

تعیین ضریب کشسانی ظاهری دانه پسته دهان بسته (۶۳۴)

حسین مقصودی^۱، محمدهادی خوش تقاضا^۲، سعید مینایی^۲

چکیده

ضریب کشسانی ظاهری یکی از خصوصیات مکانیکی مورد نیاز در طراحی و ساخت پسته خندان‌کن‌ها می‌باشد. لذا در این تحقیق ضریب کشسانی دانه پسته دهان بسته به روش هرتز و با استفاده از پارامترهای به دست آمده از بارگذاری شبه استاتیک تعیین شد. ضریب کشسانی ظاهری دانه‌های پسته دهان بسته برای دو رقم اوحدی و بادامی به عنوان تابعی از میزان رطوبت در محدوده بین ۵٪ تا ۲۰٪ بر پایه تر و در ۴ سرعت بارگذاری ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ ارزیابی شد. افزایش سرعت بارگذاری بر روی دانه‌ها افزایش در مقدار ضریب کشسانی ظاهری دانه‌ها را نشان داد. همچنین با افزایش رطوبت از ۵ تا ۲۰٪ مقدار این ضریب در هر دو رقم کاهش داشت که بیانگر کاهش خصوصیات الاستیک دانه‌ها و افزایش رفتار ویسکوالاستیک آنها می‌باشد.

کلید واژه: پسته دهان بسته، ضریب کشسانی ظاهری، میزان رطوبت، سرعت بارگذاری

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشیار گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه

پسته‌ای که هم‌اکنون در دسترس است به نام *Pistacia vera L.* از خانواده *Anacardiaceae* تنها گونه تجارتي و قابل خوردن است که بین یازده گونه دیگر شناسایی شده است. پسته میوه‌ای است شامل یک مغز (هسته) که در یک غشاء سخت و استخوانی به نام پوست درونی و یک پوست نرم و گوشتی به نام پوست بیرونی پوشیده شده است. خندان بودن پسته یکی از ویژگی‌های اصلی آن است که صرفنظر از سایر ویژگیها به تنهایی تأثیر قابل ملاحظه‌ای در تعیین قیمت آن در تجارت بین‌المللی دارد. خندان کردن مصنوعی پسته‌های دهان بسته از دیرباز مورد توجه بوده و برای این منظور روشها و وسایل گوناگونی اعم از روشهای دستی یا مکانیکی (با دستگاهها و خطوط مکانیزه پسته خندان کن) مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

بارگذاری شبه استاتیک معمولاً بیانگر ویژگی‌های مقاومتی و خواص مکانیکی نمونه مورد آزمایش خواهد بود، لذا اطلاعاتی که از منحنی نیرو-تغییر شکل استخراج می‌گردد، نه تنها برای بررسی اثر رطوبت و ارقام مختلف بر روی خواص مکانیکی مفید است، بلکه می‌تواند در طراحی و بهینه‌سازی ماشین‌های فرآوری، همچون ماشین‌هایی که در فرآیند خندان کردن پسته‌های دهان بسته استفاده می‌شوند، مورد بهره‌برداری قرار گیرد. بر این اساس هدف از آزمایش این بخش رسم منحنی‌های نیرو-تغییر شکل دانه پسته به روش بارگذاری بین دو صفحه موازی به منظور خندان کردن و تعیین پارامترهای مکانیکی آن برای تعیین ضریب کشسانی می‌باشد.

تعیین ضریب کشسانی محصولات کشاورزی، معمولاً به دلیل شکل پیچیده و نیز ساختمان داخلی ناهمگن آن کار ساده‌ای نمی‌باشد. البته کاربرد تئوریهای الاستیسیته تا حدودی این مشکلات را رفع نموده و در این راستا تحقیقات زیادی برای تعیین ضریب کشسانی محصولات دانه‌ای صورت گرفته است. لمی‌رغم آنکه محصولات دانه‌ای دارای خاصیت ویسکوالاستیک هستند، یعنی دارای بخشی از خواص ویسکوز و بخشی از خواص الاستیک می‌باشند، ولی در صورتیکه نیروی وارده به دانه کم و در مدت زمان اندک به آن وارد شود، می‌توان رفتار الاستیک برای آن در نظر گرفت. در این صورت می‌توان این حالت را در رفتار خطی نمودار نیرو-تغییر شکل دانه در بارهای کم مشاهده نمود. بنابراین می‌توان کاربرد تئوریهای الاستیسیته را برای مواد کشاورزی قابل قبول دانست [۶]. نتیجه تحقیقات انجام شده در این زمینه نیز بیانگر کاربرد موفقیت آمیز روشهای مهندسی بر روی مواد کشاورزی می‌باشد.

