

اثر رطوبت بر خواص فیزیکی مغز بادام

مسعود زابلستانی* و سید احمد طباطبایی**

* نگارنده مسئول، نشانی: تبریز، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، ص. پ. ۱۴۱-۵۳۵۵۵، تلفن:

۲۶۶۲۹۹۳ (۰۴۱۲)، پیام‌نگار: zaboolestani@yahoo.com

** به ترتیب: استادیار بخش فنی و مهندسی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی؛ و استاد دانشکده مهندسی فناوری

و کشاورزی دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۱/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۸۹/۷/۱۰

چکیده

در این تحقیق تأثیر میزان رطوبت بر خواص فیزیکی مغز دو رقم بادام (کاغذی و نیمه سنگی) در پنج سطح رطوبتی (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد) بر پایه وزن خشک و هر یک با پنج تکرار با استفاده از آزمون فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش میزان رطوبت از ۵ به ۲۵ درصد بر پایه وزن خشک، چگالی حقیقی در رقم کاغذی از ۸۵۱/۱۲ به ۱۱۳۸/۹۴ کیلوگرم بر متر مکعب، خلل و فرج از ۳۵/۶۹ به ۵۴/۴۵ درصد، سرعت حد از ۴/۸۱ به ۶/۱۸ متر بر ثانیه، ضریب اصطکاک استاتیکی از ۰/۴۷۱ به ۰/۵۹۱ روی سطحی از جنس پلکسی گلاس و از ۰/۴۱۷ به ۰/۵۵۲ روی سطحی از جنس آهن گالوانیزه، مساحت سطح تصویر شده از ۱/۴۵ به ۱/۶۷ مترمربع، زاویه قرارگیری از ۱۸/۲۶ به ۲۷/۵۹ درجه افزایش می‌یابد. برای رقم نیمه سنگی، مقادیر مشابه به ترتیب به این شرح است: از ۸۹۷/۱۸ به ۱۱۲۳/۸۴ کیلوگرم بر متر مکعب، از ۳۲/۰۹ به ۴۷/۲۲ درصد، از ۵/۳۵ به ۶/۵۳ متر بر ثانیه، از ۰/۳۶۸ به ۰/۴۵۸ و از ۰/۳۵۶ به ۰/۴۴۷، از ۱/۳۶ به ۱/۵۳ مترمربع، و از ۱۶/۳۳ به ۲۲/۴۵ درجه. نتایج همچنین نشان می‌دهد که چگالی ظاهری با افزایش میزان رطوبت از ۵ به ۲۵ درصد بر پایه وزن خشک کاهش می‌یابد؛ مقدار کاهش چگالی ظاهری، در رقم کاغذی از ۵۴۷/۲۶ به ۵۱۸/۷۶ و در رقم نیمه سنگی از ۶۰۹ به ۵۹۲/۹۴ کیلوگرم بر متر مکعب است.

واژه‌های کلیدی

بادام کاغذی، بادام نیمه سنگی، مغز بادام، خواص فیزیکی، میزان رطوبت

مقدمه

عملکردی بین ۳۰۷/۶۸ و ۱۵۰۸/۲ کیلوگرم در هکتار است (Anon, 2001)؛ ایران بعد از ایالات متحده آمریکا، اسپانیا، و ایتالیا مقام چهارم تولید را در جهان دارد (Anon, 2007). برای طراحی تجهیزات و ماشین‌های پوست‌کنی، تمیز کردن، انتقال بادی، انبار کردن، هوادهی، سورتینگ، درجه‌بندی، خشک‌کردن، و سایر فرایندهای بادام، تعیین خواص فیزیکی و میزان وابستگی این خواص به رطوبت موجود بادام ضروری است. بررسی خواص فیزیکی بادام محدود است و اطلاعات کافی در مورد ارقام ایرانی موجود نیست. در اینجا به برخی از پژوهش‌های مرتبط با این موضوع اشاره می‌شود.

بادام یکی از قدیمی‌ترین درختان میوه است که بشر از دیر باز از آن بهره گرفته است. تولید بادام به دلیل نیاز اکولوژیک خاصی که دارد، به درنواحی خاصی از جهان محدود شده است. بادام با نام علمی *Prunus amygdalus* متعلق به خانواده Rosaceae و زیر خانواده Prunoideae و بومی نواحی گرم و خشک غرب آسیا، منطقه خاورمیانه و ایران، است (Khatamsaz, 1992). بادام یکی از مهم‌ترین محصولات صادراتی غیر نفتی کشور است و ایران از عمده‌ترین تولیدکنندگان بادام جهان محسوب می‌شود. تولید سالانه بادام در ایران در حدود ۸۹۶۳۷/۴ تن با

آیدین (Aydin, 2003) خواص فیزیکی میوه بادام و مغز آن از جمله ابعاد، میانگین هندسی قطر، جرم و حجم را تعیین کرد. مطالعه او روی بادام‌هایی که دوباره مرطوب شدند نشان داد که با افزایش رطوبت بادام، چگالی ظاهری و مقاومت گسیختگی کاهش ولی چگالی حقیقی، پوروزیته، مساحت سطح تصویر شده و سرعت حد افزایش می‌یابد.

