

## بررسی اثر دمای نگهداری روی برخی از خصوصیات مکانیکی مغز پسته

معصومه علی بابا، احمد غضنفری مقدم\* و علی رجبی پور\*\*

\* نگارنده مسئول، نشانی: کرمان، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ص. پ. ۷۶۱۶۹۱۳۳، تلفن: ۰۲۶۲۶۰۳۲۰۳۲۱، پیام‌نگار: ghazanfari@mail.uk.ac.ir  
\*\* به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد؛ دانشیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان؛ و دانشیار گروه مهندسی و فناوری دانشکده پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران  
تاریخ دریافت: ۸۸/۸/۵؛ تاریخ پذیرش: ۸۹/۶/۶

### چکیده

دانه پسته پس از انبارداری در حین حمل و نقل تحت تأثیر نیروهای مختلفی قرار می‌گیرد و صدمات مکانیکی مختلفی از جمله شکستگی، ترک خوردگی، و خراشیدگی در مغز آنها به وجود می‌آید. خصوصیات مکانیکی مغز پسته در شدت صدمات وارده به آن مؤثرند و این خصوصیات خود تابع شرایط نگهداری پسته در انبار خواهد بود. در این پژوهش، اثر چهار دمای ۲۵، ۵، ۰ و -۱۵ درجه سانتی‌گراد بر خصوصیات مکانیکی مغز پسته بررسی شد. در آزمایش‌های انجام شده برای هر دما، دانه‌های پسته در کیسه‌های پلاستیکی به مدت سه ماه در انبار نگهداری شد و سپس تحت آزمون‌های ماندگاری، ضربه، فشار، و خردشدگی قرار گرفت. تجزیه و تحلیل نتایج نشان دادند که دماهای زیر صفر درجه سانتی‌گراد باعث حفظ پوسته سطحی مغز پسته می‌شوند و از صدمات ماندگاری آن می‌کاهند، ولی این دماها باعث ترد شدن مغز گشته و شکنندگی آن را افزایش می‌دهند. در آزمایش‌های فشار، مدول الاستیسیته برای تیمارهای ذکر شده به ترتیب ۶۴/۱۷، ۶۳/۱۱، ۳۷/۷۰ و ۲۶/۵۶ مگا پاسکال به دست آمد و توان لازم برای ایجاد تسلیم بیولوژیکی با افزایش دمای نگهداری افزایش یافت. آزمون خردشدگی تفاوت چندانی بین توزیع پراکندگی ذرات خرد شده روی الک‌های مختلف نشان نداد.

### واژه‌های کلیدی

آزمایش‌های مکانیکی، خصوصیات مکانیکی، دمای نگهداری، مغز پسته

### مقدمه

از سردخانه‌های کانتینری به خارج از کشور صادر می‌شود. دمای انبار یا کانتینر، بسته به اهداف نگهداری یا حمل و نقل، از ۲۰- درجه سانتی‌گراد تا ۲۵+ درجه سانتی‌گراد می‌تواند متغیر باشد. دانه پسته پس از خروج از انبار با دستگاه‌های مختلف تماس دارد و از این جهت صدمات مکانیکی گوناگونی مانند شکستگی، ترکیدگی، و خراشیدگی به مغز پسته وارد می‌شود. کمیت صدمات مکانیکی بر کیفیت پسته تأثیر می‌گذارد و لازم است تا حد امکان از بروز اینگونه صدمات جلوگیری نمود.

دما، رطوبت، فشار، ضربه، و ساییدگی از عواملی هستند که محصولات کشاورزی را در حین فراوری تحت تأثیر قرار می‌دهند و در صورت کنترل نشدن صدماتی

سطح زیر کشت پسته (*Pistacia vera* L.) در ایران بیش از ۳۶۰۰۰۰ هکتار است. استان کرمان ۲۷۰،۰۰۰ هکتار باغ بارور دارد، ۷۷ درصد محصول کل کشور را تولید می‌کند، و مهمترین منطقه کشت پسته کشور محسوب می‌شود. پسته در استان‌های یزد، خراسان (جنوبی و مرکزی)، فارس، سمنان، سیستان و بلوچستان، قزوین، مرکزی، اصفهان، و قم نیز کشت می‌شود و سطح زیر کشت این محصول در این استان‌ها به سرعت در حال افزایش است (Anon, 2001).

پسته پس از برداشت فراوری‌های مختلف، بین یک تا شش ماه در انبارهای معمولی نگهداری و سپس با استفاده

پسته دهان بسته برای دو رقم اوحدی و بادامی به عنوان تابعی از میزان رطوبت در محدوده بین ۵ درصد تا ۲۰ درصد بر پایه مرطوب و در چهار سرعت بارگذاری ۱۰، ۲۰، ۳۰، و ۴۰ میلی‌متر در دقیقه ارزیابی کردند. علی بابا و همکاران (Alibaba *et al.*, 2008) مقاومت فشاری سه رقم پسته خشک کله قوچی، اکبری، و فندق را بررسی کردند و نشان دادند که صدمات مکانیکی حاصل از نیروی فشاری در مغز پسته نوع اکبری در سرعت‌های مشابه از سایر رقم‌ها بیشتر است و پس از آن ارقام اوحدی و فندق را قرار دارند.

