

تعیین خواص مکانیکی پسته و مغز آن (رقم احمد آقایی)

محمد غلامی پرشکوهی^{a*}، بهنام گوشکی^b، علی ماشاءاله کرمانی^c، شهرام محسنی^d،
مهرداد سلیمی بنی^b

^a دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تاکستان، گروه ماشین‌های کشاورزی، تاکستان، ایران
^b کارشناس ارشد دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تاکستان، گروه ماشین‌های کشاورزی، تاکستان، ایران
^c استادیار پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، ایران
^d مدرس مرکز آموزش جهاد کشاورزی استان اردبیل، ایران

۲۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۱۲/۲۰

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۱۰/۱۸

چکیده

مقدمه: اطلاع از خواص مکانیکی میوه‌ها در طراحی و بهینه‌سازی سیستم‌های مرتبط با تولید و فرآوری آن‌ها لازم و ضروری است.
مواد و روش‌ها: در این تحقیق خواص مکانیکی پسته و مغز رقم احمدآقایی شامل نیروی گسیختگی، تغییر شکل تا نقطه گسیختگی و انرژی گسیختگی در سه سطح رطوبتی در محدوده رطوبت زمان برداشت تا رطوبت محصول نهایی برای نگهداری (۳۵/۶ درصد، ۲۰/۱ درصد و ۴/۶ درصد بر پایه تر) اندازه‌گیری و محاسبه شد. برای این منظور نمونه‌ها در راستای عرض پسته بین دو صفحه تحت موازی تحت بارگذاری قرار گرفتند.
یافته‌ها: نتایج نشان داد که نیروی گسیختگی، تغییرشکل تا نقطه گسیختگی و انرژی گسیختگی به طور معنی‌داری تحت تأثیر رطوبت قرار می‌گیرند.
نتیجه‌گیری: با افزایش رطوبت از سطح ۴/۶ تا ۳۵/۶ درصد، نیروی گسیختگی از ۱۱۲/۶۶ تا ۶۵/۶۶ نیوتن برای دانه و از ۴۳/۶۷ تا ۳۵/۴۶ نیوتن برای مغز و انرژی گسیختگی از ۱۱۰/۲۱ تا ۹۵/۵۱ میلی ژول برای دانه و از ۲۹/۰۵ تا ۱۹/۵۳ میلی ژول برای مغز کاهش یافت. همچنین تغییر شکل تا نقطه گسیختگی با افزایش رطوبت در محدوده ذکر شده از ۲/۴۵ تا ۳/۴۴ میلی متر برای دانه و ۱/۲۰ تا ۲/۱۷ میلی متر برای مغز افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: انرژی گسیختگی، پسته، تغییر شکل گسیختگی، خواص مکانیکی، نیروی گسیختگی

مقدمه

پسته یکی از تولیدات مهم کشورهای ایران، آمریکا، ترکیه، سوریه و افغانستان می‌باشد. طبق آخرین گزارش سازمان خوار و بار جهانی^۱، ایران در سال ۲۰۰۹ با تولید ۲۵۵ هزار تن پسته مقام اول در تولید این محصول ارزشمند را به خود اختصاص داد (Anonymous, 2010). بر طبق آمار همین سازمان، سطح زیر کشت پسته در ایران در سال ۲۰۰۹ در حدود ۳۷۵ هزار هکتار بود. به همین دلیل در سال‌های اخیر 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 و سود اصلی را کشورهای واسطه می‌برند که با تغییر در بسته‌بندی، محصولات تولیدی را با قیمت گزافی به فروش می‌رسانند. لذا لازم است پژوهش‌گران و محققین جهت بهینه کردن صنعت فرآوری پسته اقدام کنند، تا کماکان جایگاه ویژه ایران در سطح جهانی مستحکم‌تر و پایدارتر باشد. یکی از نیازهای مکانیزه نمودن صنعت فرآوری پسته، طراحی دقیق ماشین‌آلات فرآوری و حمل و نقل می‌باشد که از گام‌های اساسی در این زمینه دانستن خصوصیات گسیختگی پسته و مغز آن می‌باشد (حیدری و عباسپور، ۱۳۸۲). خواص گسیختگی اطلاعات بسیار مفیدی برای طراحی ماشین‌های پوست‌کنی پسته و کوبنده‌های مغز پسته می‌باشد. نیروی گسیختگی، حداقل نیرو را برای پوست‌کنی و کوبیدن نشان می‌دهد. تغییر شکل تا نقطه گسیختگی برای تعیین اندازه فاصله بین سطوح فشرده‌سازی در پوست‌کن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (Polat et al., 2007). در همین راستا دانستن این خصوصیات برای ارقام مختلف پسته که ممکن است از نظر بافت درونی با هم متفاوت باشند، برای طراحی ادوات مربوط به آن رقم بسیار سودمند و مفید می‌باشد.