اندازه‌گیری ضریب کشسانی ظاهری توسط محققین زیادی برای مواد دانه‌ای انجام گرفته که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود. Bargale و همکاران برای عدس [۲]، شلف و محسنین برای گندم [۶]، فوتز و همکاران برای سورگوم و سویا [۴] و Bargale و Irudayaraj برای جو [۳]، مقدار این ضریب را با استفاده از روش استاندارد ذکر شده توسط ASAE محاسبه گردید.

مواد و روشها

انتخاب، نگهداری و آماده‌سازی نمونه‌ها

با بررسی اولیه بر روی ارقام مختلف پسته، دو رقم بادامی و اوحدی که به طور گسترده‌ای در ایران کشت می‌شود، انتخاب شد. این ارقام در سال ۱۳۸۵، به میزان ۱۰ کیلوگرم برای هر رقم، به صورت تصادفی تهیه شد. سپس دانه‌ها به صورت دستی پوست‌گیری شدند (جداسازی پوست سبز) تا از اعمال فشارهای مکانیکی توسط ماشین آلات فرآوری بر نمونه‌ها جلوگیری شود. برای انجام آزمایش کلیه دانه‌های دهان بسته به صورت دستی از دانه‌های خندان جدا شدند.

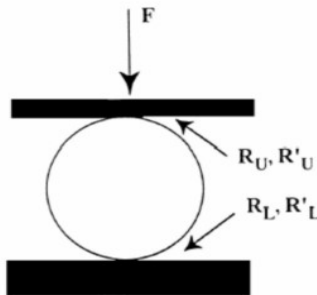
رطوبت اولیه پسته‌های دهان بسته (ارقام مذکور) به روش وزنی اندازه‌گیری شد. بر این اساس قبل از انجام آزمایشات، مقدار معینی از نمونه‌ها (۳ تا ۵ گرم) در دمای $20 \pm 10.3^{\circ}\text{C}$ حدود ۳ ساعت (تا زمانیکه تغییرات بین ۲ مرحله متوالی توزین نمونه‌ها بسیار کم و ناچیز شود) درون آن قرار گرفته و بر اساس روش استاندارد وزنی مقادیر رطوبت اولیه هر یک از ارقام اندازه‌گیری شد [۵]. در نتیجه رطوبت اولیه ارقام اوحدی و بادامی به ترتیب $4/87\%$ و $4/63\%$ بر پایه تر به دست مد. سپس نمونه‌ها به وسیله آب مقطر به رطوبت‌های ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰٪ بر پایه تر که رطوبتهای کاربردی برای نگهداری و فرآوری دانه‌های پسته می‌باشند، رسیدند. مقدار آب مقطر مورد نیاز از رابطه زیر محاسبه گردید:

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

که در این رابطه W_1 و W_2 به ترتیب وزن نمونه و وزن آب مقطر بر حسب گرم و M_1 و M_2 به ترتیب میزان رطوبت نهایی و ابتدایی بر پایه تر می باشند.

استفاده از تئوری هرتز برای اشکال محدب

تئوری هرتز سالهاست که به عنوان مبنایی برای تعیین ضریب کشسانی مواد دانه ای به کار می رود. از آنجاییکه روش هرتز نسبت به روشهای دیگر با حالات واقعی بارگذاری منطبق تر است، لذا قابل اعتمادتر نیز می باشد. این تئوری متناسب با نحوه بارگذاری نیرو و شکل محصول روابط مربوطه ارائه شده است [۱]، که بارگذاری شبه استاتیک بوسیله دستگاه آزمون مواد با نام H50 K-S ساخت شرکت هانسفیلد کشور انگلستان انجام شد. در این روش نمونه تحت آزمایش از دانه دست نخورده و سالم انتخاب می شود و سپس با قرار دادن آن بین دو صفحه موازی نیرو با سرعت ثابت اعمال می شود (شکل ۱).