در یک بررسی برای تعیین خواص فیزیکی دانه کلزا اعلام شد که ابعاد، پوروزیته، سطح رویه، وزن هزار دانه، سرعت حد، و ضریب اصطکاک استاتیکی با افزایش رطوبت افزایش ولی چگالی ظاهری و کرویت آن کاهش می‌یابد (Calisir et al., 2004).

در یک آزمایش، برخی خواص فیزیکی دانه تاج‌خروس اندازه‌گیری و نشان داده شد که چگالی حقیقی و ظاهری آن با افزایش رطوبت دانه کاهش و ابعاد، میانگین هندسی قطر، حجم واحد، و پوروزیته افزایش می‌یابد (Abalome et al., 2004).

رجبی‌پور (Rajabipour et al., 2006) تأثیر رطوبت بر سرعت حد گندم را بررسی کرد و نشان داد که با افزایش رطوبت دانه گندم، سرعت حد تمامی ارقام گندم مورد بررسی افزایش می‌یابد.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه برای تمامی آزمایش‌ها از بادام خشک استفاده شد. به منظور بررسی تأثیر رطوبت بر خواص فیزیکی مغز بادام، دو رقم کاغذی و نیمه سنگی از ایستگاه تحقیقات باغبانی شهرستان تبریز تهیه گردید. بادام‌ها پس از تمیز شدن و جدا سازی مواد اضافی، با استفاده از چکش پلاستیکی شکسته و مغزها با دست از پوست جدا شدند.

رطوبت اولیه مغزهای بادام با استفاده از اون تعیین شد. سطوح رطوبت‌های مورد نظر در آزمایش با اضافه کردن مقداری معین از آب مقطر با استفاده از رابطه ۱

در آزمایشی، برخی خواص فیزیکی عدس بررسی و نتیجه گرفته شد که با افزایش رطوبت دانه، دانسیته ظاهری کاهش، ولی پوروزیته، مساحت سطح تصویر شده، سرعت حد، و ضریب اصطکاک استاتیکی و دینامیکی آن روی سه نوع سطح فلزی افزایش می‌یابد (Carman, 1996).

بررسی خواص فیزیکی زیره سبز نشان داده است که با افزایش رطوبت دانه، ویژگی‌های زیره از جمله دانسیته حقیقی، پوروزیته، سرعت حد، زاویه قرارگیری، و ضریب اصطکاک استاتیکی آن روی چهار نوع سطح افزایش ولی دانسیته ظاهری کاهش می‌یابد (Singh & Goswami, 1996).

در یک تحقیق نشان داده شده است که با افزایش رطوبت دانه زیتون تلخ دانسیته ظاهری و حقیقی، پوروزیته و مقاومت گسیختگی به صورت خطی کاهش ولی زاویه قرارگیری و ضریب اصطکاک استاتیکی و دینامیکی روی سطوح مختلف افزایش می‌یابد (Visvanathan et al., 1996). در ارزیابی خواص فیزیکی دانه آفتابگردان نتیجه گرفته شد که با افزایش رطوبت دانه، دانسیته ظاهری کاهش ولی دانسیته حقیقی، پوروزیته، سرعت حد، زاویه قرارگیری، و ضریب اصطکاک استاتیکی افزایش می‌یابد (Gupta & Das, 1997).

در تحقیقی، خواص اصطکاکی دانه سویا بررسی و نتیجه گرفته شد که با افزایش رطوبت دانه، ضریب اصطکاک بین دانه‌ها و ضریب اصطکاک دانه سویا روی سه نوع سطح مختلف در همه شرایط افزایش می‌یابد (Locurto et al., 1997).

خواص فیزیکی Guna seed به صورت تابعی از رطوبت تعیین و نشان داده شد که با افزایش رطوبت، دانسیته حقیقی و ظاهری کاهش ولی پوروزیته و ضریب اصطکاک استاتیکی و ابعاد و حجم و زاویه ریپوز افزایش می‌یابد (Aviara et al., 1999).

تکرار انجام شد.

مساحت سطوح تصویر شده با استفاده از دستگاه جامع تعیین کننده ضرایب فیزیکی محصولات کشاورزی WinArea-UT-06 تعیین شد که اصول کار آن مبتنی بر تکنیک پردازش تصویر است (شکل ۱). با قرار دادن مغزهای بادام در سه وضعیت عمود بر هم و تصویربرداری از آنها با دوربین دیجیتالی و سپس با پردازش تصاویر، مساحت سطوح تصویر شده اندازه گیری شد. سپس میانگین هندسی مساحت‌های به دست آمده محاسبه، و مقادیر به دست آمده در تجزیه و تحلیل‌ها مد نظر قرار گرفت.