در مورد تأثیر شرایط انبارداری بر خصوصیات کمی و کیفی محصولات کشاورزی نیز تحقیقات وسیعی صورت گرفته است. مهمترین فاکتورهای در نظر گرفته شده در این‌گونه تحقیقات عبارت‌اند از تأثیر زمان، دما، رطوبت نگهداری، و نوع بسته‌بندی. مکسیز و همکاران (Mexis *et al.*, 2009) اثر بسته‌بندی‌های مختلف و شرایط انبارداری را بر گردو و راعی و همکاران (Raei *et al.*, 2009) همین فاکتورها را بر پسته برشته شده بررسی کردند. مسکان و کاراتاس (Maskan & Karatas, 1999) اثر چهار دمای نگهداری پسته خندان را بر خصوصیات شیمیایی و ترکیبات غذایی این محصول بررسی کردند ولی در این بررسی به تأثیر دمای نگهداری بر خصوصیات مکانیکی مغز پسته اشاره‌ای نشده است. گودرزی و سیدان (Goodarzi & Sayedan, 2004) مطالعاتی در باره انبارداری سیب‌زمینی انجام دادند و تاکید کردند که دمای نگهداری بیشترین اثر را بر کیفیت محصول پس از دوره انبارداری دارد.

دمای انبارداری می‌تواند در کیفیت پسته ارائه شده به بازار، عمر ماندگاری، و خصوصیات مکانیکی آن تأثیر داشته باشد. دماهای بالاتر باعث تبخیر رطوبت و تسریع فعالیت‌های آنزیمی می‌شود که می‌تواند بر کیفیت محصول نیز تأثیر منفی بگذارد. یخ‌زدگی مغز پسته که بر اثر دماهای زیر صفر درجه سانتی‌گراد رخ می‌دهد ممکن است ترک‌های جزئی در محصول ایجاد کند و در نتیجه و به هنگام حمل و

به آنها وارد می‌آورند. بررسی تأثیر این عوامل بر خصوصیات فیزیکی، مکانیکی، و بیولوژیکی محصولات کشاورزی از جمله غلات، حبوبات، دانه‌های روغنی، و میوه‌ها در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از محققان بوده است. کرمانی و همکاران (Kermani *et al.*, 2008) خواص مکانیکی دانه برنج قهوه‌ای متأثر از فاکتورهای دما و رطوبت را بررسی کردند. نتایج تحقیق نشان داد که رطوبت و دما تأثیر معنی‌داری بر خواص مکانیکی دانه‌های برنج دارند. سعیدی‌راد و همکاران (Saedirad *et al.*, 2008) عوامل مؤثر بر مقاومت مکانیکی دانه زیره را در بارگذاری شبه استاتیکی بررسی کردند و نشان دادند که رطوبت و جهت، اندازه، و سرعت بارگذاری بر خصوصیات مکانیکی دانه زیره تأثیر معنی‌داری دارند. در بررسی اثر دما بر خصوصیات مکانیکی محصولات کشاورزی، دایی جواد و همکاران (Daei Javad *et al.*, 2008) اثر دمای خشک کردن را بر خصوصیات مکانیکی برنج بررسی کردند و نشان دادند که خردشدگی دانه‌های برنج خشک شده در دماهای بالاتر از محیط، در مقایسه با دانه‌های خشک شده با هوای معمولی را داشتند.

تحقیقات مختلفی در مورد بررسی صدمات مکانیکی به دانه پسته یا کاهش این صدمات در حین عملیات فراوری صورت گرفته است. ازدن و الیونت (Ozden & Alayunt, 2006) مقاومت به شکست پنج رقم پسته را به هنگام برداشت اندازه‌گیری شد. مقصودی و همکاران (Maghsoudi *et al.*, 2008a) رفتار ویسکوالاستیک پسته‌های دهان بسته را بررسی استراحت - تنش را برای دو رقم اوحدی و بادامی در چهار سطح رطوبتی ۵ تا ۲۰ درصد بر پایه مرطوب و در دو سرعت بارگذاری ۱۰ و ۴۰ میلی‌متر در دقیقه انجام دادند. مقصودی و همکاران (Maghsoudi *et al.*, 2008b) در تحقیقی دیگر ضریب کشسانی ظاهری دانه پسته دهان بسته را به روش بارگذاری شبه استاتیک تعیین کردند. این محققان ضریب کشسانی ظاهری دانه‌های

بررسی اثر دمای نگهداری روی برخی از...

(test) آزمون ضربه، آزمون خردشدگی، و آزمون فشار روی نمونه‌ها انجام گرفت.

