت سطح

شکل 6، نشان می‌دهد که واحد جرم پسته و مغز آن با افزایش رطوبت از 4/6 درصد تا 35/6 درصد (بر پایه‌ی تر) به صورت خطی (R^2>0/98) افزایش می‌یابد. مقادیر واحد جرم برای پسته در محدوده‌ی 1/06 تا 1/5 گرم و برای مغز آن در محدوده‌ی 0/59 تا 0/90 گرم قرار داشت. مقایسه‌ی نتایج با تحقیقات گذشته نشان داد که متوسط واحد جرم پسته‌ی رقم احمدآقایی در رطوبت یکسان با ارقام بادامی و ممتاز تقریباً برابر است این نتیجه در مورد مغز پسته هم صادق است.

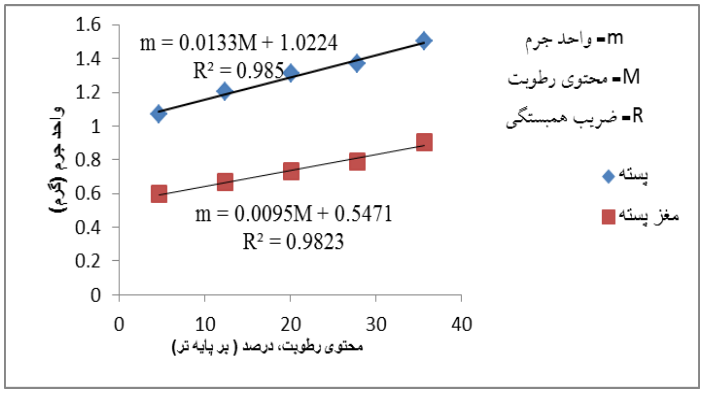
مقدار دانسیته‌ی واقعی پسته و مغز آن به ترتیب با افزایش رطوبت از 959/65 تا 965/26 گیلوگرم بر متر مکعب و 961/83 تا 969/10 گیلوگرم بر متر مکعب به صورت خطی، افزایش یافت. این افزایش می‌تواند ناشی از افزایش بالای وزن مغز در مقایسه با انبساط حجمی آن در اثر رطوبت باشد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود مقدار دانسیته‌ی واقعی برای مغز کمی بیش تر از خود پسته است که این می‌تواند ناشی از بافت مغز پسته در مقابل پوست سخت (پوست سخت پسته سلولزی می باشد و توانایی آن برای جذب رطوبت بیش تر است.) پسته باشد که توانایی‌های متفاوتی در انبساط در اثر جذب رطوبت دارند. علت آن، متفاوت بودن جنس پوست پسته که سلولزی می باشد و توانایی آن برای جذب

رطوبت بیش تر است دانست. این نتایج با نتایج رضوی و همکاران (2007) مطابقت دارد ولی با نتایج کاشانی‌نژاد (2006) جدول 3،

آمده است. این معادلات، گواه بر رابطه‌ی خطی بین رطوبت و دانسیته‌ی واقعی می‌باشد.

مقدار دانسیته‌ی توده با افزایش رطوبت از 347/88 تا 422/99 گیلوگرم بر متر مکعب برای پسته و از 362/41 تا 446/77 گیلوگرم بر متر مکعب برای مغز پسته، افزایش پیدا کرد. این افزایش به صورت کاملاً خطی بود(معادلات رگرسیونی در جدول 2). از آن جا که با افزایش رطوبت، جرم توده در مقایسه با حجم آن رشد بیش تری دارد دانسیته‌ی توده با افزایش رطوبت افزایش می‌یابد. نتایج مشابه ای برای تحقیقات رضوی و همکاران (2007) برای پنج رقم پسته‌ی تجاری و سو و همکاران (1991) برای پسته‌ی رقم کرمان به دست آمد(7 و 15).

تخلخل با افزایش رطوبت کاهش پیدا کرد که این کاهش برای پسته و مغز رقم احمدآقایی به ترتیب در محدوده‌ی 63/74 - 56/18 درصد و 62/31 - 53/89 درصد قرار گرفت.