تحقیقات زیادی در دنیا در زمینه تعیین خواص گسیختگی محصولات مختلف کشاورزی صورت گرفته است. یکی از تحقیقات جامع در این مورد خواص مکانیکی پنج رقم پسته ایرانی (اکبری، بادامی، کله‌قوچی، ممتاز و اوحدی) می‌باشد. این خواص شامل نیروی شکست، انرژی شکست و میزان تغییر شکل تا نقطه شکست، تحت

تعیین خواص مکانیکی پسته و مغز آن

بارگذاری خارجی بودند که در ۴ سطح رطوبتی بین ۴/۶ تا ۳۹/۱ درصد و در سه جهت بارگذاری، در راستای طولی، پهنا و ضخامت تعیین شدند. نتایج تحقیقات نشان داد که نیروی گسیختگی، تغییر شکل تا نقطه گسیختگی و انرژی گسیختگی برای پسته و مغز همه ارقام با افزایش رطوبت کاهش پیدا می‌کند. همچنین تعیین شد که بیشترین نیرو، تغییر شکل و انرژی گسیختگی در همه سطوح رطوبتی برای همه ارقام در بارگذاری طولی و کمترین آن‌ها در راستای پهنا می‌باشد (Nazari et al., 2008). مطالعات دیگر بر روی فندق، تأثیر رطوبت را بر روی خواص گسیختگی تایید می‌کند (Aydin, 2002).

از آنجاییکه تا کنون هیچ گونه تحقیق علمی در مورد ویژگی‌های مکانیکی پسته رقم احمدآقایی صورت نگرفته و با توجه به اینکه رطوبت از عوامل اصلی موثر بر این خواص می‌باشد (Mohsenin, 1986)، لذا در این تحقیق خواص مکانیکی پسته و مغز رقم احمدآقایی را به صورت تابعی از رطوبت در محدوده رطوبت زمان برداشت تا رطوبت نهایی برای نگهداری محصول (۳۵/۶ تا ۴/۶ درصد بر پایه تر) تعیین و مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

- مواد

پسته رقم احمد آقایی یکی از ارقام مهم شهرستان رفسنجان واقع در استان کرمان است که به عنوان نمونه مورد آزمایش ما انتخاب شده است. در حدود ۲۰ کیلوگرم پسته خشک از شهرستان رفسنجان تهیه شد. این پسته‌ها به صورت کاملاً دستی پوست‌گیری و تمام مراحل خشک شدن آن به صورت طبیعی انجام شده است. پسته‌ها بعد از تهیه شدن کاملاً تمیز و مواد زائد آن جدا شد. رطوبت اولیه پسته‌ها با استفاده از روش آن در دمای 103 ± 2 درجه سلسیوس و تا رسیدن به وزن ثابت تعیین شد (Kashaninejad et al., 2006). مقدار رطوبت اولیه پسته در این تحقیق ۴/۶ درصد بدست آمد.

از آنجا که عمل پوست‌گیری در رطوبت برداشت (معمولاً ۳۵ تا ۴۰ درصد) و عمل کوبیدن در رطوبت نگهداری (رطوبت پسته خشک) صورت می‌گیرد، لذا

¹ F.A.O

برای انجام آزمایش‌های خواص گسیختگی برای پسته رقم احمدآقایی از لودسل پنج کیلو نیوتن و برای مغز آن از لودسل ۵۰۰ نیوتن استفاده شد. پسته‌ها و یا مغز آن‌ها با توجه به رطوبت‌هایشان، در بین فک‌های دستگاه قرار داده شدند و در موقعیتی قرار گرفتند که صفحه ثابتی که به لودسل متصل شده است با سرعت ۵ میلی متر بر دقیقه به سمت پسته یا مغز آن حرکت کند و آنقدر فشار وارد کند تا زمانی که گسیختگی رخ دهد و نمودار نیرو تغییر شکل ایجاد شود (Nazari et al., 2009). با توجه به تحقیقات محققین از آنجا که شکست در جهت عرضی زودتر از جهات دیگر رخ می‌دهد، بارگذاری در راستای عرض پسته انجام گرفت (Nazari et al., 2009). این آزمایش در ۳ سطح رطوبتی (۴/۶ درصد، ۲۰/۱ درصد و ۳۵/۶ درصد) برای پسته و مغز انجام شد.