نتیجه همه آزمایش‌ها بر مبنای طرح کامل تصادفی با استفاده از نرم افزار SPSS تجزیه و تحلیل شد. در آنالیزهای آماری، تیمارها دماهای مختلف نگهداری بودند که اثر آنها بر خصوصیات مکانیکی ذکر شده بررسی شد. در صورت معنی دار بودن اختلاف بین تیمارها، میانگین آنها با استفاده از روش دانکن با یکدیگر مقایسه شد. آزمایش‌های مکانیکی به صورت یکسان بر نمونه‌ها به شرح زیر اجرا شد.

### آزمایش ماندگاری

آزمایش ماندگاری روشی مناسبی برای تعیین مقاومت محصول در برابر نیروهای مختلف از جمله سایش، تکان خوردن، و زیر و رو شدن در حین فراوری و حمل و نقل است. آزمایش‌های ماندگاری بر اساس استاندارد ASABE S269.3 (Anon, 2007b) اجرا شدند. بدین منظور، دستگاهی که در شکل ۱ نشان داده شده است طراحی و ساخته شد. این دستگاه یک موتور دارد که با تسمه‌ای به یک محفظه مکعب مستطیل شکل به ابعاد  $15 \times 25 \times 30$  سانتی‌متر متصل می‌شود. در هر آزمایش، مقداری حدود  $50$  گرم مغز پسته در محفظه ریخته و محفظه با سرعت دورانی  $60$  دور در دقیقه به مدت  $30$  دقیقه چرخانده شد. پس از پایان هر آزمایش، پسته‌ها پس از بیرون آوردن از محفظه روی الک با مش  $8$  غربال و درصد صدمات ماندگاری ( $D$ ) برای هر تیمار با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$D = \frac{M_i - M_r}{M_i} \times 100 \quad (1)$$

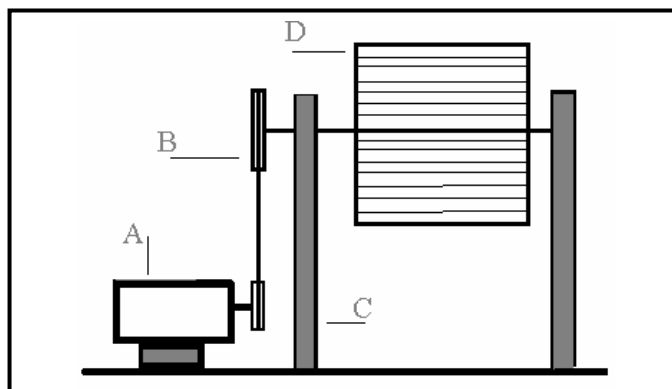
که در آن،  $M_i$  و  $M_r$  به ترتیب جرم اولیه و جرم مانده پسته روی الک با مش  $8$  است. هر آزمایش در چهار تکرار صورت گرفت.

نقل صدمات مکانیکی آنها تشدید شود. در این پژوهش، پسته فراوری شده به مدت سه ماه در انبار و در چهار دمای مختلف نگهداری و تأثیر دمای نگهداری بر خصوصیات و صدمات مکانیکی مغز پسته شامل صدمات ماندگاری، ضربه‌ای، ارتعاشی، فشاری، و خردشدگی بررسی شد.

### مواد و روش‌ها

برای اجرای آزمایش، پنج کیلوگرم پسته خشک از رقم فندق، فراوری شده در یکی از کارگاه‌های فراوری پسته شهرستان رفسنجان، تهیه و در اوائل بهمن  $1386$  به مدت یک هفته در محیط آزمایشگاه پهن شد تا رطوبت آن به حد تعادل برسد. سپس،  $5$  نمونه  $100$  گرمی به طور تصادفی انتخاب و برای تعیین رطوبت در آن تحت دمای  $100$  درجه سانتی‌گراد به مدت  $24$  ساعت قرار داده شدند (Anon, 2007a). رطوبت نمونه‌ها،  $M$ ، بر پایه مرطوب محاسبه شد و میانگین رطوبت اولیه نمونه‌ها بر پایه مرطوب برابر  $4/1$  درصد به دست آمد.

پسته‌های مانده به طور تصادفی به چهار گروه مساوی تقسیم و در کیسه‌های پلاستیکی قرار داده شدند. برای پیشگیری از ایجاد رطوبت سطحی و قارچ‌زدگی احتمالی در داخل هر کیسه  $5$  گرم ماده رطوبت‌گیر (سیلیکاژل) نیز قرار داده شد. از اول اسفند  $1386$  هر کیسه به مدت سه ماه تحت یکی از تیمارهای زیر قرار داده شد: (۱) دمای  $25$  درجه سانتی‌گراد مشابه دمای انبارهای معمولی، (۲) دمای  $5$  درجه سانتی‌گراد مشابه دمای یخچال‌های معمولی، (۳) دمای  $5 -$  درجه سانتی‌گراد مشابه دمای سردخانه‌های معمولی و (۴) دمای  $15 -$  درجه سانتی‌گراد مشابه دمای سردخانه‌های خیلی سرد. پس از گذشت سه ماه، نمونه‌ها از محیط‌های نگهداری خارج و به مدت  $48$  ساعت در دمای محیط آزمایشگاه قرار داده شدند و آزمایش‌های مختلف مکانیکی شامل آزمون ماندگاری (Durability)