Archive of SID
www.SID.ir

شکل 6- اثر رطوبت بر جرم واحد پسته و مغز آن و روابط رگرسیونی آن‌ها

جدول 2- معادلات رگرسیون برای دانسیته‌ی واقعی ρ_t، دانسیته‌ی توده ρ_b و تخلخل ε برای پسته‌ی رقم احمدآقایی و مغز آن در محدوده‌ی رطوبتی 4/6 تا 35/6 درصد

معادله‌ی پسته	R^2	معادله‌ی مغز پسته	R^2
ρ_t = 0.176M + 959.27	0/97	ρ_t = 0.2412M+ 960.23	0/97
ρ_b = 2.5396M + 331.64	0/94	ρ_b = 2.8506M + 339.67	0/93
ε = -0.2565M + 65.414	0/94	ε = -0.2849M + 64.602	0/93

ρ_t (**دانسیته‌ی واقعی**)، ρ_b (**دانسیته‌ی** توده)، ε (تخلخل)، M (محتوی رطوبت به صورت درصد)

جدول 3- تجزیه‌ی واریانس ضریب اصطکاک در رطوبت‌های مختلف بر روی چند نوع سطح

منبع تغییرات	درجه‌ی آزادی	ضریب اصطکاک پسته	ضریب اصطکاک مغز پسته
رطوبت	4	0,066**	0,249**
نوع سطح	4	0,145**	0,107**
رطوبت × نوع سطح	16	0,029**	0,001**
خطا	100	0,00045	0,001
ضریب تغییرات (C. V.)	—	٪5,31	٪5,78

** معنی‌دار در سطح احتمال 1٪

جدول 4-روابط رگرسیون خطی ضریب اصطکاک استاتیکی پسته‌ی رقم احمدآقایی و مغز آن روی سطوح مختلف

سطوح اصطکاکی	معادله‌ی مغز پسته	R^2	معادله‌ی پسته	R^2
چوب	μ = 0.0084M + 0.4127	0/96	μ = 0.007M + 0.3584	0/97
شیشه	μ = 0.0084M + 0.3413	0/98	μ = 0.0046M + 0.302	0/98
پلاستیک	μ = 0.008M + 0.3266	0/95	μ = 0.0046M + 0.2856	0/97
استیل	μ = 0.0078M + 0.2882	0/98	μ = 0.0031M + 0.2881	0/93
گالوانیزه	μ = 0.008M + 0.2514	0/98	μ = 0.0032M + 0.2727	0/97

این رفتار تخلخل می‌تواند به این دلیل باشد که با افزایش آب درون پسته خلل و فرج بیش‌تر پر شده و در نتیجه، میزان تخلخل با افزایش رطوبت کاهش پیدا می‌کند. کاشانی‌نژاد و همکاران (2006) نتایج مشابهی برای رقم اوحدی به دست آورد اما در رفتاری غیرخطی اما نتایج رضوی و همکاران (2007) برای ارقام مهم تجاری از خطی بودن این رابطه حکایت دارد(9 و 15). معادله‌ی رگرسیونی برای اثر رطوبت بر تخلخل در جدول 2 آمده است که رابطه‌ی خطی بین تخلخل و رطوبت را تایید می‌کند.

3-3- خواص اصطکاکی و آیرودینامیکی

نتایج تجزیه واریانس داده‌های ضریب اصطکاک پسته و مغز آن (جدول 3) نشان می‌دهد که رطوبت و نوع سطح اثر بسیار معنی داری بر ضریب اصطکاک استاتیکی پسته‌ی رقم احمدآقایی و مغز آن داشت.