شکل ۱: نحوه بارگذاری نمونه های محدب در بین دو صفحه موازی [۱]

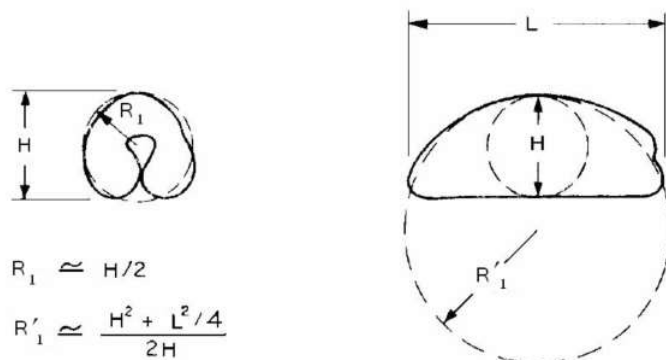
با استفاده از تئوری هرتز، ضریب کشسانی دانه برای این حالت، با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می شود:

$$E = \frac{0.338K^{\frac{3}{2}}F(1-\alpha^2)}{D^{\frac{3}{2}}} \left[K_U \left(\frac{1}{R_U} + \frac{1}{R'_U} \right)^{\frac{1}{3}} + K_L \left(\frac{1}{R_L} + \frac{1}{R'_L} \right)^{\frac{1}{3}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

در حالیکه R_U و R'_U شعاع انحنای نمونه های منحنی شکل در نقطه تماس با صفحه بالایی، R_L و R'_L شعاع انحنای نمونه های منحنی شکل در نقطه تماس با صفحه پایینی، R_U و R_L شعاع انحنای مینیمم در نقطه تماس و R'_U و R'_L شعاع انحنای ماکزیمم در نقطه تماس می باشند. همچنین در رابطه فوق K_U و K_L عواملی بدون بعد هستند که به خصوصیات هندسی دو جسم تحت تماس بستگی داشته و بصورت تابعی از $\cos \theta$ ، (رابطه ۳) تعیین می گردد:

$$\cos \theta = \frac{\left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R'_1} \right]}{\left[\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R'_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R'_2} \right]} \quad (3)$$

که در این رابطه R_1 و R'_1 عبارتند از شعاع‌های انحنای کوچک و بزرگ سطح محدب جسم که برای دانه مانند شکل ۲، با کمک ابعاد سه‌گانه نمونه قابل محاسبه است و همچنین R_2 و R'_2 شعاع‌های انحنای کوچک و بزرگ سطح فشاردهنده می-باشند [۱].



$$R_1 \approx H/2$$

$$R'_1 \approx \frac{H^2 + L^2/4}{2H}$$

L = قطر بزرگ دانه

H = میانگین قطر کوچک و متوسط دانه

شکل ۲: تخمین شعاع انحنای کوچک (R_1) و بزرگ (R'_1) دانه بر اساس ابعاد دانه [۱]

در این تحقیق با انجام آزمون آماری فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اثرات رقم در دو سطح (اوحدی و بادامی)، رطوبت دانه در ۴ سطح (۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد بر پایه تر) و سرعت بارگذاری در ۴ سطح (۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ mm/min) بر ضریب کشسانی ظاهری دانه تحت اثر نیروهای شبه استاتیک مطالعه شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مربوط به اثرات رقم، سرعت بارگذاری و میزان رطوبت و اثرات متقابل این فاکتورها بر روی ضریب کشسانی ظاهری دانه‌های پسته دهان بسته نشان داد که هر یک از این پارامترها به تنهایی اثر بسیار معنی‌داری بر روی میزان پارامتر مذکور داشته (در سطح ۰/۰۱) و همچنین اثر متقابل سرعت بارگذاری، میزان رطوبت نیز بسیار معنی‌دار بود (جدول ۱). مقادیر ضریب کشسانی ظاهری در رطوبت و سرعت‌های مختلف در جدول ۲ و همچنین روابط رگرسیونی مربوطه برای تخمین مقدار ضریب کشسانی ظاهری در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۱: نتایج تجزیه واریانس ضریب کشسانی پسته دهان بسته

متغیر	درجه آزادی	M.S (میانگین مربعات)
رقم	۱	۲۱۶۴۹۴۰۸**
سرعت بارگذاری	۳	۱۷۸۹۷۶**
میزان رطوبت	۳	۱۵۵۵۲۰**
رقم × سرعت	۳	۰/۰۰۰ n.s
رقم × رطوبت	۳	۰/۰۰۰ n.s
سرعت × رطوبت	۹	۸۸۹۹**
رقم × سرعت × رطوبت	۹	۰/۰۰۰ n.s
خطا	۲۸۹	۸۲۵