نیروی گسیختگی، نیروی متناظر با نقطه گسیختگی ماده می‌باشد. این نقطه در واقع نقطه‌ای از نمودار نیرو-تغییر شکل می‌باشد که با تغییر شکل ماده نیرو به طور معنی‌داری کاهش پیدا می‌کند. تغییر شکل گسیختگی ماده هم به عنوان تغییر شکل تا نقطه گسیختگی شناخته می‌شود. برای محاسبه انرژی گسیختگی از سطح زیر نمودار نیرو-تغییر شکل تا نقطه گسیختگی استفاده می‌شود.

تجزیه و تحلیل آماری

این آزمایش‌ها در پنج تکرار انجام گرفت. کلیه آزمایش‌ها در آزمایشگاه بخش صنایع غذایی مرکز تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، واقع در کرج انجام گرفت. تجزیه واریانس در قالب طرح بلوک‌های تصادفی با استفاده از نرم‌افزار Spss 18 انجام گرفت.

یافته‌ها

خواص مکانیکی پسته و مغز در سطوح مختلف رطوبتی

در شکل ۲ نمونه‌ای از منحنی نیرو-تغییر شکل برای آزمون فشار بر روی دانه و مغز پسته رقم احمدآقایی نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل نشان داده شده است، نقطه‌ای از منحنی که به طور ناگهانی افت می‌کند،

آزمایش‌های گسیختگی در این تحقیق را در سطوح ۴/۶ و ۳۵/۶ درصد و برای بررسی بیشتر در سطح ۲۰/۱ درصد ما بین این دو سطح انجام شد.

برای به دست آوردن نمونه‌هایی با رطوبت بیشتر، مقدار آب مقطر محاسبه شده طبق رابطه ۱ به آن اضافه شد. سپس نمونه‌ها در ظروف پلاستیکی دربسته قرار گرفتند و در دمای ۵ درجه سلسیوس به مدت ۱۰ روز در یخچال نگهداری شدند تا رطوبت به طور یکنواخت در محصول پخش شود (Kashaninejad et al., 2006).

$$W_2 = W_1 \times \left[\frac{M_2 - M_1}{100 - M_2} \right] \quad (1)$$

که در آن:

W_2 وزن آب اضافه شده (گرم)، W_1 وزن نمونه (گرم)، M_2 رطوبت نهایی (درصد) و M_1 رطوبت اولیه (درصد) می‌باشد.

بیش از شروع آزمایش نمونه‌های مورد نیاز برای هم دما شدن با محیط حداقل ۲ ساعت در دمای محیط قرار گرفتند (Kashaninejad et al., 2006).

تعیین خواص مکانیکی

در این تحقیق خواص مکانیکی پسته و مغز رقم احمدآقایی شامل نیروی گسیختگی، تغییر شکل تا نقطه گسیختگی و انرژی گسیختگی اندازه‌گیری و محاسبه شد. برای تعیین این خواص از ماشین آزمون بافت سنجی محصولات کشاورزی مدل Hounsfield-H5KS ساخت انگلستان استفاده شد (شکل ۱). این ماشین دارای دو فک است، که فک بالایی متحرک و فک پایینی ثابت می‌باشد. حرکت فک بالایی از طریق مکانیزم پیچ‌گوی^۱ و یک موتور تأمین می‌شود. این مکانیزم سرعت جابجایی دقیقی را در محدوده ۰/۰۰۱ تا ۵۰۰ میلی متر بر دقیقه به فک بالایی می‌دهد. نیروی عکس‌العمل وارد بر فک بالایی توسط لودسلی حس شده و به سیستم پردازش داده‌های دستگاه انتقال داده می‌شود. این سیستم به رایانه متصل می‌شود و نمایش داده‌ها به صورت نمودار نیرو-تغییر شکل ذخیره و خروجی به صورت نرم‌افزارهایی نظیر اکسل^۲ و یا به صورت تصویر ارائه می‌شود.