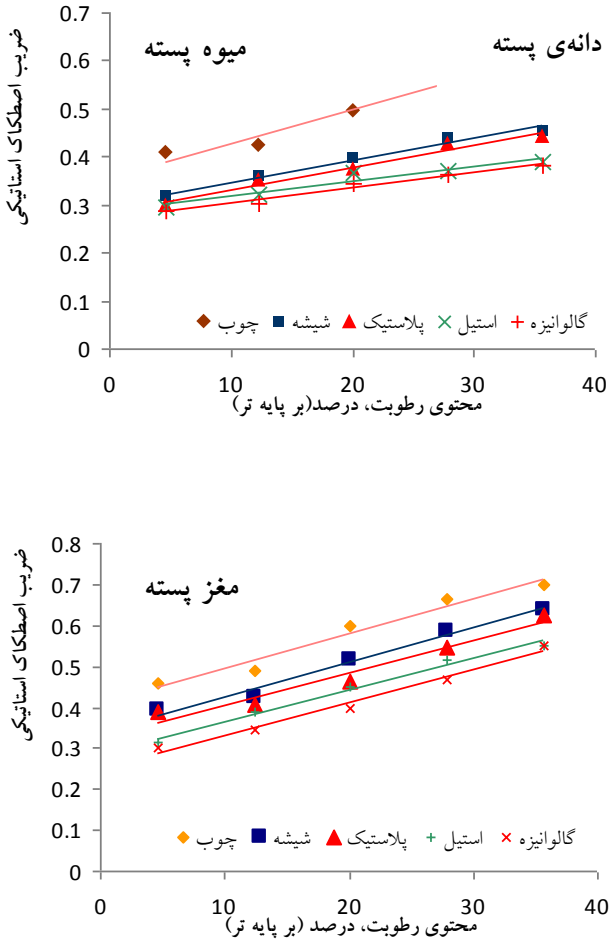
مقادیر میانگین ضریب اصطکاک استاتیکی برای پسته‌ی رقم احمدآقایی و مغز آن (شکل 3) نشان می‌دهد که ضریب اصطکاک استاتیکی در همه سطوح اصطکاکی هم برای پسته و هم برای مغز آن با افزایش رطوبت به طور معنی‌داری (در سطح احتمال 1 درصد) افزایش می‌یافت. ضریب اصطکاک استاتیکی برای پسته به ترتیب روی سطوح چوب، شیشه، پلاستیک، استیل و گالوانیزه در محدوده‌ی 0/40–0/61، 0/31–0/45، 0/30–0/44،

www.SID.ir

0/29–0/39 و 0/28 –0/38 به دست آمد. این در حالی بود که ضریب اصطکاک استاتیکی روی سطوح ذکر شده برای مغز به ترتیب در محدوده‌ی 0/45-0/69، 0/39-0/63، 0/62-0/38، 0/31-0/55 و 0/30-0/54 قرار گرفت. شکل 7، نشان می‌دهد که بیش ترین ضریب اصطکاک استاتیکی هم برای پسته و هم مغز آن در روی سطح چوبی و بعد از آن به ترتیب روی سطوح شیشه، پلاستیک، استیل و کم‌ترین مقدار روی سطح گالوانیزه می-باشد. علت این اختلاف زبری و نرمی سطوح است که بیش ترین زبری را چوب و کم‌ترین آن را آهن گالوانیزه داشت.

در رطوبت‌های بالاتر آب درون پسته و مغز زیاد می‌شود و نیروی چسبندگی بین سطح و نمونه افزایش یافته باعث می‌شود که ضریب اصطکاک با زیاد شدن رطوبت افزایش پیدا کند. معادلات رگرسیونی در جدول 4، نشان می‌دهد که روابط بین ضریب اصطکاک استاتیکی و رطوبت کاملاً خطی بود. افزایش خطی ضریب اصطکاک استاتیکی با افزایش رطوبت با نتایج تحقیقات محققین دیگر از جمله کاشانی‌نژاد و همکاران (2006) برای پسته و مغز رقم اوحدی، رضوی و همکاران (2007) برای پسته و مغز پنج رقم تجارتی دیگر، زابلستانی و طباطبایی (1389) برای مغز بادام، آیدین(2003) برای مغز بادام مشابهت داشت(2، 5، 9 و 16).