چگالی حقیقی از روش نسبت جرم به حجم نمونه به دست آمد و که حجم از طریق مایع جا به جا شده، تولوئن، شد؛ تولوئن جذب دانه نمی‌شود و قدرت حل شدن و تجزیه آن کم و کشش سطحی آن پایین است و می‌تواند روی سطح مغزها به آرامی جریان یابد (Mohsenin, N. 1996; Aviara et al., 1999; Aydin, 2003). چگالی ظاهری از روش نسبت جرم نمونه به حجم کل به دست آمد.

(Tabatabaeefar, 2003) به دست آمد و بادام‌ها جداگانه در نایلون‌هایی سر بسته ریخته شدند و به مدت ۷ روز در یخچال و در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند تا گستره رطوبت یکنواخت‌تر شود (Carman, 1996; Singh & Goswami, 1996; Aydin, 2003).

$$W_a = W_i(M_i - M_f)/(100 - M_i) \quad (1)$$

که در آن، W_a = وزن آب اضافه شده؛ W_i = وزن اولیه نمونه؛ M_i = مقدار رطوبت اولیه؛ و M_f = مقدار رطوبت خواسته شده است.

قبل از شروع آزمایش‌ها، نمونه‌ها از یخچال بیرون آورده شدند و به مدت دو ساعت در معرض هوای آزمایشگاه قرار گرفتند تا با دمای آزمایشگاه به تعادل برسند (Carman, 1996; Singh & Goswami, 1996; Aydin, 2003). آزمایش‌ها برای دو نوع مغز بادام (کاغذی و نیمه سنگی) در پنج سطح رطوبتی (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد) بر پایه وزن خشک و هر یک با پنج



شکل ۱- دستگاه مورد استفاده برای اندازه‌گیری مساحت سطوح تصویر شده

با حجم مشخص ریخته شدند و پس از پرس شدن ظرف وزن آنها، با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم به دست آمد.

نمونه‌ها از ارتفاع یکسان ۱۵ سانتی‌متری به داخل ظرفی (Aydin, 2003; Rajabipour et al., 2006)

که در آن، ρ_t = چگالی حقیقی (کیلوگرم بر متر مکعب)؛ ρ_b = چگالی ظاهری (کیلوگرم بر متر مکعب)؛ و ϵ = خلل و فرج (درصد) است.

برای تعیین سرعت حد، از تونل باد استفاده شد که دارای موتور الکتریکی، فن گریز از مرکز، و کانال تست بود (شکل ۲)؛ این تونل باد دارای کانال تست با سطح مقطع ۲۰ سانتی متر مربع به ارتفاع ۸۰ سانتی متر بود.

برای تعیین خلل و فرج از رابطه ۲ (Visvanathan *et al.*, 1996; Gupta & Das, 1997; Aydin, 2003)، استفاده شد:

$$\epsilon = \frac{\rho_t - \rho_b}{\rho_t} \times 100 \quad (2)$$



شکل ۲- تونل باد مورد استفاده در تحقیق

ابعاد $30 \times 30 \times 30$ سانتی متر تعیین شد. سقف این جعبه باز و یک وجه آن به صورت کشو بود که امکان باز شدن سریع وجود داشت (شکل ۳). بعد از پر کردن جعبه از مغز بادام، کشو به طرف بالا کشیده شد و نمونه‌ها به طرف بیرون جعبه حرکت کردند و سطحی شیبدار به وجود آمد؛ زاویه قرارگیری با اندازه‌گیری ارتفاع و قاعده مثلث قائم‌الزاویه تعیین شد.

نحوه عمل به این صورت بود که نمونه‌ها روی شبکه قرار داده شدند و با افزایش تدریجی سرعت فن نمونه‌ها در یک سطح معین به صورت شناور قرار گرفتند. در آن سطح، سرعت هوا با بادسنج سیم داغ، AM-4204 ساخت کشور تایوان، اندازه‌گیری شد.

زاویه قرارگیری با استفاده از جعبه‌ای مکعب شکل به



شکل ۳- وسیله مورد استفاده برای تعیین زاویه قرارگیری

که نمونه‌ها شروع به حرکت کردند. این لحظه، زاویه φ از روی نقاله مدرج قرائت شد و از رابطه ۳ ضریب اصطکاک استاتیکی به دست آمد (Gupta & Das, 1997; Locurto *et al.*, 1997; Aydin, 2003; Calisir *et al.*, 2004)

$$\mu = \tan \varphi \quad (3)$$

که در آن،

μ = ضریب اصطکاک استاتیکی؛ و φ = زاویه شیب (درجه)

برای تعیین ضریب اصطکاک استاتیکی، μ از دستگاهی استفاده شد که دارای یک صفحه قابل تنظیم برای شیب‌های مختلف بود (شکل ۴). ضریب اصطکاک استاتیکی برای دو نوع سطح، آهن گالوانیزه و پلکسی گلاس، تعیین شد. برای به دست آوردن این ضریب، نمونه‌ها جعبه‌ای مکعب مستطیلی به ابعاد $100 \times 100 \times 30$ سانتی‌متر ریخته شد که سر و ته آن باز بود. جعبه کمی بالا کشیده شد تا با سطح، تماس نداشته باشد. سپس زاویه صفحه قابل تنظیم به همراه جعبه پر از نمونه‌ها که روی آن قرار گرفته بود به تدریج و تا آنجا افزایش یافت،



شکل ۴- وسیله مورد استفاده در تعیین ضریب اصطکاک استاتیکی

چگالی ظاهری

بررسی نتایج به دست آمده نشان داد که از نظر چگالی ظاهری، بین ارقام بادام و سطوح مختلف رطوبت،

نتایج و بحث

داده‌های جمع‌آوری شده در اجرای طرح، با نرم افزار آماری MSTATC تجزیه و تحلیل شد.