¹ Ball screw

² Excel

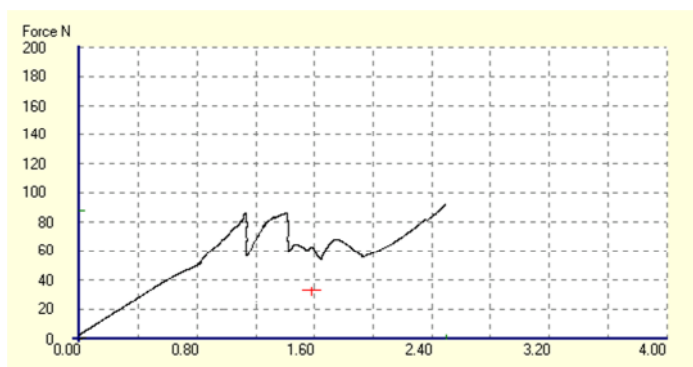
تعیین خواص مکانیکی پسته و مغز آن

ترتیب به عنوان نیروی گسیختگی و تغییر شکل تا نقطه گسیختگی در نظر گرفته شدند. انرژی گسیختگی هم با محاسبه سطح زیر این نمودار تا نقطه گسیختگی بدست آمد.

نقطه گسیختگی نمونه پسته می‌باشد. از این نقطه به بعد نمونه از هم گسیخته شده و در حال له شدن می‌باشد. نیروی متناظر با نقطه گسیختگی بر روی محور عمودی و تغییر شکل متناظر با این نقطه بر روی محور افقی به

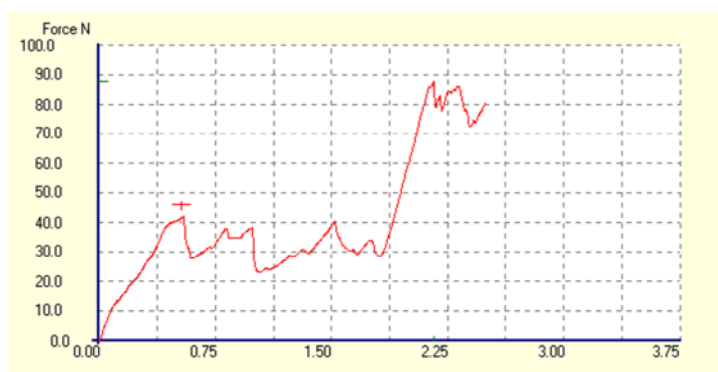


شکل ۱- ماشین آزمون بافت سنجی محصولات کشاورزی



تغییر شکل (میلی متر)

(الف)



تغییر شکل (میلی متر)

(ب)

شکل ۲- منحنی نیرو تغییر شکل برای الف) دانه پسته در رطوبت ۲۰/۱ درصد ب) مغز پسته در رطوبت ۲۰/۱ درصد

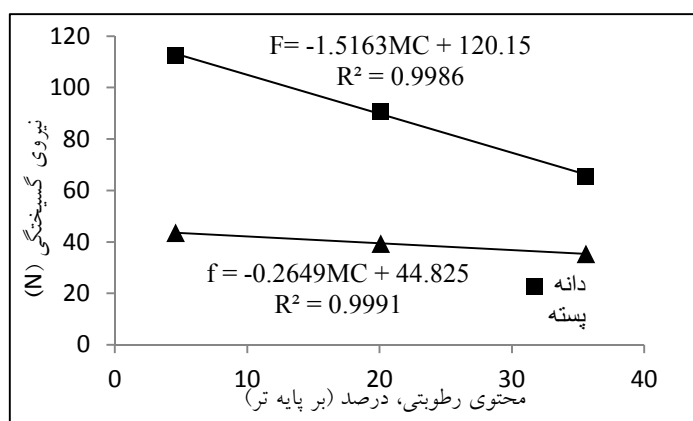
بحث

- نیروی گسیختگی

شکل ۳ نشان دهنده ارتباط بین نیروی گسیختگی دانه و مغز پسته رقم احمدآقایی با سطوح مختلف رطوبتی به همراه معادلات رگرسیونی حاکم بر آنها می باشد. این نمودار و معادلات رگرسیونی نشان می دهد که با افزایش رطوبت، نیروی گسیختگی در راستای پهنای پسته و مغز به صورت خطی با ضریب همبستگی بالا کاهش می یابد.