نتایج تجزیه واریانس (جدول 5) نشان داد که رطوبت اثر بسیار معنی‌داری (در سطح احتمال 1درصد) بر سرعت حد پسته و مغز آن داشت. مقادیر مختلف سرعت حد در سطوح مختلف رطوبتی در شکل 8، نشان داده شده است. شکل 9، نشان می‌دهد که سرعت حد پسته‌ی رقم احمدآقایی و مغز آن با افزایش رطوبت به صورت خطی افزایش پیدا می‌یابد. از شکل 9، پیداست که سرعت حد برای پسته‌ی رقم احمدآقایی در محدوده‌ی 10/59 تا 11/6 متر بر ثانیه و برای مغز آن در محدوده‌ی 9/16 تا 10/8 متر بر ثانیه قرار داشت. سرعت حد برای مغز پسته کمی کم‌تر از میوه‌ی پسته بود. این نتایج، مشابه نتایجی است که کاشانی‌نژاد و همکاران (2006) برای پسته‌ی رقم اوحدی، پولات(2007) برای پسته‌ی رقم قرمز ترکیه، آیدین(2003) برای مغز بادام مشاهده کردند(5، 9 و 13). افزایش سرعت حد با افزایش رطوبت را می‌توان به افزایش جرم یک واحد پسته‌یا مغز پسته در واحد سطحی نسبت داد که در مقابل جریان باد قرار می‌گیرد (2 و 9).



شکل 7- تغییرات ضریب اصطکاک پسته و مغز آن با رطوبت روی سطوح مختلف

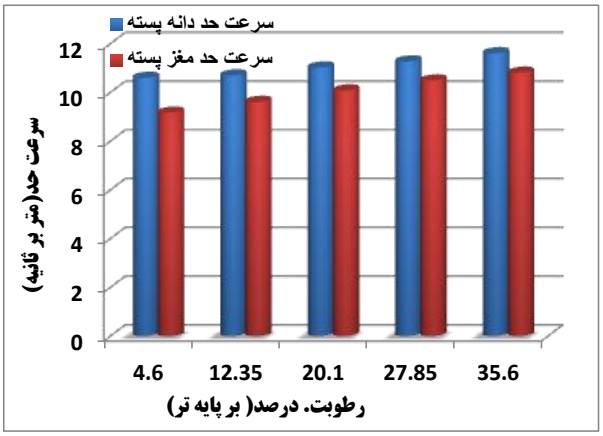
جدول 5- میانگین مربعات حاصل از تجزیه‌ی واریانس داده‌های سرعت حد پسته‌ی رقم احمدآقایی و مغز آن در رطوبت‌های مختلف

منبع تغییرات	درجه‌ی آزادی	سرعت حد پسته	سرعت حد مغز پسته
مابین داده‌های تیمارها	4	0,997**	2,173**
درون داده‌ها	20	0,074	0,104
ضریب تغییرات	—	٪2,44	٪3,21

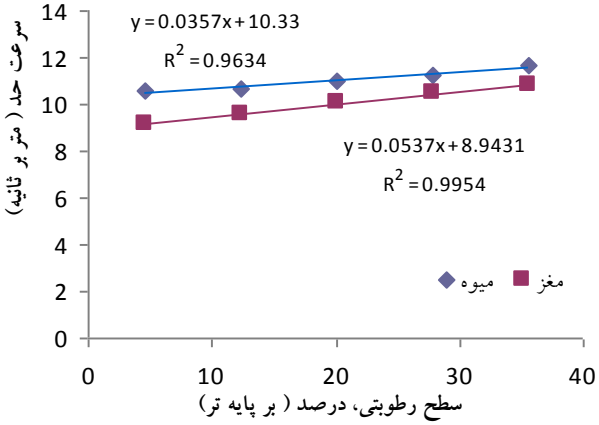
** معنی دار در سطح احتمال 1 درصد

Archive of SID

www.SID.ir



شکل 8- سرعت حد پسته‌ی رقم احمدآقایی و مغز آن را در پنج سطح رطوبتی



شکل 9- تغییرات سرعت حد پسته‌ی رقم احمدآقایی و مغز آن با رطوبت و معادلات رگرسیونی آن‌ها