می‌یابد. افزایش چگالی حقیقی با افزایش رطوبت را می‌توان به کمتر بودن نسبی حجم حقیقی مغز بادام در مقایسه با جرم نهایی آن بعد از جذب آب نسبت داد. محققان دیگر (Gupta & Das, 1997; Aydin, 2003) نیز افزایش خطی چگالی حقیقی را با افزایش میزان رطوبت به ترتیب برای مغز بادام و مغز دانه آفتابگردان گزارش کرده‌اند. در شکل ۶ مشخص است که با افزایش رطوبت، چگالی حقیقی از ۸۵۱/۱۲ به ۱۱۳۸/۹۴ و از ۸۹۷/۱۸ به ۱۱۲۳/۸۴ کیلوگرم بر مترمکعب به ترتیب برای ارقام کاغذی و نیمه سنگی افزایش یافته است.

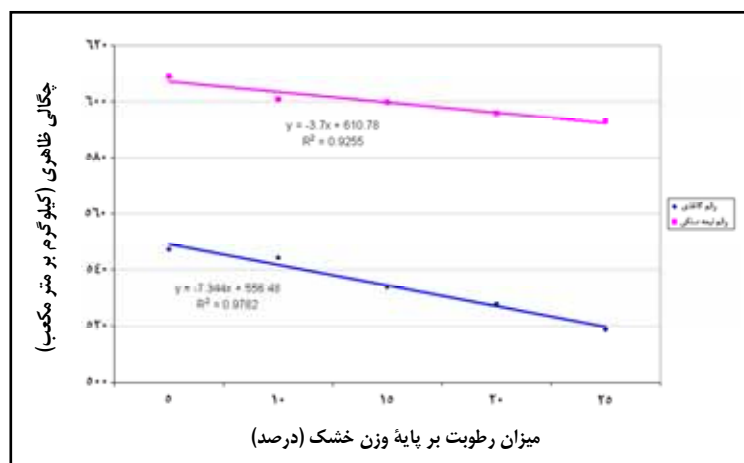
خلل و فرج

ارقام مختلف بادام، سطوح مختلف رطوبت، و اثر متقابل آنها از نظر میزان خلل و فرج در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌داری نشان می‌دهند. در شکل ۷ مشخص است که در ارقام کاغذی و نیمه سنگی، خلل و فرج با افزایش رطوبت به ترتیب از ۳۵/۶۹ به ۵۴/۴۵ و از ۳۲/۰۹ به ۴۷/۲۲ درصد افزایش می‌یابد. همبستگی مثبت خطی بین خلل و فرج و میزان رطوبت را و (Gupta & Das, 1997; Aydin, 2003) به ترتیب برای مغز بادام و دانه آفتابگردان گزارش داده‌اند.

در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد ولی اثر متقابل آنها اختلاف معنی‌داری ندارند که نشان می‌دهد هر دو رقم در برابر افزایش رطوبت عکس العمل یکسانی نشان نداده‌اند (شکل ۵). به طوری که در شکل مشخص است، چگالی ظاهری با افزایش میزان رطوبت از ۵ به ۲۵ درصد بر پایه وزن خشک، در رقم کاغذی از ۵۴۷/۲۶ به ۵۱۸/۷۶ و در رقم نیمه سنگی از ۶۰۹ به ۵۹۲/۹۴ کیلوگرم بر مترمکعب کاهش می‌یابد. این نتایج نشان می‌دهد که هرچه رطوبت مغز بادام بالاتر باشد چگالی ظاهری آن کمتر می‌شود زیرا افزایش جرم در اثر جذب رطوبت کمتر از افزایش جرم حجمی آن است. همبستگی خطی منفی بین چگالی ظاهری و میزان رطوبت را نیز محققان دیگر (Visvanathan *et al.*, 1996; Gupta & Das, 1997; Aydin, 2003; Calisir *et al.*, 2004) هم به ترتیب برای دانه کلزا، مغز بادام، زیتون تلخ و دانه آفتابگردان مشاهده کرده‌اند.