تجزیه واریانس انجام شده نشان داد که در سطح ۱ درصد، رطوبت تأثیر معنی داری بر نیروی گسیختگی پسته دارد. این در حالی بود که تأثیر رطوبت، مغز پسته را در سطح احتمال ۵ درصد تحت تأثیر قرار می دهد (جدول ۱). این روند تغییراتی نیروی گسیختگی با رطوبت را می توان به این نسبت داد که در واقع در رطوبت های بالاتر

دانه و مغز پسته نرم و ضعیف می شوند و این دلیلی برای کاهش اولیه نیروی گسیختگی می باشد. همچنین شکل ۳ نشان می دهد که نیروی مورد نیاز برای گسیختگی یک دانه پسته بیشتر از نیروی مورد نیاز برای گسیختگی هسته آن است و این ناشی از این است که پوسته سخت و بافت مغز نرم تر است. شکست آسان سلول های مغز ناشی از شکنندگی بیشتر دیواره های سلولی است. ترکیب دیواره سلولی مغز و پوسته میوه متفاوت است. این شکست آسان همچنین می تواند ناشی از چگالی بالای سلول های داخلی مغز نسبت به میوه پسته باشد که اجازه نمی دهد سلول ها تغییر شکل یابند (Vincent, 1990). برای بررسی بیشتر تأثیر رطوبت، نتایج حاصل از مقایسه میانگین نیروی گسیختگی در جدول ۲ ارائه شده است.



شکل ۳- اثر رطوبت بر نیروی گسیختگی دانه و مغز پسته رقم احمدآقایی به همراه معادلات حاکم بر آنها

جدول ۱- تجزیه واریانس نیروی گسیختگی دانه و مغز پسته رقم احمدآقایی در رطوبت های مختلف

منبع تغییرات	درجه آزادی	نیروی گسیختگی دانه پسته	نیروی گسیختگی مغز پسته
رطوبت	۲	۲۷۶۵/۵۸۱**	۸۴/۳۲۸*
خطا	۱۲	۲۲۹/۷۷۹	۱۸/۹۴۴
ضریب تغییرات (C.V)	-	%۱۶/۹	%۱۱/۰۲

**= اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد

*= اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر رطوبت بر نیروی گسیختگی دانه و مغز پسته رقم احمدآقایی

سطح رطوبتی، درصد (بر پایه تر)	نیروی گسیختگی دانه پسته (نیوتن)	نیروی گسیختگی مغز پسته (نیوتن)
۴/۶	۱۱۲/۶۶ ^a	۴۳/۶۷ ^a
۲۰/۱	۹۰/۶۸ ^b	۳۹/۳۶ ^{ab}
۳۵/۶	۶۵/۶۶ ^c	۳۵/۴۶ ^b

*حروف مشابه نشانگر عدم وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد می باشد

تعیین خواص مکانیکی پسته و مغز آن

همان‌طور که در شکل ۴ دیده می‌شود با افزایش رطوبت تغییر شکل تا نقطه گسیختگی به صورت کاملاً خطی افزایش پیدا می‌کند. رابطه مثبت خطی ذکر شده توسط معادلات رگرسیونی در این نمودار آمده است. افزایش رطوبت باعث نرم شدن پوسته سخت پسته و مغز پسته می‌شود و این امر باعث می‌شود برای رسیدن به نقطه گسیختگی تغییر شکل بیشتری حاصل شود.

جدول ۴ مقایسه میانگین مقادیر تغییر شکل گسیختگی پسته و مغز رقم احمدآقایی را به روش چند دامنه‌ای دانکن نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تغییر شکل تا نقطه گسیختگی با افزایش رطوبت از سطح ۴/۶ تا ۳۵/۶ درصد از ۲/۴۵ میلی‌متر تا ۳/۴۴ میلی‌متر برای دانه پسته و از ۱/۲۰ میلی‌متر تا ۲/۱۷ میلی‌متر برای مغز پسته به طور معنی‌داری افزایش پیدا می‌کند. اگرچه مطالعات انجام شده بر روی تغییر شکل گسیختگی پنج رقم پسته تجاری نشان داد که با افزایش رطوبت تغییر شکل تا نقطه گسیختگی به طور معنی‌داری کاهش پیدا می‌کند (Nazari et al., 2008). اما مطالعات زیادی نشان داده است که با افزایش رطوبت تغییر شکل گسیختگی در محصولات کشاورزی مختلف کاهش پیدا می‌کند. از جمله می‌توان به تحقیقات انجام شده برای فندق و مغز رقم قزوینی و دانه برنج اشاره کرد (کرمانی، ۱۳۸۷).

