

تعیین برخی خواص مکانیکی پسته دهان بسته (ارقام بومی قزوین)

محمد غلامی پرشکوهی^{1*}، علی ماشاءاله کرمانی²، میلاد محمدی شمایی³، مهرداد سلیمی بنی³، احسان عبدالعلی زاده³

1- دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تاکستان، گروه ماشین‌های کشاورزی، تاکستان، ایران.

2- استادیار گروه مهندسی فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران

3- دانش آموخته‌ی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تاکستان، گروه ماشین‌های کشاورزی، تاکستان، ایران

تاریخ پذیرش: 1392/9/4

تاریخ دریافت: 1392/2/6

چکیده

خصوصیات فیزیکی و مکانیکی مواد کشاورزی، تأثیر عمده‌ای روی عملکرد و بازده ماشین‌ها و دستگاه‌های خط فرآوری دارد. در این تحقیق، برخی خواص مکانیکی پسته دهان بسته ارقام قزوینی (قزوینی و بوبین زهرایی)، شامل نیروی شکست، تغییر شکل تا نقطه شکست و انرژی شکست در سه سطح رطوبت (3/5، 12، 19/5 درصد تر پایه) و در دو جهت بارگذاری اندازه‌گیری و محاسبه شد. نتایج نشان داد که تأثیر رطوبت بر نیروی شکست پسته دهان بسته در هر دو رقم با افزایش رطوبت به صورت معنی‌داری در سطح احتمال 1 درصد کاهش می‌یابند، اما تغییر شکل تا نقطه شکست با افزایش رطوبت افزایش می‌یابد. تأثیر رطوبت بر انرژی شکست معنی‌دار نبود. تأثیر جهت بارگذاری و رقم بر خواص مکانیکی ذکر شده معنی‌دار نبود. با افزایش رطوبت از سطح 3/5 تا 19/5 درصد، نیروی شکست و انرژی شکست به ترتیب برای رقم قزوینی از 102/14 تا 54/49 نیوتن و 22/8 تا 20/22 میلی‌ژول و برای رقم بوبین زهرایی از 122/53 تا 29/95 نیوتن و 23/17 تا 13/18 میلی‌ژول کاهش یافت. همچنین تغییر شکل تا نقطه شکست برای رقم قزوینی 0/21 تا 0/72 میلی‌متر و برای رقم بوبین زهرایی از 0/36 تا 0/7 میلی‌متر افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: انرژی شکست، پسته، تغییر شکل تا نقطه شکست، خواص مکانیکی، نیروی شکست

1- مقدمه

پسته علاوه بر اینکه از لحاظ صادراتی برای کشور ما دارای اهمیت فراوانی است، از لحاظ غذایی نیز ارزش ویژه‌ای دارد. مغز پسته یک منبع خوب چربی (50 تا 60 درصد) و شامل اسیدهای چرب غیراشباع (لینولئیک، لینولئیک و اولئیک اسید) لازم برای رژیم غذایی می‌باشد (7 و 12).

موسسه تحقیقات پسته ایران در حدود بیست نوع رقم پسته معرفی کرده است که از میان این ارقام می‌توان به ارقام مهم و تجاری اکبری، کله قوچی، احمد آقایی، اوحدی، بادامی زرنده، ممتاز خنجری، دامغان، شاهپسند سفید پسته نوق، و قزوینی اشاره کرد. آمارهای منتشر شده از سوی دفتر آمار وزارت کشاورزی آمریکا نشان می‌دهد 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 (5). این گزارش ایران را بزرگترین صادرکننده پسته در جهان معرفی کرده 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 میوه پسته می‌باشد (1). دانستن این خصوصیات تأثیر عمده‌ای روی عملکرد و بازده ماشین‌ها و دستگاه‌های خط فرآوری دارد. از طرفی پسته و مغز آن در طول فرایند فرآوری در طیف وسیعی از رطوبت قرار می‌گیرد و از آنجا که رطوبت بر بافت محصولات کشاورزی تأثیر زیادی می‌گذارد، بررسی خواص ذکر شده در رابطه با رطوبت بسیار حائز اهمیت می‌باشد (8).

مقصودی و همکاران (1382) بررسی رفتار ویسکوالاستیک دانه پسته دهان بسته را تحت بارگذاری شبه استاتیکی مورد مطالعه قرار دادند. در این تحقیق آزمایش استراحت تنش برای دو رقم اوحدی و بادامی در 4 سطح رطوبتی (5 تا 20 درصد تر پایه) و 2 سرعت بارگذاری (10 و 40 میلی‌متر بر دقیقه) انجام شد. در این آزمایش نمودار لگاریتمی نیرو نسبت به زمان ترسیم گشت و مقادیر ضرایب مدل سه جزئی ماکسول، در 4 سطح رطوبتی به دست آمد. نتایج به دست آمده اثر معنی‌دار رطوبت بر ضرایب