** معنی‌دار در سطح ۱٪
* معنی‌دار در سطح ۵٪
n.s معنی‌دار نیست.

جدول ۲: مقادیر ضریب کنسسانی ظاهری (MPa) در رطوبت و سرعت های مختلف

رقم	سرعت (mm/min)	رطوبت (%w.b.)			
		۵	۱۰	۱۵	۲۰
اوحدی	۱۰	۲۴۷/۱۸±۱۸/۹۲	۲۳۵/۴۵±۲۴/۳۹	۲۰۶/۰۹±۲۳/۲۲	۱۸۷/۸۱±۲۶/۵۲
	۲۰	۲۸۵/۲۷±۲۰/۷۶	۲۵۶/۲۷±۲۸/۰۴	۲۴۲/۵۴±۲۸/۵۹	۲۱۹/۰۹±۳۰/۸۹
	۳۰	۳۵۵/۱۸±۳۷/۵۲	۲۸۴/۱۸±۳۱/۵۶	۲۷۱/۵۴±۲۷/۳۲	۲۳۳/۴۵±۳۳/۳۷
	۴۰	۴۱۲/۷۲±۲۲/۲۱	۳۲۶/۲۷±۳۱/۲۵	۲۹۳/۳۶±۳۳/۸۱	۲۶۲/۵۴±۳۳/۷۵
بادامی	۱۰	۷۴۳/۳۶±۱۶/۷۰	۷۳۱/۳۷±۲۵/۶۸	۷۰۲/۱۸±۲۴/۴۷	۶۸۳/۹۰±۲۷/۹۳
	۲۰	۷۸۱/۳۶±۲۱/۹۳	۷۵۲/۵۴±۲۹/۷۵	۷۳۸/۸۱±۲۹/۵۸	۷۱۴/۹۰±۳۲/۶۹
	۳۰	۸۵۱/۳۶±۳۹/۶۱	۷۸۰/۰۹±۳۳/۰۶	۷۶۷/۸۱±۲۸/۶۳	۷۲۹/۶۳±۳۵/۵۶
	۴۰	۹۰۸/۹۰±۳۵/۶۳	۸۲۲/۴۵±۳۵/۵۵	۷۸۹/۴۵±۳۳/۰۱	۷۵۸/۶۳±۳۳/۵۵

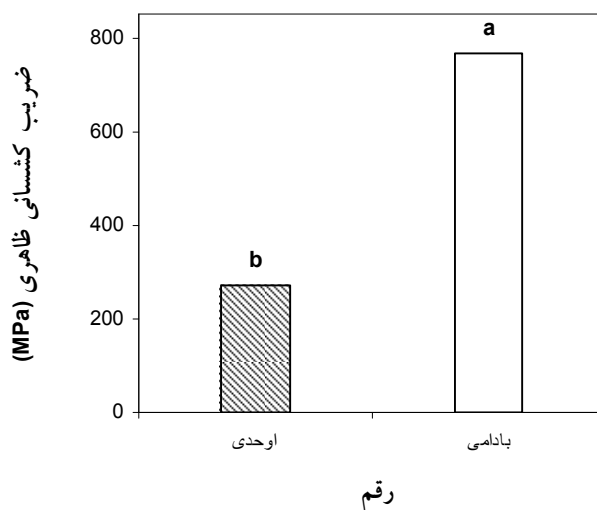
جدول ۳: روابط رگرسیونی ضریب کنسسانی ظهري (MPa) در رطوبت های مختلف