شکل ۱- طرح واره دستگاه ساخته شده برای اجرای آزمایش ماندگاری:  
(A) الکتروموتور، (B) تسمه و پولی، (C) پایه، و (D) محفظه

### آزمایش ضربه

خانگی (Braun, KSM2 Coffee Grinder) ریخته و به مدت ۱۰ ثانیه با ۳۰۰ دور بر دقیقه آسیاب شد. هر یک از این آزمایش‌ها پنج تکرار داشت و پس از هر آزمایش، نمونه‌های آسیاب شده روی الک‌های آزمایشگاهی با تکان دهنده خودکار ریخته و به مدت یک دقیقه تکان داده شدند. الک‌های استفاده شده در این آزمایش‌ها دارای مش‌های ۸، ۱۲، و ۱۸ بودند که در زیر آنها یک تشتک قرار داده شده بود. مقدار مغز پسته خرد شده باقیمانده روی هر الک و تشتک با ترازوی دیجیتالی با دقت  $\pm 0.1$  گرم وزن و درصد مغزهای خردشده مانده روی هر الک با استفاده از رابطه ۱ تعیین شد.

### آزمایش مقاومت فشاری

برای بررسی میزان مقاومت مکانیکی مغزهای پسته تیمار شده در برابر نیروی فشاری، نمونه‌های مکعب مستطیل شکلی با ابعاد  $5 \times 5 \times 3$  میلی‌متر از مغز پسته جدا شد. بدین منظور، دو لپه هر دانه پسته از یکدیگر جدا و از هر لپه یک نمونه در ابعاد ذکر شده با استفاده از یک تیغ برش داده شد. هر نمونه در راستای ۵ میلی‌متری آن بین فک‌های ثابت و متحرک دستگاه تست فشار و با سرعت ۵ میلی‌متر در دقیقه و تا شکسته شدن کامل نمونه، تحت فشار گذاشته شد. هر یک از این آزمایش‌ها برای هر تیمار ۲۰ تکرار داشت. پس از انجام آزمایش‌ها، داده‌های مربوط

در آزمایش ضربه، برای تعیین مقاومت دانه‌های پسته در برابر نیروهای لحظه‌ای وارد شده به آنهاست. این نیروها در فرآوری‌هایی مانند خرد کردن، آسیاب کردن، یا ریختن و پاش دانه در هنگام حمل و نقل باعث شکستن مغز پسته می‌شوند. برای اجرای ضربه، لوله‌ای از جنس پی وی سی به طول یک متر به طور عمودی روی پایه‌ای فلزی عمودی قرار داده شد. پنجاه (۵۰) دانه مغز پسته با دقت  $0.1$  گرم وزن و تک تک در زیر لوله روی پایه فلزی قرار داده شدند، یک وزنه پنج گرمی از بالا به درون لوله انداخته شد تا مستقیماً روی نمونه آزمایشی سقوط کند. سپس دانه‌ها جمع‌آوری و روی الک با مش ۸ ریخته شدند و برای هر تیمار درصد خردشدگی با استفاده از رابطه ۱ تعیین شد. این آزمایش نیز برای هر تیمار چهار تکرار داشت و در مجموع آزمایش روی ۲۰۰ دانه پسته اجرا شد.

### آزمایش خرد شدگی

یکی از موارد استفاده مغز پسته در صنایع شیرینی‌پزی است. در این صنعت، مغز پسته در اندازه‌های مختلف آسیاب می‌شود و در تولید شیرینی‌های مختلف به کار می‌رود. هدف از آزمایش‌های خردشدگی، ارزیابی میزان خردشدگی و توزیع پراکندگی مغز پسته بود. بر این اساس، این آزمایش، ۲۰ گرم مغز پسته در یک آسیاب برقی

بررسی اثر دمای نگهداری روی برخی از...

و سطح زیر این خط که همان کار انجام شده است تعیین گردید.