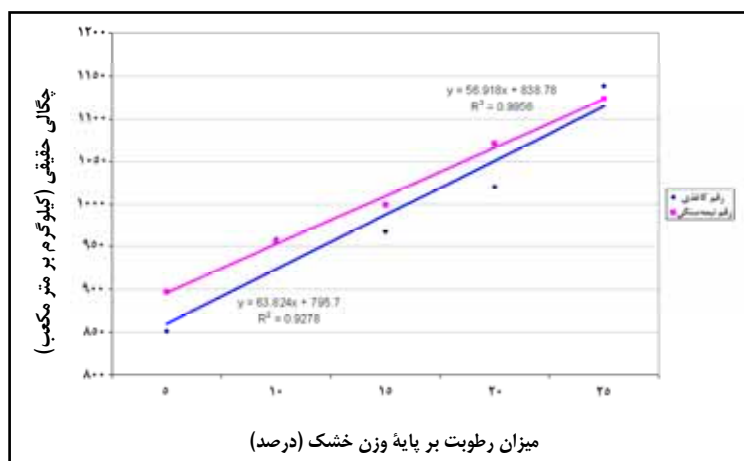
چگالی حقیقی

بین ارقام مختلف بادام، سطوح مختلف رطوبت و اثر متقابل آنها در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد. این نتایج نشان می‌دهد که با افزایش میزان رطوبت، چگالی حقیقی ارقام بادام نیز افزایش

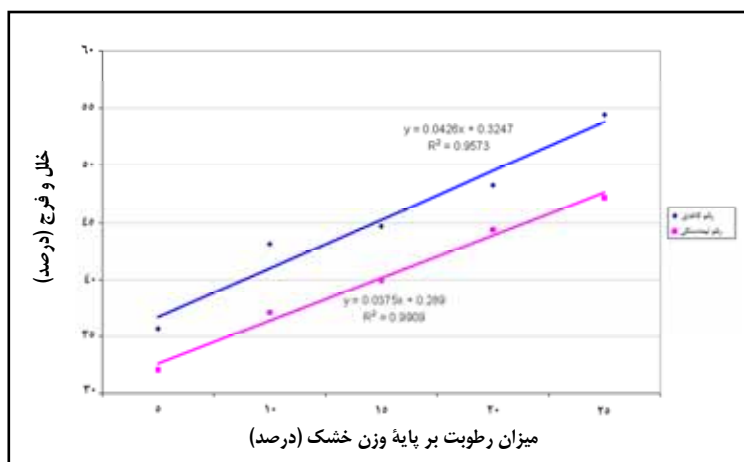


شکل ۵- تأثیر رطوبت بر چگالی ظاهری در مغز دو رقم بادام

اثر رطوبت بر خواص فیزیکی مغز...



شکل ۶- تأثیر رطوبت بر چگالی حقیقی در مغز دو رقم بادام

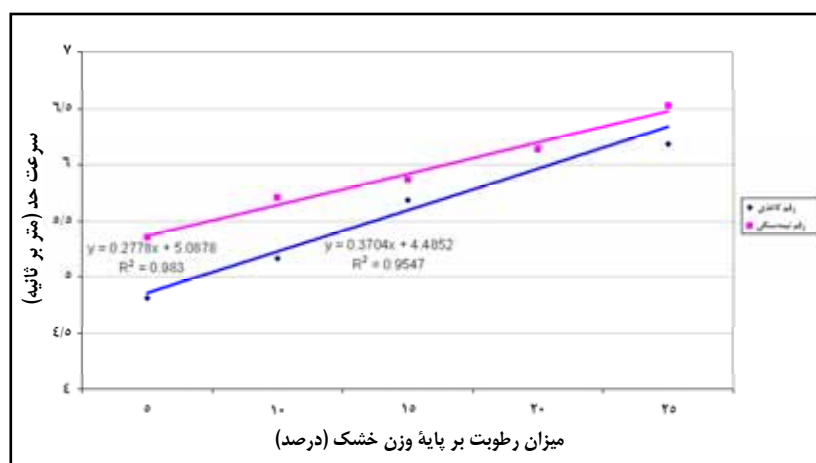


شکل ۷- تأثیر رطوبت بر خلل و فرج در مغز دو رقم بادام

۶/۱۸ و در رقم نیمه سنگی از ۵/۳۵ به ۶/۵۳ متر بر ثانیه افزایش می‌یابد. این نتایج مشابه نتایجی است که (Calisir *et al.*, 2004) برای دانه کلازا؛ (Aydin, 2003) برای مغز بادام؛ (Kural & Carman, 1997) برای محصولات دانه‌ای؛ (Carman, 1996) برای عدس؛ (Singh & Goswami, 1996) برای زیره سبز؛ (Gupta & Das, 1997) برای دانه آفتابگردان؛ و (Nimkar & Chattopadhyay, 2001) برای ماش مشاهده کرده‌اند. افزایش سرعت حد با افزایش رطوبت را می‌توان به افزایش جرم یک مغز بادام در واحد سطحی نسبت داد که در مقابل جریان باد قرار می‌گیرد.