رقم	سرعت بارگذاری (mm/min)	R ²	ضریب کنسسانی (MPa)
اوحدی	۱۰	۰/۹۷	$E = -۴/۱۵M_C + ۲۷۱$
	۲۰	۰/۹۸	$E = -۴/۲۴M_C + ۳۰۳/۸۶$
	۳۰	۰/۹۲	$E = -۷/۵۶M_C + ۳۸۰/۵۵$
	۴۰	۰/۹۳	$E = -۹/۶۷M_C + ۴۴۴/۵۹$
بادامی	۱۰	۰/۹۷	$E = -۴/۱۵M_C + ۷۶۷/۰۹$
	۲۰	۰/۹۸	$E = -۴/۲۶M_C + ۸۰۰/۱۸$
	۳۰	۰/۹۲	$E = -۷/۵۵M_C + ۸۷۶/۵۹$
	۴۰	۰/۹۳	$E = -۹/۶۷M_C + ۹۴۰/۸۲$

$$M_c = \text{میزان رطوبت (\%w.b.)}$$

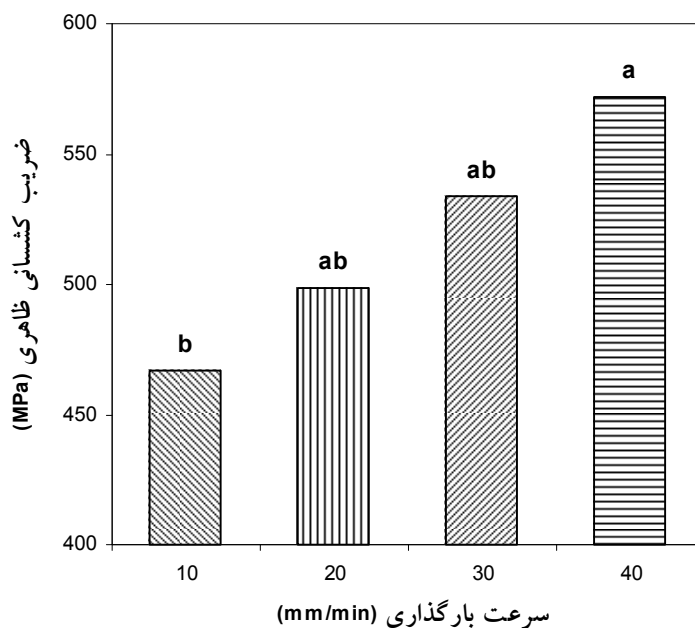
$$E = \text{ضریب کنسسانی ظاهری (MPa)}$$

با توجه به نتیجه آزمون t برای میانگین ها مشاهده گردید که رقم بادامی مقدار ضریب کنسسانی ظاهری بیشتری (MPa) (۷۶۵/۹۴) نسبت به رقم اوحدی (۲۶۹/۹۴ MPa) داشت (شکل ۳).



شکل ۳: میزان ضربه کشسانی ظاهری بسته دهان بسته در رقم اوحدی و دامی

همچنین نتایج آزمون چند دامنه‌ای دانکن نشان داد که بیشترین ضربه کشسانی (۵۷۱/۷۳ MPa) در سرعت ۴۰ mm/min بوده که در کلاس a قرار گرفت و کمترین اثر بر ضربه کشسانی را سرعت ۱۰ mm/min با میانگین MPa ۴۶۷/۱۴ داشته است که در کلاس کمترین b قرار گرفت (شکل ۴). هنگامی که سرعت بارگذاری افزایش پیدا می‌کند، نمونه‌ها در جابجایی کمتر نیازمند مقدار نیروی بیشتری برای خندان کردن می‌باشند، لذا شیب منحنی (نسبت F/D در رابطه ۲) افزایش پیدا کرده و چنانچه در نمودار زیر مشاهده می‌گردد، باعث افزایش ضربه کشسانی ظاهری دانه‌ها می‌گردد.