**توان تسلیم بیولوژیکی:** چون آزمایش‌های فشار با سرعت مشخصی (۵ میلی‌متر بر ثانیه) انجام شده‌اند، با دانستن تغییر طول جسم در نقطه تسلیم بیولوژیکی می‌توان زمان ( $t$ ) رسیدن به این نقطه را تعیین و توان مورد لزوم ( $P_b$ ) را برای رسیدن به نقطه تسلیم بیولوژیکی از رابطه زیر محاسبه کرد:

$$P_b = \frac{W_b}{t} \quad (۳)$$

### نتایج و بحث

در جدول ۱، نتایج کلی حاصل از آزمون‌های ماندگاری، ضربه، و آسیاب کردن نشان داده شده است. نتایج آزمون ماندگاری نشان می‌دهد که مغز پسته در دماهای زیر صفر درجه سانتی‌گراد، صدمات ماندگاری کمتری نسبت به تیمارهای بالای صفر درجه داشته است. نتایج آزمون دانکن نشان می‌دهد که بین تیمارهای زیر صفر و بالای صفر درجه سانتی‌گراد، تفاوت معنی‌داری وجود دارد. مغز پسته یک پوست سطحی نازک با درصد بالایی از فیبر و لیگنین دارد که تا حدودی محافظ آن در مقابل این نیروهاست و رطوبت مغز را نیز حفظ می‌کند. هرگونه صدمه به این بافت موجب کاهش کیفیت مغز پسته و افزایش ضایعات آن به هنگام حمل و نقل می‌شود. بنابراین می‌توان گفت که در دماهای زیر صفر درجه سانتی‌گراد، این بافت محافظ سطحی مغز پسته را بهتر حفظ می‌کند و در نتیجه صدمات ماندگاری آنها کمتر می‌شود. مقایسه تیمارهای مختلف نشان می‌دهد که در مجموع با افزایش دمای نگهداری میزان ماندگاری کاهش می‌یابد.

میزان خردشدگی مغز پسته در اثر ضربه نشان می‌دهد که تیمارهای زیر صفر درجه سانتی‌گراد، کاملاً اختلاف معنی‌داری با تیمارهای بالای صفر درجه سانتی‌گراد دارند، به طوری که با افزایش دما به بالای صفر درجه سانتی‌گراد میزان خردشدگی مغزها کاهش می‌یابد،

به نیروی اعمال شده و تغییر طول (فشرده‌گی) به نرم افزار منتقل و از آنها منحنی تنش ( $\sigma$ ) - کرنش ( $\epsilon$ ) استخراج گردید. برای هر تیمار نیز یک منحنی کلی تنش - کرنش با استفاده از میانگین داده‌های آن تیمار رسم و از آنها خصوصیات مکانیکی زیر به روش‌های ذکر شده استخراج شد:

**نقطه تسلیم بیولوژیکی:** در منحنی تنش - کرنش محصولات کشاورزی یک افت تنش موقت همراه با افزایش کرنش مشاهده می‌شود که به نقطه شروع این پدیده نقطه تسلیم بیولوژیکی گفته می‌شود. با بررسی منحنی کلی تنش - کرنش، نقطه تسلیم بیولوژیکی هر تیمار مشخص شد.

**مدول الاستیسیته:** پس از مشخص شدن نقطه تسلیم بیولوژیکی روی منحنی تنش - کرنش، مشخص گردید. سپس یک خط با استفاده از نرم افزار Excel به روش کمترین مربعات از مبدا تا نقطه تسلیم بیولوژیکی از داده‌های تنش - کرنش عبور داده شد. شیب این خط به عنوان مدول الاستیسیته هر آزمایش در نظر گرفته شد. میانگین مدول‌های الاستیسیته هر تیمار به عنوان مدول الاستیسیته آن تیمار انتخاب گردید.

**انرژی تسلیم بیولوژیکی:** سطح زیر منحنی تنش - کرنش، کار انجام شده را برای بوجود آوردن تغییر شکل یا کرنش در جسم نشان می‌دهد. کار مورد لزوم برای بوجود آوردن تسلیم بیولوژیکی  $W_b$  عبارت است سطح زیر منحنی تنش - کرنش از نقطه صفر کرنش تا نقطه کرنش بیولوژیکی ( $\epsilon_b$ ) که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$W_b = \int_0^{\epsilon_b} \sigma(\epsilon) d\epsilon \quad (۲)$$

برای محاسبه کار انجام شده برای شکست هر دانة، یک خط مستقیم به روش کمترین مربعات از مبدا تا نقطه تسلیم بیولوژیکی از داده‌های تنش - کرنش عبور داده شد

ولی اختلاف بین دمای ۵ و ۲۵ معنی‌دار نیست. ضربه مستقیماً بر مغز پسته تأثیر می‌گذارد و باعث شکستن آن می‌شود. در صورتی که مغز پسته ترد باشد تأثیر ضربه در ایجاد صدمه بر آن بیشتر است. نتایج این آزمایش‌ها نشان می‌دهد که کاهش دمای نگهداری باعث انجماد آب موجود در بافت پسته و ترد شدن آن شده و در نتیجه خردشدگی ناشی از ضربه افزایش یافته است.