- انرژی گسیختگی

نتایج تجزیه واریانس انجام شده بر روی انرژی گسیختگی پسته و مغز رقم احمدآقایی نشان داد که رطوبت در سطح احتمال ۵ درصد بر انرژی گسیختگی تأثیر معنی‌دار دارد (جدول ۵). این تأثیر رطوبت بر انرژی گسیختگی توسط معادلات رگرسیونی در شکل ۵ نیز نشان داده شده است. همان‌طور که این شکل نشان می‌دهد، با افزایش رطوبت، انرژی گسیختگی به صورت کاملاً خطی با ضریب همبستگی بالا افزایش می‌یابد.

همان‌طور که جدول ۲ نشان می‌دهد، نیروی گسیختگی در محدوده سطح رطوبتی ۴/۶ تا ۳۵/۶ درصد، به طور معنی‌داری از ۱۱۲/۶۶ تا ۶۵/۶۶ نیوتن برای دانه پسته و از ۴۳/۶۷ تا ۳۵/۴۶ نیوتن برای مغز پسته کاهش پیدا می‌کند. این مقادیر در جهت عرض دانه و مغز پنج رقم پسته تجاری ایران در محدوده ۹۸/۴۷ تا ۷۳/۱۲ نیوتن و ۴۰/۱۱ تا ۳۰/۴۴ نیوتن برای دانه و مغز رقم کله قوچی، ۹۰/۳۱ تا ۶۵/۰۳ نیوتن و ۳۷/۲۴ تا ۲۵/۵۷ نیوتن برای دانه و مغز اوحدی، ۸۵/۱۳ تا ۶۴/۴۶ نیوتن و ۳۲/۱۸ تا ۲۷/۱۴ نیوتن برای دانه و مغز رقم ممتاز، ۷۹/۵۹ تا ۶۵/۰۳ نیوتن و ۳۲/۷۱ تا ۲۴/۳۷ نیوتن برای دانه و مغز رقم اکبری و ۷۲/۲۶ تا ۶۱/۹۴ نیوتن و ۲۹/۷۵ تا ۲۳/۰۴ نیوتن برای دانه و مغز رقم بادامی به دست آمده بود (Nazari Galedar et al., 2009). از مقایسه بین نیروی گسیختگی بین رقم احمدآقایی و ارقام تجاری ذکر شده می‌توان نتیجه گرفت که نیروی مورد نیاز برای گسیختگی دانه و مغز رقم احمدآقایی به مراتب بیشتر از دیگر ارقام است. بدون شک بافت سخت‌تر پسته رقم احمدآقایی نسبت به این ارقام می‌تواند دلیل نیروی شکست بیشتر پسته رقم احمدآقایی باشد.

- تغییر شکل تا نقطه گسیختگی

هنگامی که پسته در معرض رطوبت قرار می‌گیرد، تغییراتی در بافت آن صورت می‌گیرد که این تغییرات، بر میزان تغییر شکل تا نقطه گسیختگی بی‌تأثیر نخواهد بود. با انجام تجزیه واریانس بر روی داده‌های به دست آمده از تغییر شکل گسیختگی پسته این نتیجه به دست آمد که رطوبت در سطح احتمال ۵ درصد دانه پسته و در سطح احتمال ۱ درصد مغز پسته را تحت تأثیر قرار می‌دهد (جدول ۳).

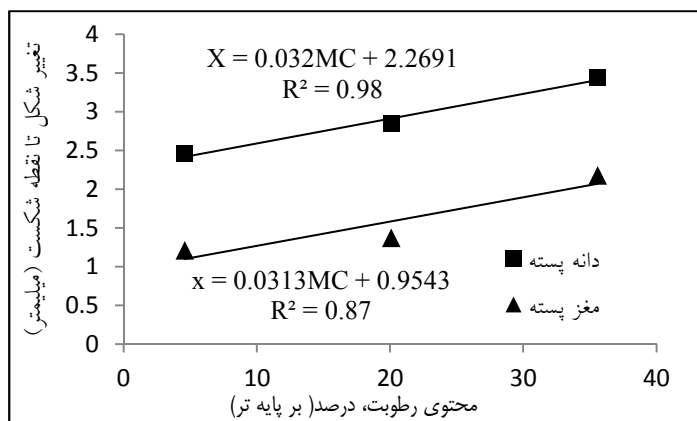
نتایج بررسی چگونگی تأثیر رطوبت بر تغییر شکل تا نقطه گسیختگی از طریق آزمون مقایسه میانگین و نمودار رگرسیونی بین تغییر شکل گسیختگی و محتوی رطوبت به ترتیب در جدول ۴ و شکل ۴ ارائه شده است.