مدل را نشان داد، که بر اساس این نتایج با افزایش رطوبت، ضرایب مربوط به فنرهای مدل ماکسول عمومی کاهش یافت. همچنین مشخص گردید که با افزایش سرعت بارگذاری، عامل نیرو افزایش و نسبت کاهش نیرو، با کاهش همراه شده است (3). نظری گلدر و همکاران (2009) در تحقیقی، مکانیکی پنج رقم پسته ایرانی (اکبری، بادامی، کله قوچی، ممتاز و اوحدی) را تعیین کردند. این خواص شامل نیروی شکست، انرژی شکست و میزان تغییر شکل تا نقطه شکست، تحت بارگذاری خارجی بودند که در 4 سطح رطوبتی بین 4/6 تا 39/1 درصد و در سه جهت بارگذاری، در جهت‌های x، y و z تعیین شدند. محور x به عنوان بارگذاری در راستای طولی، محور y به عنوان بارگذاری در راستای پهنا و محور z به عنوان بارگذاری در راستای ضخامت (کمترین اندازه) در نظر گرفته شد. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان دادند که نیروی شکست، تغییر شکل تا نقطه شکست و انرژی شکست برای پسته و مغز همه ارقام با افزایش رطوبت کاهش پیدا می‌کند. همچنین تعیین شد که بیشترین نیرو، تغییر شکل و انرژی شکست در همه سطوح رطوبتی برای همه ارقام در بارگذاری طولی (x) و کمترین آن‌ها در راستای پهنا (y) می‌باشد (10).

گوشکی (1390) خواص فیزیکی و مکانیکی پسته رقم احمد آقایی را مورد مطالعه قرار داد. در این تحقیق ضمن تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی دانه و مغز پسته رقم احمد آقایی، اثر رطوبت در سطوح مختلف بر این خواص بررسی شد. نتایج بررسی خواص هندسی نشان داد که رطوبت تأثیر معنی‌داری بر ابعاد (به جزء عرض دانه پسته)، میانگین قطر هندسی و حسابی، مساحت سطح رویه دانه و مغز پسته داشت اگرچه این تأثیر رطوبت بر کرویت دانه پسته بی معنی بود ولی کرویت مغز پسته را در سطح احتمال 1 درصد تحت تأثیر قرار داد. نتایج همچنین نشان داد که نیرو، انرژی شکست دانه و مغز با افزایش رطوبت به صورت معنی‌داری کاهش می‌یابد اما تغییر شکل تا نقطه شکست با افزایش رطوبت افزایش می‌یابد (2).

مطالعات زیادی پیرامون خواص فیزیکی و مکانیکی پسته و مغز آن انجام شده است، هر چند ارقام مختلف پسته شکلی شبیه به هم دارند لیکن ممکن است از نظر بافت درونی و باطنی تفاوت‌های زیادی با هم داشته باشند. ارقام مهم پسته استان قزوین ارقام قزوینی و بوبین زهرایی می‌باشد که تا کنون هیچ‌گونه تحقیق علمی در مورد آن صورت نگرفته است؛ لذا این تحقیق در صدد

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

2-2- آزمایش مربوط به خواص مکانیکی

در این تحقیق خواص مکانیکی شامل نیروی شکست، تغییر شکل تا نقطه شکست و انرژی شکست اندازه‌گیری و محاسبه شد. برای تعیین این خواص از ماشین کشش و فشار استفاده شد (شکل 1).

این ماشین ساخت کشور انگلستان و از مدل SMT-20 بود و دارای دوفک، که فک بالایی متحرک و فک پایینی ثابت است می‌باشد. حرکت فک بالایی از طریق مکانیزم پیچ گوی¹ و یک سرو موتور تأمین می‌شود. این مکانیزم سرعت جابجایی دقیقی را در محدوده 0/001 تا 500 میلی‌متر بر دقیقه به فک بالایی می‌دهد. نیروی عکس‌العمل وارد بر فک بالایی توسط لودسل 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 Excel و یا به صورت تصویر ارائه می‌شود.

برای انجام آزمایشات برای پسته از یک لودسل 10 کیلو نیوتن استفاده شد. پسته‌ها با توجه به رطوبت‌هایشان در بین فک‌های متحرک دستگاه قرار داده شد و در موقعیتی قرار گرفتند که صفحه ثابتی که به لودسل متصل شده است با سرعت 1/24 میلی‌متر بر دقیقه به سمت پسته حرکت کند و آنقدر فشار وارد کند تا زمانی که گسیختگی رخ دهد و نمودار نیرو-تغییر شکل ایجاد شود. بارگذاری در دو جهت انجام گرفت یکی در راستای عرض و دیگری راستای ضخامت پسته‌ها بود (شکل 2). مقادیر متوسط طول، عرض، ضخامت پسته رقم قزوینی در رطوبت از سطح 3/5 تا 35/5 درصد به ترتیب، 14/98 تا 16/12، 9/45 تا 10/63، 9/84 تا 10/81 میلی‌متر بود و این مقادیر برای پسته رقم بویین زهرایی، 16/76 تا 17/25، 10/60 تا 10/81، 10/75 تا 11/34 میلی‌متر بود. با توجه به تحقیقات محققین شکست در راستای عرض زودتر از جهات دیگر رخ می‌دهد (9). این آزمایش در 3 سطح رطوبت (3/5، 12 و 19/5 درصد تر پایه) و در هر سطح 6 تکرار انجام شد.