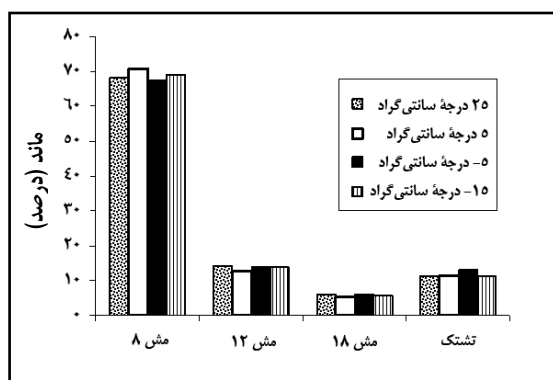
نتایج آزمایش‌های خردشدگی مغز پسته بر اثر آسیاب کردن و مانده آنها روی الک‌های ۸، ۱۲، ۱۸، و تشتک (جدول ۱) نشان می‌دهد که در مجموع در تمام تیمارها میزان تکه‌های درشت‌تر که روی الک با مش ۸ مانده‌اند بیش از مقدار مانده روی سایر الک‌هاست. اختلاف معنی‌داری بین بعضی از تیمارها مشاهده می‌شود، ولی

نمی‌توان روند کلی را بین میزان خردشدگی و دمای نگهداری مشاهده کرد. برای تصور بهتر نتایج آزمون خردشدگی، نمودار توزیع آنها روی الک‌های مختلف در شکل ۲ نشان داده شده است. این نمودار نشان می‌دهد که تیمارهای مختلف در مجموع دارای توزیع نسبتاً یکسانی روی الک‌ها هستند و دماهای مختلف نگهداری بر توزیع میزان خردشدگی مغزها تأثیر عمده‌ای نداشته است. برای مثال، بین تیمار ۱۵- و ۲۵ هیچ‌گونه اختلاف معنی‌دار مشاهده نمی‌شود. با تمرکز بیشتر روی داده‌های متعلق به تیمارهای ۵- و ۵ می‌توان دریافت که اختلاف روی تمامی الک‌ها بین این دو تیمار معنی‌دار است و نشان می‌دهد که یخ‌زدگی بر توزیع پراکندگی خردشدگی تأثیر عمده‌ای دارد و لازم است در این محدود مطالعات وسیع‌تری انجام شود.

جدول ۱- نتایج حاصل از آزمایش‌های ماندگاری، ضربه، و خردشدگی در دماهای مختلف

تیمار (درجه سانتی‌گراد)	ماندگاری (درصد)	ضربه (درصد)	مش ۸ (درصد)	مش ۱۲ (درصد)	مش ۱۸ (درصد)	تشتک (درصد)
-۱۵	۱۷/۱a	۷۸/۲a	۶۸/۴ ab	۱۴/۱b	۱۱/۵a	۶/۰bc
-۵	۱۸/۳a	۷۲/۵b	۷۰/۶b	۱۲/۶a	۱۱/۴a	۵/۴a
۵	۲۵/۸b	۶۸/۳c	۶۷/۳a	۱۳/۷b	۱۲/۹b	۶/۱c
۲۵	۲۴/۱b	۶۹/۱c	۶۹/۱ab	۱۴/۰b	۱۱/۳a	۵/۶ab

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

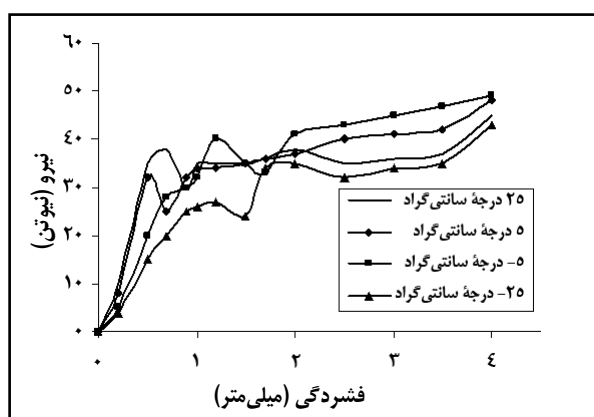


شکل ۲- مقدار مانده مغز پسته آسیاب شده روی الک‌های مختلف

بررسی اثر دمای نگهداری روی برخی از...

همان نقطه تسلیم بیولوژیکی است که در تیمارهای مختلف متفاوت است. همین مشاهدات برای تیمارهای سوم و چهارم نیز صادق است ولی نقطه تسلیم بیولوژیکی در نقاط ۱/۲ و ۱/۷ میلی متر اتفاق می افتد. نمودار نیرو-فشرده‌گی نقطه شکست مشخصی برای مغزهای پسته نشان نمی دهد و درحقیقت مغز پسته در فرآیند فشرده‌گی تنها فشرده یا لهیده می شود و برخلاف بسیاری از مواد مهندسی، نقطه فشار حداکثر و نقطه شکست نهایی در مغز پسته مشاهده نمی شود.