4- نتیجه گیری

ابعاد اصلی پسته و مغز رقم احمدآقایی و همچنین جرم آن با افزایش رطوبت به صورت معنی داری افزایش پیدا کرد. البته این تأثیر بر عرض دانه‌ی پسته بی‌معنی بود. برای دانه‌ی پسته کرویت تحت تأثیر رطوبت قرار نگرفت اما کرویت مغز پسته با افزایش رطوبت به صورت معنی دار در یک واکنش غیر خطی از 65/81 درصد تا 68/01 درصد افزایش یافت. با افزایش رطوبت خواص ثقلی شامل جرم، دانسیته‌ی واقعی، دانسیته‌ی توده به صورت خطی افزایش پیدا کرد. این در حالی بود که تخلخل به صورت خطی با افزایش رطوبت در پسته و مغز کاهش پیدا کرد. بیش ترین ضریب اصطکاک استاتیکی برای پسته و مغز برای چوب و کم‌ترین آن برای آهن گالوانیزه به دست آمد. سرعت حد پسته و مغز آن با افزایش سطح رطوبت به طور خطی افزایش پیدا کرد و در محدوده‌ی 11/6- 10/59متر بر ثانیه برای پسته و 10/8 – 9/16 متر بر ثانیه برای مغز قرار گرفت.

5- منابع

1- حیدری، ف. و عباسپور، م. 1382. پیش نیاز راهکارهای بهبود روش‌های فرآوری پسته؛ تعیین خصوصیات فیزیکی و مکانیکی آن. *مجموعه مقالات اولین کنفرانس دانشجویی مهندسی ماشین‌های کشاورزی ارومیه*.

2- زابلستانی،م. و طباطبایی‌فر، ا. 1389. اثر رطوبت بر خواص فیزیکی مغز بادام. *مجله‌ی تحقیقات مهندسی کشاورزی*، جلد 11، شماره‌ی 4، 91-102.

3- کرمانی، ع. م. 1387. برخی خواص فیزیکی و مکانیکی فندق و مغز آن . *مجموعه مقالات پنجمین کنگره‌ی ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد*.

4- Aydin, C. 2002. Physical properties of Hazel nuts. Biosystems Engineering, 82: 297-303.

5- Aydin, C. 2003. Physical properties of almond nut and kernel. *Journal of Food Engineering*, 60: 315-320.

6- Bern, C.J., and Charity, L.F. 1975. Air flow resistance characteristics of corn as influenced by bulk density. *ASAE Paper* No.75-3510, St.Joseph, MI.

7- Hsu, R. H., Mannapperuma, J. D., and Singh, R. P. 1991. Physical and Thermal Properties of Pistachios. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 49: 311–321.

8- http:/ www.agrofodnews.com

9- Kashaninejad, M., Mortazavi, A., Safekordi, A., & Tabil, L. G. 2006. Some physical properties of pistachio (Pistacia vera L.) nut and its kernel. *Journal of Food Engineering*, 72, 30–38.

10- Lvin, J. B. 1970. Analytical evaluation of pressures of granular materialson silo walls. *Powder Technology*, 4: 280–285.

11- Mohsenin N. N. 1986. Physical properties of plant and animal materials. New York: Gordon & Breach Science Publishers.

12- Nazari, M., Jafari, A., and Tabatabaeefar, A. 2008. Some physical properties of wild pistachio (*Pistacia vera* L.) nut and kernel as a function of moisture content . *Int. Agrophysics*, 22:117-124.

13- Polat, R., Aydin, C., and Erolak, B. 2007. Some Physical and Mechanical Properties of Pistachio Nut. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 13: 237-246.

Archive of SID

www.SID.ir

14- Razavi, Seyed M. A., Emadzadeh, B., Rafe, A., and Mohammad Amini, A. 2007. The physical properties of pistachio nut and its kernel as a functionof moisture content and variety: Part I. Geometrical properties, *Journal of Food Engineering*, 81: 209–217.

15- Razavi, Seyed M. A., Emadzadeh, B., Rafe, A., & Mohammad Amini, A. 2007. The physical properties of pistachio nut and its kernel as a function of moisture content and variety: Part II. Gravimetrical properties. *Journal of Food Engineering*, 81, 218–225.

16- Razavi, S. M. A., Emadzadeh, B., Rafe, A., & Mohammad Amini, A. 2007. The physical properties of pistachio nut and its kernel as a function of moisture content and variety: Part III: Frictional properties. *Journal of Food Engineering*, 81, 226–235.

Archive of SID

www.SID.ir