تجزیه واریانس خواص مکانیکی در قالب آزمایش تجزیه واریانس یک طرفه و با استفاده از نرم‌افزار SPSS و Mstac

آن است که خواص مکانیکی پسته دهان‌بسته شامل نیروی شکست، تغییر شکل تا نقطه شکست و انرژی شکست ارقام بومی قزوین (به دلیل بالا بودن تعداد پسته‌های دهان بسته در این ارقام) را در سه سطح محتوای رطوبت و در دو جهت بارگذاری اندازه‌گیری و مورد بررسی قرار دهد تا اطلاعات حاصل از آن در طراحی دقیق ماشین‌ها و تجهیزات فرآوری آن مورد استفاده قرار گیرد.

2- مواد و روش‌ها

2-1- مواد

پسته ارقام قزوینی و بویین زهرایی دو نوع از ارقام مهم در استان قزوین است که به عنوان نمونه‌های مورد آزمایش این تحقیق انتخاب شد. پسته خشک از باغ‌های استان قزوین تهیه شد. این پسته‌ها به صورت کاملاً دستی پوست‌گیری، و تمام مراحل خشک شدن آن به صورت طبیعی انجام شد. بعد از تهیه، پسته‌ها کاملاً تمیز و مواد زائد آنها جدا شد. پسته‌های دهان بسته و دهان باز از هم جدا شد تا پسته‌های دهان بسته برای آزمایشات مکانیکی مورد استفاده قرار گیرد. سپس نمونه‌ها به محل انجام آزمایش‌ها انتقال داده شد تا بعد از آماده سازی و رطوبت دهی مورد آزمایش قرار گیرند.

رطوبت اولیه پسته‌ها با استفاده از روش آون در دمای 103 ± 2 درجه سلسیوس و تا رسیدن به وزن ثابت تعیین شد (6). رطوبت اولیه در این آزمایش برای پسته قزوینی و بویین زهرایی به ترتیب 3/5 و 3/6 درصد بر پایه تر بدست آمد. برای به دست آوردن نمونه‌هایی با رطوبت بیشتر، مقدار آب مقطر محاسبه شده طبق رابطه 1 به آن اضافه شد. با افزودن مقدار آب مقطر مورد نیاز دو سطح رطوبت 12، 19/5 درصد (تر پایه) دیگر نیز ایجاد شد. سپس نمونه‌ها در ظروف پلاستیکی دربسته قرار گرفتند و در دمای 5 درجه سلسیوس به مدت 10 روز در یخچال نگهداری شدند تا رطوبت به طور یکنواخت در محصول پخش شود (6).

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

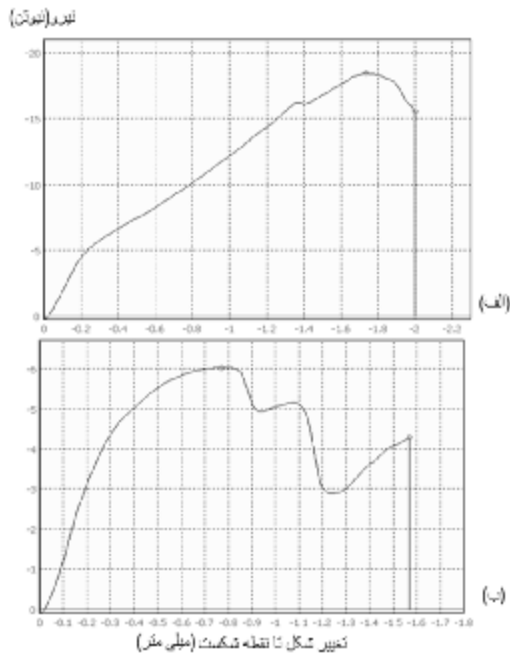
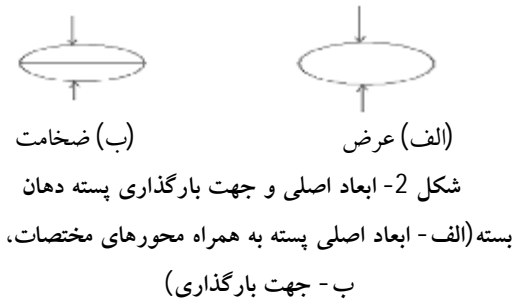
که در آن:

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

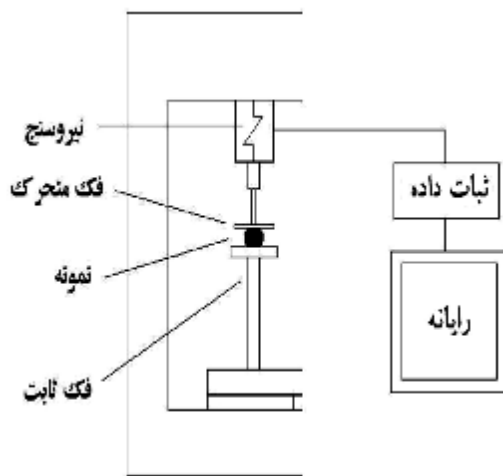
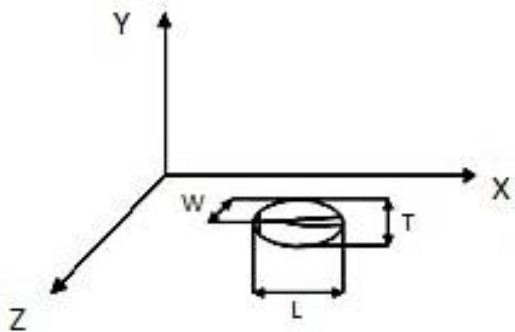
صورت گرفت. نمودارهای رگرسیونی مربوطه نیز با استفاده از نرم افزار Excel 2007 رسم گردید.

3- نتایج و بحث

در شکل 3 نمونه ای از منحنی نیرو - تغییر شکل برای آزمون فشار بر روی دانه های پسته رقم قزوینی در دو جهت بارگذاری نشان داده شده است. همان طور که در شکل نشان داده شده است نقطه ای از منحنی که به طور ناگهانی افت می کند (دایره اول) نقطه شکست نمونه پسته می باشد. از این نقطه به بعد نمونه از هم گسیخته شده و در حال له شدن می باشد. نیروی متناظر با نقطه شکست بر روی محور عمودی و تغییر شکل متناظر با این نقطه بر روی محور افقی به ترتیب به عنوان نیروی شکست و تغییر شکل تا نقطه شکست در نظر گرفته شدند. انرژی شکست هم با محاسبه سطح زیر این نمودار تا نقطه شکست بدست آمد.



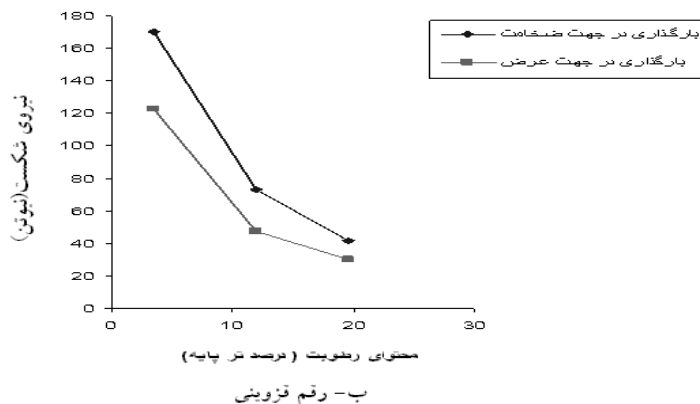
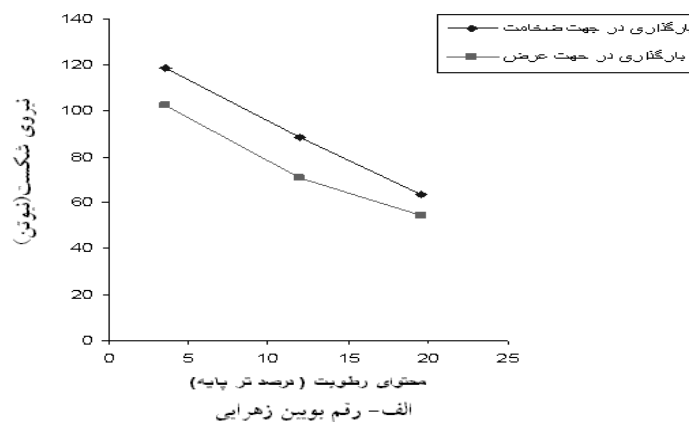
شکل 3 - نمونه منحنی نیرو - تغییر شکل برای پسته دهان بسته رقم قزوینی در رطوبت 19/5 درصد (الف - بارگذاری در جهت ضخامت، ب - بارگذاری در جهت عرض)