میانگین نمودار نیرو- فشرده‌گی به دست آمده با آزمایش فشار برای تیمارهای مختلف، در شکل ۳ نشان می دهد که برای تیمارهای اول و دوم تا حدود یک میلی متر فشرده‌گی (۲۰ درصد کرنش) تقریباً مقدار فشرده‌گی با نیروی وارده بر مغز رابطه خطی مستقیم دارد و با افزایش دما، شیب خط نیز افزایش می یابد. در حدود این نقطه است که یک افت در نیرو با افزایش فشرده‌گی در این دو تیمار مشاهده می شود که نشان دهنده شکست اولیه مغز تحت نیروی فشاری است. لحظه شروع این افت،



شکل ۳- نمودار نیرو - فشرده‌گی در آزمون فشار در دماهای مختلف

۲ نشان داده شده اند. داده های این جدول نشان می دهد که تیمارهای مختلف برای رسیدن به نقطه تسلیم بیولوژیکی به مقدار انرژی متفاوتی نیاز دارند و روند مشخصی بین دمای نگهداری و مقدار انرژی مشاهده نمی شود. مقادیر توان مصرف شده تا این نقطه نیز در جدول ۲ نشان داده شده است. با نگاهی به این اعداد می توان نتیجه گرفت که با افزایش دمای تیمار، مقدار توان مورد لزوم برای به وجود آوردن تسلیم بیولوژیکی در مغز پسته افزایش می یابد و در محدوده آزمایش های اجرا شده کاهش دمای نگهداری باعث سست شدن بافت درونی مغز پسته می شود و در نتیجه توان کمتری برای ایجاد تسلیم بیولوژیکی در آنها مورد نیاز است.

ضریب تبیین ( $R^2$ ) خطوط عبور داده شده و مدول الاستیسیته ( $E$ ) محاسبه شده برای هر تیمار در جدول ۲ نشان داده شده است. داده های این جدول نشان می دهد که با افزایش دمای تیمار، مدول الاستیسیته افزایش می یابد. اختلاف بین مدول الاستیسیته در دو تیمار بالای صفر درجه سانتی گراد چندان زیاد نیست ولی تیمارهای زیر صفر درجه سانتی گراد اختلاف معنی داری با یکدیگر و با تیمارهای بالای صفر درجه سانتی گراد دارند. این نتایج نشان می دهد که دانه های پسته نگهداری شده در دماهای زیر صفر درجه سانتی گراد در اثر یخ زدگی ترد تر و تحت تأثیر نیروی کمتری شکسته شده اند.

مقدار انرژی لازم ( $W_b$ ) برای رسیدن به نقطه تسلیم بیولوژیکی که برای هر تیمار محاسبه گردیده اند در جدول

جدول ۲ - مدول الاستیسیته، انرژی، توان و زمان مورد لزوم برای رسیدن به نقطه تسلیم بیولوژیکی در دماهای مختلف

$R^2$	توان (وات)	انرژی لازم (ژول)	مدول الاستیسیته (مگاپاسکال)	زمان (ثانیه)	دما (درجه سانتی‌گراد)
۰/۹۵	۰/۹۲	۱۹/۹۲	۲۶/۵۶	۲۱/۶	-۱۵
۰/۹۴	۱/۸۵	۲۴/۵۱	۳۷/۷۰	۱۳/۲	-۵
۰/۹۶	۱/۹۷	۱۸/۹۳	۶۳/۱۱	۸/۴	۵
۰/۸۹	۲/۶۷	۲۲/۴۶	۶۴/۱۷	۹/۶	۲۵

### نتیجه‌گیری

سانتی‌گراد نشان می‌دهند و با افزایش دمای نگهداری

مقدار صدمات وارده به مغز در اثر ضربه کاهش می‌یابد.

آزمایش‌های خردشدگی توزیع پراکندگی مغزهای خرد شده در تیمارهای مختلف به هم نزدیک است ولی در محدوده ۵- درجه سانتی‌گراد و ۵ درجه سانتی‌گراد اختلاف بین دو توزیع معنی‌دار بود که لازم است در این محدوده مطالعات بیشتری صورت گیرد.

آزمایش‌های فشار با افزایش دما مدول الاستیسیته و توان مورد لزوم برای ایجاد تسلیم بیولوژیکی در مغز پسته افزایش پیدا می‌کند. مدول الاستیسیته مغز پسته از ۲۶/۵۶ مگاپاسکال برای دمای ۱۵- درجه سانتی‌گراد تا ۶۴/۱۷ مگاپاسکال برای دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد تغییر می‌کند.

در این پژوهش، به منظور بررسی تأثیر دمای نگهداری بر خصوصیات مکانیکی مغز پسته آزمایش‌های مختلف مکانیکی بر مغز پسته اجرا شد که به مدت سه ماه تحت چهار دما نگهداری شده بودند. نتایج این آزمایش‌ها نشان داده‌اند که:

صدمات آزمایش‌های ماندگاری در تیمارهای زیر صفر درجه سانتی‌گراد کمتر از تیمارهای بالای صفر درجه سانتی‌گراد است و در مجموع با افزایش دما، صدمات ماندگاری نیز افزایش می‌یابد.