سرعت حد

نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که از نظر سرعت حد، بین ارقام مختلف بادام و سطوح مختلف رطوبت، در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد ولی اثر متقابل آنها اختلاف معنی‌داری ندارد. این امر نشان می‌دهد که نوع رقم و میزان رطوبت مستقل از هم عمل کرده‌اند. نتایج همچنین نشان می‌دهد که در بادام‌ها، مغزهای دارای چگالی حقیقی بیشتر، از سرعت حد بالاتری برخوردارند. در شکل ۸، روند سرعت حد را نشان می‌دهد که با افزایش میزان رطوبت افزایش می‌یابد. با افزایش رطوبت مغز بادام، سرعت حد در رقم کاغذی از ۴/۸۱ به



شکل ۸- تأثیر رطوبت بر سرعت حد در مغز دو رقم بادام

ضریب اصطکاک

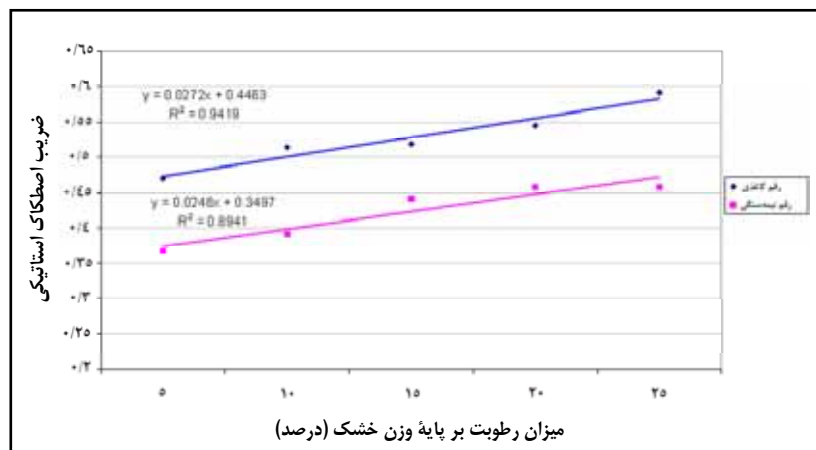
است.

نتایج آزمایش ضریب اصطکاک استاتیکی روی سطح آهن گالوانیزه نشان می‌دهد که رقم و سطوح مختلف رطوبت‌های در مغز بادام، در سطح احتمال ۱ درصد با هم اختلاف معنی‌دار دارند ولی اثر متقابل آنها اختلافی با هم ندارند. با افزایش رطوبت، ضریب اصطکاک استاتیکی آنها روی آهن گالوانیزه از ۰/۴۱۷ به ۰/۵۵۲ (در رقم کاغذی) و از ۰/۳۵۶ به ۰/۴۴۷ (در رقم نیمه سنگی) افزایش می‌یابد (شکل ۱۰). نتایج مشابهی نیز (Calisir *et al.*, 2004) برای دانه کلزا؛ (Aydin, 2003) برای مغز بادام؛ (Carman, 1996) برای عدس؛ (Singh & Goswami, 1996) برای زیره؛ (Gupta & Das, 1997) برای دانه آفتابگردان به دست آورده‌اند.

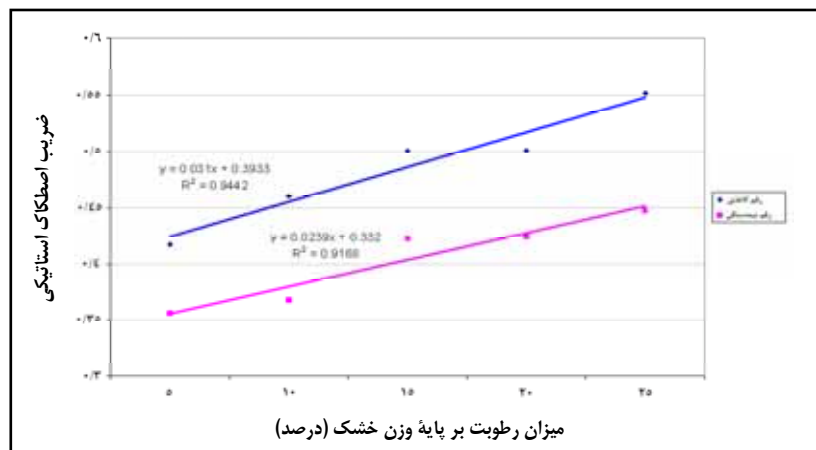
ضریب اصطکاک استاتیکی روی دو سطح، یک از جنس پلکسی‌گلاس و دیگری از جنس آهن گالوانیزه، آزمایش شد.

نتایج آزمایش ضریب اصطکاک استاتیکی روی سطح پلکسی‌گلاس نشان داد که رقم، سطوح مختلف رطوبت در مغز بادام و اثر متقابل آنها، در سطح احتمال ۱ درصد با هم اختلاف معنی‌دار دارند. با افزایش رطوبت مغز بادام، ضریب اصطکاک استاتیکی آنها روی سطح پلکسی‌گلاس از ۰/۴۷۱ به ۰/۵۹۱ (در رقم کاغذی) و از ۰/۳۶۸ به ۰/۴۵۸ (در رقم نیمه سنگی) افزایش می‌یابد (شکل ۹). این افزایش به دلیل افزایش چسبندگی نمونه‌ها به سطح مورد آزمایش در اثر بالا رفتن میزان رطوبت مغز بادام

اثر رطوبت بر خواص فیزیکی مغز...