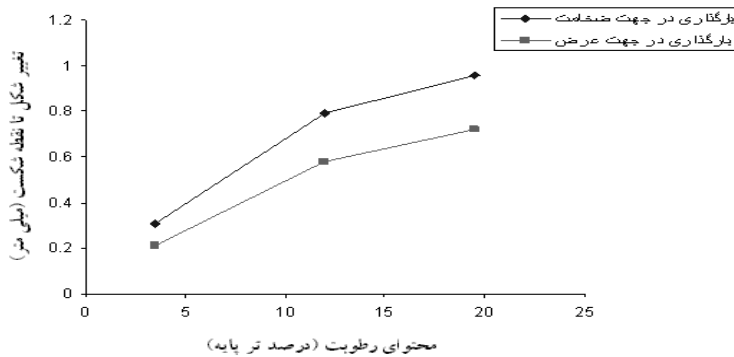
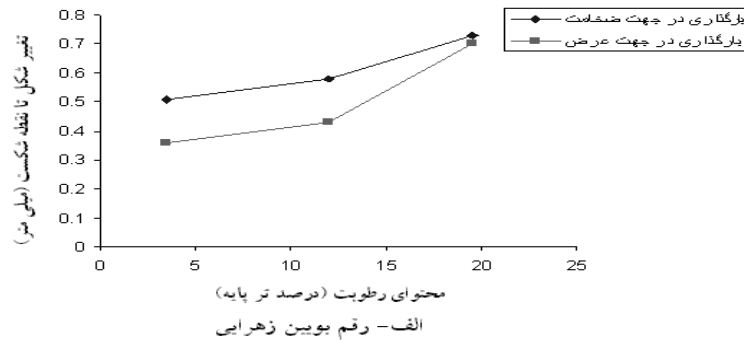
شکل 1- ماشین کشش و فشار SMT-20

برای بررسی بیشتر تأثیر رطوبت، نتایج حاصل از مقایسه میانگین نیروی شکست در جدول 2 ارائه شده است. همان‌طور که پیداست نیروی شکست در محدوده سطح رطوبتی 3/5 تا 19/5 درصد، به طور معنی‌داری از 118/31 نیوتن تا 63/72 نیوتن برای پسته قزوینی در جهت بارگذاری ضخامت و از 102/14 کیلو نیوتن تا 54/49 نیوتن برای دانه پسته قزوینی در جهت بارگذاری عرض و از 170/17 نیوتن تا 42/08 نیوتن برای پسته بومین زهرایی در جهت بارگذاری ضخامت و از 122/53 نیوتن تا 29/95 نیوتن برای پسته بومین زهرایی در جهت بارگذاری عرض کاهش پیدا می‌کند. با افزایش رطوبت، فاصله بین ملکول‌ها از هم زیاد می‌شود و انرژی کم‌تری برای شکست آن‌ها لازم است.

شکل 4 نشان دهنده ارتباط بین نیروی گسیختگی دانه پسته ارقام بومی قزوینی با سطوح مختلف رطوبت می‌باشد. از این نمودار به راحتی روشن می‌شود که نیروی گسیختگی در راستای عرض و ضخامت پسته دهان بسته با افزایش رطوبت کاهش پیدا می‌کند. تجزیه واریانس انجام شده نیز این تأثیر را نشان می‌دهد (جدول 1). همان‌طور که از جدول تجزیه واریانس مشخص شد تأثیر رطوبت و اثر متقابل رقم، رطوبت و جهت بارگذاری تأثیر بسیار معنی‌داری در سطح 1 درصد بر روی نیروی شکست دارد. این روند تغییراتی نیروی شکست با رطوبت را می‌توان به این نسبت داد که در واقع در رطوبت‌های بالاتر دانه پسته نرم و ضعیف می‌شوند و این دلیلی برای کاهش اولیه نیروی شکست می‌باشد (شکل 4). همچنین شکل 4 نشان می‌دهد که نیروی مورد نیاز برای شکست پسته در جهت بارگذاری ضخامت بیشتر از نیروی مورد نیاز برای گسیختگی در جهت عرض است.



شکل 5- منحنی اثر رطوبت بر تغییر نیروی شکست دانه پسته دهان بسته



شکل 6- منحنی اثر رطوبت بر تغییر شکل تا نقطه شکست دانه پسته

بومی قزوین و ریز بودن نسبت به این ارقام می تواند دلیل نیروی شکست بیشتر آن باشد.

هنگامی که پسته در معرض رطوبت قرار می گیرد تغییراتی در بافت آن صورت می گیرد که این تغییرات بدون شک بر میزان تغییر شکل تا نقطه شکست بی تأثیر نخواهد بود. با انجام تجزیه واریانس بر روی داده های به دست آمده از تغییر شکل تا نقطه شکست این نتیجه حاصل شد که اثر رطوبت در سطح احتمال 1 و همچنین اثر متقابل رقم، رطوبت و جهت بارگذاری در سطح احتمال 1 درصد بر تغییر شکل تا نقطه شکست معنی دار بود. تأثیر عوامل دیگر از لحاظ آماری معنی دار نبود (جدول 1). نتایج بررسی چگونگی تأثیر رطوبت بر تغییر شکل تا نقطه شکست از طریق آزمون مقایسه میانگین و نمودار رگرسیونی بین تغییر شکل شکست و محتوی رطوبت به ترتیب در جدول 3 و شکل 5 ارائه شده است.