در آزمون ضربه، تیمارهای زیر صفر درجه سانتی‌گراد اختلاف معنی‌داری با تیمارهای بالای صفر درجه

### قدردانی

از همکاری مسئولان محترم بخش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان و دانشکده پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران که تجهیزات مورد لزوم را برای اجرای این پژوهش در اختیار گذاشتند تشکر می‌شود.

### مراجع

- Alibaba, M. Ghazanfari, A. and Rajabipour, A. 2008. Investigating and comparing meachanical strength of three varieties of pistachio nuts. Proceedings of the 5<sup>th</sup> National Conference on Agricultural Machinery and Mechanization: Meshhad. Iran. (in Farsi)
- Anon. 2001. Deputy of Horticultural Affairs, Office of Teaching Technology. Pistachio Pub. No. 1. Principle of Soil Preparation and Planting. Iran Ministry of Agriculture.
- Anon. 2007a. ASABE Standards. ASABE S352.2. Moisture Measurement-Unground Grain and Seeds. St. Joseph. MI.



- Anon. 2007b. ASABE Standards. ASABE S269.3. Cubes, Pellets and Crumbles Definitions and Methods for Determining Density, Durability, and Moisture Content. St. Joseph. MI.
- Daei Javad, M., Eshaghbeigi, A. and Sayah, A. 2008. Determination of breakage susceptibility of rice under impact loading. Proceedings of the 5<sup>th</sup> National Conference on Agricultural Machinery and Mechanization. Meshhad. Iran. (in Farsi)
- Goodarzi, F. and Sayedan S. M. 2004. Effect of potato stores conditions on quality of wastes (Case study: Hamedan Province). J. Agric. Eng. Res. 4(17): 1-14. (in Farsi)
- Kermani, A. M., Tavakoli Hashjin, T. and Minaei, S. 2008. Investigation and determination of moisture content and temperature effects on the mechanical properties of brown rice. J. Agric. Eng. Res. 9(3): 53-74. (in Farsi)
- Maghsoudi, H. Khoshtagaza, M. H and Minaei, S. 2008a. Investigating the viscoelastic behavior of closed shell pistachio nuts under quasi-static loading. Proceedings of the 5<sup>th</sup> National Conference on Agricultural Machinery and Mechanization. Meshhad. Iran. (in Farsi)
- Maghsoudi, H. Khoshtagaza, M. H and Minaei, S. 2008b. Determining the module of elstaicity for closed shell pistachio nuts. Proceedings of the 5<sup>th</sup> National Conference on Agricultural Machinery and Mechanization, Meshhad, Iran. (in Farsi)
- Maskan, M. and Karatas, S. 1999. Storage stability of whole-split pistachio nuts (*Pistachia Vera* L.) at various conditions. Food Chem. 66, 227-233.
- Mexis, S. F, Badeka, A. V., Riganakos, K. A., Karakostas, K. X. and Kontiminas, M. G. 2009. Effect of packaging and storage conditions on quality of shelled walnuts. Control Food. (20)8: 743-751.
- Ozden, K. and Alayunt, F. N. 2006. The determination of some physical properties of *Pistachio Vera* L. Pakistan J. Biolog. Sci. 9(14): 2612-2617.
- Raei, M., Mortazavi, A. and Pourazarang, H. 2009. Effects of packaging materials, modified atmospheric conditions, and storage temperature on physicochemical properties of roasted Pistachio Nut. Food Analytical Methods. DOI: 10. 1007/s. 1216/-009-9076-1.
- Saiedirad, M. H., Tabatabaeefar, A. and Badii, F. 2008. Contributing factors to the mechanical strength of cumin seed under quasi-static loading. J. Agric. Eng. Res. 9(3): 23-34. (in Farsi)

## **Effect of Storage Temperature on Mechanical Properties of Pistachio Kernels**

**M. Alibaba, A. Ghazanfari-Moghaddam\* and A. Rajabi Pour**

\* Corresponding Author: Associate Professor, Kerman University, P. O. Box: 76169133. Kerman, Iran. E-mail: ghazanfari@mail.uk.ac.ir

After harvesting, pistachio nuts are generally kept in storage before being exported. During handling, the nuts are exposed to external forces that cause mechanical damage to them. The increase of the mechanical damage is a function of storage conditions, especially temperature. This research investigated the effect of storage temperature (25, 5, -5, -15°C), on the mechanical properties of pistachio kernels. The kernels were kept at the four storage temperatures for three months. Durability, impact, compression and comminution tests were then performed on the kernels. The statistical analysis of the data indicated that the negative temperatures had lower durability damage, but caused the kernels to become brittle, which increased impact damage. In the compression test, the modulus of elasticity of the kernels at 25, 5, -5, -15°C were 64.17, 63.11, 37.70 and 26.56 MPa, respectively. This also indicated that the power required to cause biological yield in the kernels increased as storage temperature increased. The comminution test showed little difference in the distribution of broken kernels on different sieves.

**Key Words:** Mechanical Properties, Mechanical Tests, Pistachio Kernels, Storage Temperature