شکل ۹- تأثیر رطوبت بر ضریب اصطکاک استاتیکی روی سطحی از جنس پلکسی گلاس در مغز دو رقم بادام



شکل ۱۰- تأثیر رطوبت بر ضریب اصطکاک استاتیکی روی سطحی از جنس آهن گالوانیزه در مغز دو رقم بادام

مساحت سطح تصویر شده

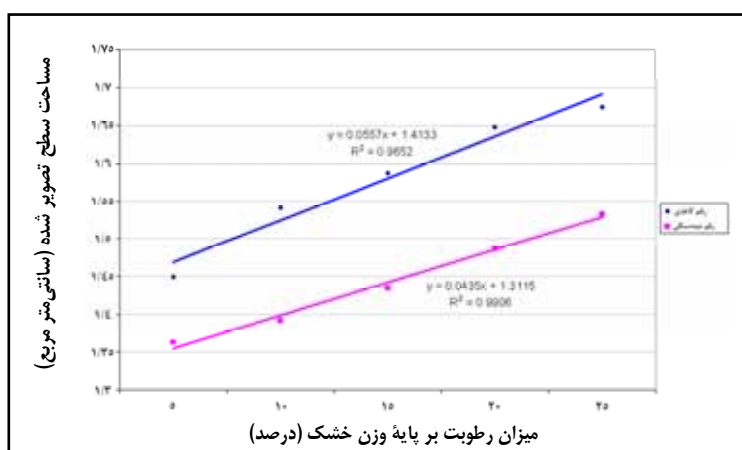
ارقام و سطوح مختلف رطوبت مغز بادام، از نظر مساحت سطح تصویر شده در سطح احتمال ۱ درصد با هم اختلاف معنی دار دارند ولی اثر متقابل آنها اختلافی با هم ندارند. هر چه میزان رطوبت بالاتر رود مساحت سطح تصویر شده بیشتر می شود (شکل ۱۱)؛ این افزایش برای رقم کاغذی از ۱/۴۵ به ۱/۶۷ و برای رقم نیمه سنگی از ۱/۳۶ به ۱/۵۳ مترمربع است. محققان دیگر (Carman, 1996; Aydin, 2003) نیز افزایش خطی

مساحت سطح تصویر شده را با افزایش میزان رطوبت

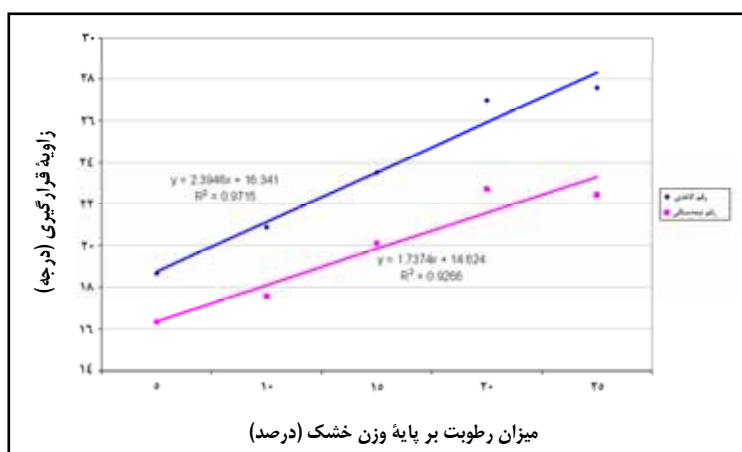
به ترتیب برای مغز بادام و سویا گزارش کردند.

زاویه قرارگیری (زاویه ریپوز)

رقم، سطوح مختلف رطوبت در مغز بادام، و اثر متقابل آنها از نظر زاویه قرارگیری در سطح احتمال ۱ درصد با هم اختلاف معنی دار دارند. شکل ۱۲ نشان می دهد هر چه میزان رطوبت بالاتر رود زاویه قرارگیری هم بیشتر می شود. این افزایش در رقم کاغذی از ۱۸/۲۶ به ۲۷/۵۹ و در رقم نیمه سنگی از ۱۶/۳۳ به ۲۲/۴۵ درجه است.



شکل ۱۱- تأثیر رطوبت بر مساحت سطح تصویر شده در مغز دو رقم بادام



شکل ۱۲- تأثیر رطوبت بر زاویه قرارگیری در مغز دو رقم بادام

نتیجه گیری

نتایج تحقیق نشان داد که افزایش میزان رطوبت از ۵ به ۲۵ درصد باعث افزایش چگالی حقیقی، درصد خلل و فرج، سرعت حد، ضریب اصطکاک استاتیکی، مساحت سطح تصویر شده، و زاویه قرارگیری مغز بادام می شود. همچنین افزایش رطوبت از چگالی ظاهری مغز بادام می کاهد. با توجه به تنوع ارقام بادام، در ایران پیشنهاد می شود ارقام مختلف منطقه و کشور از جمله آذر، حریر، شکوفه، سهند، منقا، و غیره نیز به تفکیک از نظر خواص فیزیکی بررسی و ارزیابی شوند.