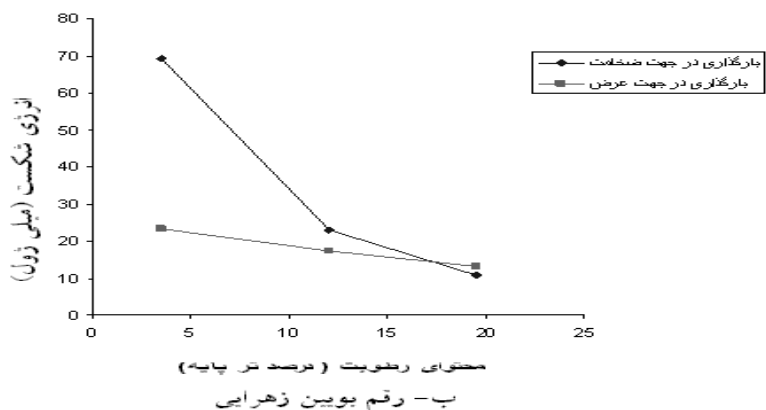
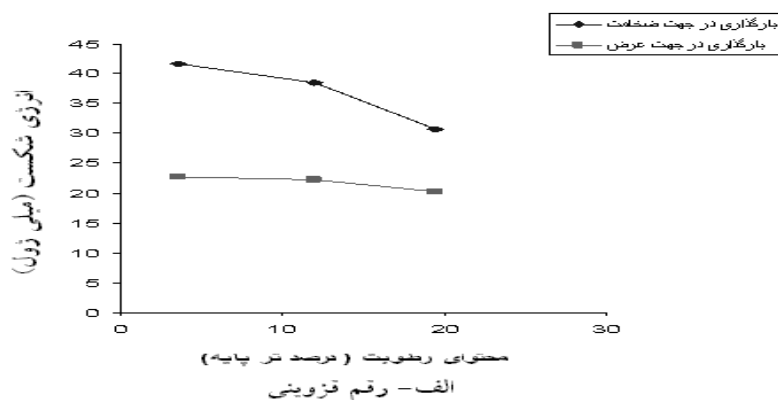
همان طور که در شکل 5 دیده می شود با افزایش رطوبت تغییر شکل تا نقطه شکست، برای هر دو رقم و در هر دو جهت بارگذاری افزایش پیدا می کند. افزایش رطوبت باعث نرم شدن پوسته سخت پسته و در هر دو جهت می شود و این امر باعث

گوشکی (1390) در تحقیقات خود بر روی خواص مکانیکی پسته رقم احمد آقایی نیز یک رابطه کاهشی خطی برای نیروی شکست با افزایش رطوبت در بارگذاری در راستای پهنا به دست آوردند (2). نظری گلدر و همکاران (2009) در تحقیقات خود بر روی خواص مکانیکی پنج رقم پسته تجاری مهم (اکبری، بادامی، کله قوچی، ممتاز و اوحدی) نیز یک رابطه کاهشی خطی برای نیروی شکست با افزایش رطوبت در بارگذاری در راستای به دست آوردند (10). مقایسه نتایج این تحقیق در مورد ارقام بومی قزوین با ارقام مورد مطالعه نظری گلدر و همکاران (2009) نشان داد که نیروی شکست دانه (هر دو رقم) (در سطح رطوبتی 3/5 درصد) بیشتر از نیروی شکست ارقام کله قوچی (98/47 نیوتن در سطح رطوبتی 6/35 درصد در جهت خوابیده)، اوحدی (90/31 نیوتن در سطح رطوبتی 5/77 درصد در جهت خوابیده)، ممتاز (85/13 نیوتن در سطح رطوبتی 4/82 درصد در جهت خوابیده)، اکبری (79/59 نیوتن در سطح رطوبتی 6/18 درصد در جهت خوابیده) و بادامی (72/26 نیوتن در سطح رطوبتی 4/83 درصد در جهت خوابیده) بود. بدون شک بافت سخت تر پسته ارقام

ضخامت و از 0/21 تا 0/72 میلی‌متر برای پسته رقم قزوینی در جهت بارگذاری عرض و از 0/51 تا 0/73 میلی‌متر برای پسته رقم بویین زهرایی در جهت بارگذاری ضخامت و از 0/36 تا 0/70 میلی‌متر برای پسته رقم بویین زهرایی در جهت بارگذاری عرض به طور معنی‌داری افزایش پیدا می‌کند. اما نظری گلدر و همکاران (2009) واکنشی معکوس برای رابطه تغییر شکل و محتوی رطوبت دانه و مغز پسته ارقام مهم تجاری به دست آورد.

می‌شود برای رسیدن به نقطه شکست تغییر شکل بیشتری حاصل شود.