جدول ۳- تجزیه واریانس داده‌های تغییر شکل گسیختگی دانه و مغز پسته رقم احمدآقایی در رطوبت‌های مختلف

منبع تغییرات	درجه آزادی	تغییر شکل گسیختگی دانه پسته	تغییر شکل گسیختگی مغز پسته
رطوبت	۲	۱/۲۴۷*	۱/۳۵۲**
خطا	۱۲	۰/۲۰۸	۰/۰۵۶
ضریب تغییرات (C.V)	-	٪۱۵/۶۸	٪۱۴/۸۸

**= اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

*= اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد



شکل ۴- اثر رطوبت بر تغییر شکل تا نقطه گسیختگی دانه و مغز پسته به همراه معادلات حاکم بر آنها

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر رطوبت بر تغییر شکل تا نقطه گسیختگی دانه و مغز پسته رقم احمدآقایی

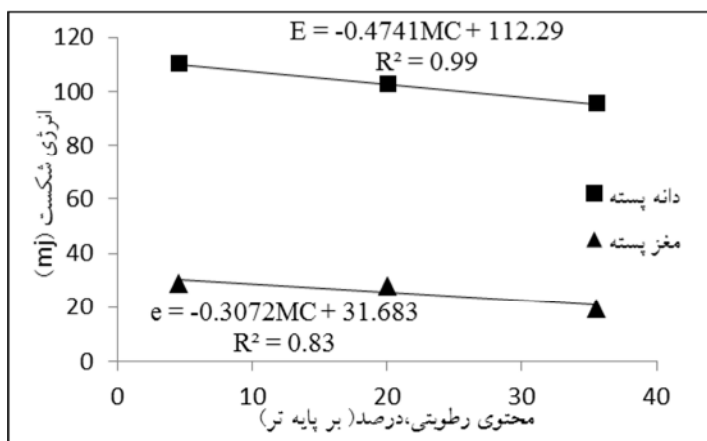
سطح رطوبتی (درصد، بر پایه تر)	تغییر شکل گسیختگی دانه پسته (میلی متر)	تغییر شکل گسیختگی مغز پسته (میلی متر)
۴/۶	۲/۴۵ ^b	۱/۲۰ ^b
۲۰/۱	۲/۸۴ ^{ab}	۱/۳۶ ^b
۳۵/۶	۳/۴۴ ^a	۲/۱۷ ^a

حروف مشابه نشانگر عدم وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد می باشد

جدول ۵- تجزیه واریانس داده‌های انرژی گسیختگی دانه و مغز پسته رقم احمدآقایی در رطوبت‌های مختلف

منبع تغییرات	درجه آزادی	انرژی گسیختگی دانه پسته	انرژی گسیختگی مغز پسته
رطوبت	۲	۲۷۰/۲۱۳*	۱۳۵/۴۳۰*
خطا	۱۲	۶۳/۰۳۲	۳۰/۰۳۶
ضریب تغییرات (C.V)	-	%۷/۷۳	%۲۱/۴۸

*= اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد



شکل ۵- اثر رطوبت بر تغییر انرژی گسیختگی دانه و مغز پسته به همراه معادلات حاکم بر آنها

خطی کاهش داشت. از آنجا که با افزایش رطوبت نیروی مورد نیاز برای شکست کاهش پیدا می کند، بدیهی است که انرژی مورد نیاز شکست هم کاهش می یابد.

جدول ۶ نشان می دهد که با افزایش رطوبت از سطح ۴/۶ تا ۳۵/۶ درصد، میزان انرژی گسیختگی از ۱۱۰/۲۱ میلی ژول تا ۹۵/۵ میلی ژول برای پسته و از ۲۹/۰۵ میلی ژول تا ۱۹/۵ میلی ژول برای مغز به صورت کاملاً

تعیین خواص مکانیکی پسته و مغز آن

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر رطوبت بر انرژی گسیختگی دانه و مغز پسته رقم احمدآقایی

سطح رطوبتی، درصد (بر پایه تر)	انرژی گسیختگی دانه پسته (میلی ژول)	انرژی گسیختگی مغز پسته (میلی ژول)
۴/۶	۱۱۰/۲۱ ^a	۳۹/۰۵ ^a
۲۰/۱	۱۰۲/۵۴ ^{ab}	۲۷/۹۳ ^a
۳۵/۶	۹۵/۵۱ ^b	۱۹/۵۳ ^b

حروف مشابه نشانگر عدم وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد می باشد

منابع

حیدری، ف. و عباسپور، م. (۱۳۸۲). پیش نیاز راهکارهای بهبود روشهای فرآوری پسته، تعیین خصوصیات فیزیکی و مکانیکی آن. مجموعه مقالات اولین کنفرانس دانشجویی مهندسی ماشینهای کشاورزی ارومیه.