دلیل افزایش زاویه قرارگیری با افزایش رطوبت، وجود لایه سطحی رطوبت است که مغز بادام را احاطه می کند ضمن اینکه کشش سطحی ناشی از رطوبت نیز در نگهداری مغزها با همدیگر در داخل توده محصول مؤثر است. محققانی مانند (Singh & Goswami, 1996)، (Visvanathan et al., 1996)، (Gupta & Das, 1997) و (Aviara et al., 1999) نیز به ترتیب برای زیره سبز، دانه زیتون تلخ، دانه آفتابگردان و دانه گونا نتایج مشابهی گزارش داده اند.

- Abalone, R., Cassinera, A., Gaston, A. and Lera M. A. 2004. Some physical properties of amaranth seeds. *Biosyst. Eng.* 89(1):109-117.
- Anon. 2001. *Agricultural Statistical Bulletin. Year 2000-2001. Statistical and Information Department. Bulletin No. 80/03. Ministry of Jihad-e- Agriculture Pub. (in Farsi)*
- Anon. 2007. *Production Year Book. FAO. Vol: 55. Table: 76 .*
- Aviara, N. A., Wardzang, M. I. G. and Hague, M. A. 1999. Physical properties of Guna seeds. *J. Agric. Eng. Res.* 73, 105-111.
- Aydin, C. 2003. Physical properties of almond nut and kernel. *J. Food Eng.* 60, 315-320.
- Calisir, S., Marakoglu, T., Ogut, H. and Ozturk, O. 2004. Physical properties of rapeseed (*Brassica napus oleifera L.*). *J. Food Eng.* 69, 61-66.
- Carman, K. 1996. Some physical properties of lentil seeds. *J. Agric. Eng. Res.* 63, 87-92.
- Gupta, R. K. and Das, S. K. 1997. Physical properties of sunflower seeds. *J. Agric. Eng. Res.* 66. 1-8.
- Khatamsaz, M. 1992. *Flora of Iran No. 6: Rosaceae. Res. Ins. Forests. Rangelands Press. Tehran. (in Farsi)*
- Kural, H. and Carman, K. 1997. Aerodynamic properties of seed crops. *National Symposium on Mechanisation in Agriculture. Tokat. Turkey.*
- Locurto, G. and Zakirov, J. 1997. Soyobean Friction properties. *ASAE Paper No. 97-4108.*
- Mohsenin, N. N. 1996. *Physical Properties of Plant and Animal Materials. 4th Ed. New York. Gordon and Breach Science Publishers.*
- Nimkar, P. M. and Chattopadyay, P. K. 2001. Some physical properties of green gram. *J. Agric. Eng. Res.* 80(2): 183-189.
- Rajabipour, A., Tabatabaeefar, A. and Farahani, M. 2006. Effect of moisture on terminal velocity of wheat varieties. *Inter. J. Agric. Biology.* 1(5).
- Singh, K. K. and Goswami, T. K. 1996. Physical properties of cumin seed. *J. Agric. Eng. Res.* 64, 93-98.
- Tabatabaeefar, A. 2003. Moisture-dependent physical properties of wheat. *Inter. Agrophysics.* 17, 207-211.
- Visvanathan, R., Palanisamy, P., Gothandapani, T. L. and Sreenaryanan, V. V. 1996. Physical properties of neem nut. *J. Agric. Eng. Res.* 63, 19-26.

Effect of Moisture on the Physical Properties of Almond Kernels

M. Zabolestani* and S. A. Tabatabaefar

* Corresponding Author: Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Agriculture and Natural Resources Research Center, P. O. Box: 53555-141, Tabriz, Iran. Email: zabolestani@yahoo.com

This research was conducted with two varieties of almond kernel (thin shell and semi stone shell) for five moisture levels (5%, 10%, 15%, 20%, 25% d.b.) with five replications using completely randomized base factorial design. The results showed increases with increasing moisture content from 5% to 25% for the thin shell almond for the following variables: true density (851.12 to 1138.94 Kg/m³); porosity (35.69 to 54.45%), terminal velocity (4.81 to 6.18 m/s); static friction coefficient on Plexiglas (0.471 to 0.591); static friction coefficient on galvanized iron (0.417 to 0.552); projected area (1.45 to 1.67 m²); repose angle (18.26° to 27.59°). Corresponding values for the semi stone shell almond were: true density (897.18 to 1123.84 Kg/ m³); porosity (32.09 to 47.22%); terminal velocity (5.35 to 6.53 m/s); static friction coefficient on Plexiglas (0.368 to 0.458); static friction coefficient on galvanized iron (0.356 to 0.447); projected area (1.36 to 1.53 m²); repose angle (16.33° to 22.45°). The results also showed that bulk density decreased as moisture content increased from 5% to 25% for the thin shell (547.26 to 518.76) and semi stone shell (609 to 592.94 Kg/m³).

Key Words: Almond Kernel, Physical Properties, Moisture Content, Thin Shell Almond, Semi Stone Shell Almond