جدول 3 مقایسه میانگین مقادیر تغییر شکل شکست پسته ارقام بومی قزوین را به روش چند دامنه‌ای LSD نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود تغییر شکل تا نقطه شکست با افزایش رطوبت از سطح 3/5 تا 19/5 درصد (تر پایه) از 0/31 تا 0/96 میلی‌متر برای پسته رقم قزوینی در جهت بارگذاری



شکل 7- منحنی اثر رطوبت بر تغییر انرژی شکست دانه پسته

جدول 1- تجزیه واریانس تاثیر رقم، رطوبت و جهت بارگذاری بر نیروی شکست، تغییر شکل شکست و انرژی شکست

منبع تغییرات	درجه آزادی	نیروی شکست	تغییر شکل شکست	انرژی شکست
رقم	1	387/58 ns	0/000 ns	0/058 ns
رطوبت	2	53645/8**	0/274**	0/437ns
رقم×رطوبت	2	11951/9*	0/219*	0/939*
جهت بارگذاری	1	14214/3ns	0/143ns	0/779ns
رقم×جهت بارگذاری	1	3405/46 ns	0/014 ns	0/003 ns
رطوبت×جهت بارگذاری	2	2735/12ns	0/028ns	0/270ns
رقم×رطوبت×جهت بارگذاری	2	2184/29**	0/052**00	0/147**
خطا	60	-	-	-
ضریب تغییرات (CV)	-	%9/52	%5/47	%25/99

** معنی دار در سطح احتمال 1 درصد، * معنی دار در سطح احتمال 5 درصد، ns اختلاف معنی داری وجود ندارد

جدول 2- مقایسه میانگین اثر رطوبت بر نیروی شکست پسته دهان بسته رقم قزوینی و بوبین زهرایی

سطح رطوبت	نیروی شکست پسته رقم قزوینی در جهت	نیروی شکست پسته رقم بوبین زهرایی در جهت
درصد (تر پایه)	ضخامت (نیوتن) عرض (نیوتن)	ضخامت (نیوتن) عرض (نیوتن)
3/5	118/31a	102/14a
12	88/23b	70/59b
19/5	63/72c	54/49c

حروف مشترک در هر ستون از نظر آزمون LSD در سطح احتمال 5 درصد اختلاف معنی داری ندارند.

جدول 4- مقایسه میانگین اثر رطوبت بر تغییر شکل تا نقطه شکست پسته دهان بسته رقم قزوینی و بوبین زهرایی

سطح رطوبت	تغییر شکل پسته رقم قزوینی در جهت	تغییر شکل پسته رقم بوبین زهرایی در جهت
درصد (تر پایه)	ضخامت (میلی متر) عرض (میلی متر)	ضخامت (میلی متر) عرض (میلی متر)
3/5	0/31c	0/21c
12	0/79b	0/58b
19/5	0/96a	0/72a

حروف مشترک در هر ستون از نظر آزمون LSD در سطح احتمال 5 درصد اختلاف معنی داری ندارند.

جدول 4- مقایسه میانگین اثر رطوبت بر انرژی شکست پسته دهان بسته رقم قزوینی و بوبین زهرایی

سطح رطوبت	انرژی شکست پسته رقم قزوینی در جهت	انرژی شکست پسته رقم بوبین زهرایی در جهت
درصد (تر پایه)	ضخامت (میلی ژول) عرض (میلی ژول)	ضخامت (میلی ژول) عرض (میلی ژول)
3/5	41/68a	22/80a
12	38/52ab	22/20a
19/5	30/70b	20/22b

حروف مشترک در هر ستون از نظر آزمون LSD در سطح احتمال 5 درصد اختلاف معنی داری ندارند.

ارقام کله قوچی (178/37 میلی ژول)، اوحدی (157/46 میلی-ژول)، ممتاز (146/38 میلی ژول)، اکبری (139/12 میلی ژول) و بادامی (124/51 میلی ژول) بود.

با مقایسه دو رقم بومی قزوین با هم، مشاهده شد که انرژی شکست پسته رقم بویین زهرا بیشتر از رقم قزوینی است که دلیل این امر می تواند دارا بودن پوسته ضخیم و بزرگ تر بودن پوسته رقم بویین زهرایی نسبت به رقم قزوینی باشد.

4- نتیجه گیری

نیروی شکست پسته هر دو رقم با افزایش رطوبت از سطح 3/5 تا 35/5 درصد (تر پایه) در هر دو جهت بارگذاری کاهش پیدا کرد و تاثیر آن در سطح احتمال 1 درصد معنی دار بود. نیروی مورد نیاز برای شکست پسته در جهت بارگذاری ضخامت بیشتر از نیروی مورد نیاز در جهت عرض بود و به همین دلیل برای شکست پسته بهتر است، بارگذاری در جهت عرض و در رطوبت بالاتر صورت گیرد. با افزایش رطوبت، تغییر شکل دانه به صورت معنی داری در سطح احتمال 1 درصد برای هر دو رقم و در هر دو جهت بارگذاری افزایش پیدا کرد. تاثیر رطوبت بر انرژی شکست دانه معنی دار نبود و انرژی شکست پسته رقم بویین زهرا بیشتر از رقم قزوینی بود.