کرمانی، ع. م. (۱۳۸۷). برخی خواص فیزیکی و مکانیکی فندق و مغز آن. مجموعه مقالات پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشینهای کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد.

Aydin, C. & Ozcan, M. (2002). Some physico-mechanic properties of terebinth (*Pistacia terebinthus* L.) fruits. *Journal of Food Engineering*, 53: 97-101.

Anonymus. (2010). Food and agriculture organization (FAO), www.FAO.org/statistics.htm

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.

Mohsenin N. N. (1986). *Physical properties of plant and animal materials*. New York: Gordon & Breach Science Publishers.

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

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

Prasad, S. & Gupta, C. P. (1973). Behavior of paddy grains under quasi-static compressive loading. *Transactions of the ASAE* 16 (2), 328-330.

Vincent, J. F. V. (1990). Fracture properties of plants. *Advances in Botanical Research* 17, 235-287.

Zoerb, G. C. & Hall, C. W. (1960). Some mechanical and rheological properties of grains. *Journal of engineering research*. 5: 83-93.

مقادیر انرژی گسیختگی برای ارقام کله قوچی، اوحدی، اکبری، ممتاز و بادامی به ترتیب در محدوده ۱۱۸/۲۹-۱۰۴/۳۳-۱۷۸/۳۷ میلی ژول، ۱۰۱/۳۹-۱۵۷/۴۶ میلی ژول، ۱۰۴/۳۳-۱۳۹/۱۲ میلی ژول، ۹۸/۵۱-۱۴۶/۳۸ میلی ژول و ۹۶/۲-۱۲۴/۵۱ میلی ژول برای دانه و ۴۳/۵۸-۳۴/۴۶ میلی ژول، ۲۸/۷۳-۴۰/۴۸ میلی ژول، ۲۶/۸۲-۳۵/۷۶ میلی ژول، ۲۸/۳۲-۳۵/۷۹ میلی ژول و ۲۴/۷۳-۳۲/۰۱ میلی ژول برای مغز قرار گرفت (Nazari et al., 2008). مقادیر به دست آمده برای دانه و مغز رقم احمدآقایی مورد مطالعه در این تحقیق از مقادیر انرژی گسیختگی برای این ارقام کمتر می باشد که با توجه به روند تغییر شکل گسیختگی برای رقم احمدآقایی و تفاوت آن با این ارقام و همچنین تفاوت بافت درونی ارقام مختلف کمتر بودن انرژی گسیختگی رقم احمدآقایی بر خلاف بیشتر بودن نیروی گسیختگی آن نسبت به سایر ارقام قابل توجیه می باشد.

این نتایج برای رابطه بین انرژی گسیختگی و محتوای رطوبت دانه و مغز پسته رقم احمدآقایی با نتایج مطالعات انجام شده بر روی مغز برنج، دانه و مغز فندق رقم قزوینی کاملاً تطبیق داشت (Prasad and Gupta, 1973).

نتیجه گیری

تغییر محتوای رطوبت خواص گسیختگی دانه و مغز پسته رقم احمدآقایی را به صورت کاملاً معنی داری تحت تأثیر قرار می دهد. نیروی گسیختگی دانه و مغز پسته رقم احمد آقایی با افزایش رطوبت از سطح ۴/۶ تا ۳۵/۶ درصد به میزان ۴۱/۷ درصد برای دانه و ۱۸/۷ درصد برای مغز کاهش پیدا کرد. انرژی گسیختگی نیز با افزایش رطوبت به صورت خطی به مقدار ۱۳/۳ درصد برای دانه و ۳۲/۷ درصد برای مغز کاهش یافت. تغییر شکل تا نقطه گسیختگی روندی متفاوت با افزایش رطوبت از خود نشان داد و با افزایش رطوبت به میزان ۲۸/۷ درصد برای دانه و ۴۴/۷ درصد برای مغز، افزایش نشان داد.