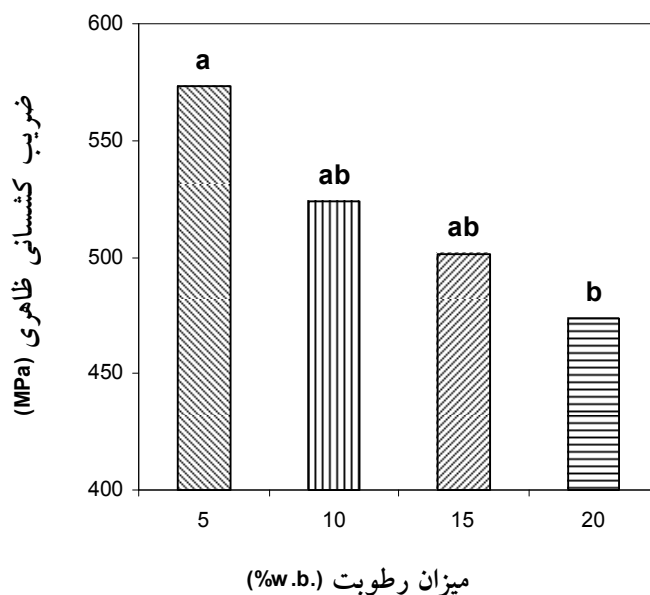


شکل ۴: تأثیر سرعت بارگذاری بر ضربه کشسانی ظاهری

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در رطوبت ۵٪ (کلاس a) بیشترین مقدار ضربه کشسانی ظاهری (۵۷۳/۰۹ MPa) و در رطوبت ۲۰٪ (کلاس b) کمترین مقدار ضربه کشسانی ظاهری (۴۷۳/۷۳ MPa) مورد نیاز بوده است. به دلیل اینکه در

رطوبت‌های بالا پوست پسته‌های دهان بسته بسیار نرم و شکننده است و به راحتی شکسته می‌شود، شیب منحنی نیرو-تغییر شکل کاهش پیدا کرد. بنابراین به وضوح از نمودار مربوطه قابل مشاهده است که با افزایش رطوبت از ۵٪ به ۲۰٪ میزان ضریب کشسانی ظاهری برای دانه به طور معنی‌داری کاهش یافته است (شکل ۵).

همچنین بررسی اثرات متقابل میزان رطوبت با سرعت بارگذاری نشان داد که بیشترین میزان ضریب کشسانی ظاهری برای رطوبت ۵٪ و سرعت ۴۰ mm/min بوده و نیز رطوبت ۲۰٪ و سرعت ۱۰ mm/min دارای کمترین ضریب کشسانی ظاهری (۴۳۵/۸۲ MPa) می‌باشد.



شکل ۵: تأثیر میزان رطوبت بر ضریب کشسانی ظاهری

نتایج

نتایج تجزیه واریانس مربوط به اثرات رقم، سرعت بارگذاری و رطوبت و اثرات متقابل این فاکتورها بر روی ضریب الاستیسیته ظاهری دانه‌های پسته دهان بسته نشان داد که هر یک از این پارامترها به تنهایی اثر بسیار معنی‌داری بر روی پارامتر مذکور داشته و همچنین اثر متقابل سرعت بارگذاری، رطوبت نیز معنی‌دار بود. کمترین مقدار ضریب کشسانی در رقم اوحدی برای سرعت ۱۰ mm/min و رطوبت ۲۰٪ به میزان ۱۸۷/۸۱ MPa و بیشترین مقدار ضریب کشسانی در رقم بادامی برای سرعت ۴۰ mm/min و رطوبت ۲۰٪ به میزان ۹۰۸/۹۰ MPa به دست آمد.

مقادیر ضرایب کشسانی میانگین نشان داد که افزایش رطوبت از ۵ تا ۲۰٪ باعث کاهش مقدار این ضریب در هر دو رقم شده که بیانگر کاهش خصوصیات الاستیک دانه‌ها و افزایش رفتار ویسکوالاستیک آنها می‌شد.

افزایش سرعت بارگذاری بر روی دانه‌ها با افزایش در مقدار ضریب کشسانی ظاهری دانه‌های پسته دهان بسته همراه

شد.



منابع

1. **ASAE**, (2004). ASAE Standard, S368.4. compression test of food materials of convex shape. American Society of Agricultural Engineering, 585-592.
2. **Bargale, P. C., Irudayaraj, J. and Marquist, B.** (1994). Some mechanical properties and stress relaxation characteristics of lentils. Canadian Agricultural Engineering. **36**(4), 247-254.
3. **Bargale, P. C. and Irudayaraj, J.** (1995). Mechanical strength and rheological behavior of barley kernels. Journal of Food Science and Technology., **30**, 609-623.
4. **Foutz, T. L., Thompson, S. A., and Evans, M. D.** (1993). Comparison loading response of paked grain and individual kernels. Transactions of the ASAE., **36**(2), 569-576.
5. **Razavi, S. M. A. and Taghizadeh, M.,** (2007). The specific heat of pistachio nuts as affected by moisture content, temperature, and variety. Journal of Food Engineering, **79**, 158-167.
6. **Shelef, L. and N. N. Mohsenin** (1969). Effect of moisture content on mechanical properties of shelled corn. Cereal Chemistry 46(3), 242-253.