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- گوشکی، ب. 1385. خواص فیزیکی و مکانیکی پسته (رقم احمد آقایی). پایاننامه کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد واحد تاکستان

3- مقصودی، م. 1382. بررسی رفتار ویسکوالاستیک دانه پسته دهان بسته تحت بارگذاری شبه استاتیک. مجموعه مقالات پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشینهای کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد.

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

5- <http://www.agrofodnews.com>.

6- Kashaninejad, M., Mortazavi, A., Safekordi, A., & Tabil, L. G. 2006. Some physical properties of

مقایسه بین ارقام مورد مطالعه نظری گلدر و همکاران با ارقام بومی قزوینی در سطح رطوبتی اولیه نشان می دهد که تغییر شکل تا نقطه شکست نسبت به ارقام کله قوچی، اوحدی، ممتاز، اکبری و بادامی کمتر می باشد (10).

نتایج تجزیه واریانس انجام شده بر روی انرژی شکست پسته ارقام بومی قزوین نشان داد که اثر متقابل رطوبت و رقم در سطح احتمال 5 درصد و همچنین اثر متقابل رقم، رطوبت و جهت بارگذاری در سطح احتمال 1 درصد بر انرژی شکست معنی دار بود (جدول 1). برای بررسی بیشتر این موضوع آزمون مقایسه میانگین چند دامنه LSD انجام شد (جدول 4). نتایج نشان داد با افزایش رطوبت از سطح 3/5 تا 19/5 درصد میزان انرژی شکست از 41/68 تا 30/70 میلی ژول برای پسته رقم قزوینی در جهت بارگذاری ضخامت و از 22/80 تا 20/26 میلی ژول برای پسته رقم قزوینی در جهت بارگذاری عرض و از 69/26 تا 10/65 میلی ژول برای پسته رقم بویین زهرایی در جهت بارگذاری ضخامت و از 23/17 تا 13/80 میلی ژول برای پسته رقم بویین زهرایی در جهت بارگذاری عرض، کاهش داشت (شکل 6). از آنجا که با افزایش رطوبت نیروی مورد نیاز برای شکست کاهش پیدا می کند، بدیهی است که انرژی مورد نیاز شکست هم کاهش پیدا کند.

با توجه به شکل 5 انرژی شکست برای دانه پسته در جهت بارگذاری ضخامت (برای هر دو رقم) بیشتر از انرژی شکست برای دانه پسته در جهت بارگذاری عرض می باشد که علت این امر می تواند به دلیل حالت قرارگیری و نوع شکل پسته باشد. چون در حالت خوابیده نیرو به سطح رویی پسته وارد می شود که مقاوم تر است پس نیروی بیشتری لازم است و انرژی بیشتری صرف می شود و اما در راستای عرض چون نیرو به دو لبه ی نازک پسته وارد می شود و زودتر شکسته می شود پس انرژی کمتری برای شکستن آن لازم است. این امر باعث می شود که انرژی بیشتری در حالت ضخامت نسبت به حالت عرض برای شکست جذب شود. نتایج این تحقیق برای رابطه بین انرژی شکست و محتوی رطوبت دانه پسته ارقام بومی قزوین (در جهت ضخامت) با نتایج مطالعات گوشکی (1390) و نظری گلدر (2009) کاملاً تطبیق داشت. همچنین مقایسه بین انرژی شکست ارقام پسته مورد مطالعه نظری گلدر (2009) با رقم مورد مطالعه این تحقیق در سطح رطوبتی اولیه نشان داد که انرژی شکست دانه ارقام بومی قزوین (در سطح رطوبتی 3/5 درصد) کمتر از انرژی شکست

- 10- Nazari Galdar, M., Mohtasebi, S.S., Tabatabaeefar, A., Jafari, A., and Fadaei, H. 2009. Mechanical behavior of pistachio nut and its kernel under compression loading. *Journal of Food Engineering*. 95:499–504.
- 11- Polat, R., Aydin, C., and Erolak, B. 2007. Some Physical and Mechanical Properties of Pistachio Nut. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 13: 237-246.
- 12- Shokraii, E.H., 1977. Chemical composition of the pistachio nuts of Kerman, Iran. *Journal of Food Science* 42, 244–245.
- pistachio (*Pistacia vera* L.) nut and its kernel. *Journal of Food Engineering*, 72, 30–38.
- 7- Maskan, M., Karatas, S., 1998. Fatty acid oxidation of pistachio nuts stored under various atmospheric conditions and different temperatures. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 77, 334–340.
- 8- Mohsenin N. N. 1986. Physical properties of plant and animal materials. New York: Gordon & Breach Science Publishers.
- 9- 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.