

مقاله پژوهشی

بررسی تأثیر گرمایش تیمار اهمیتیک بر برخی ویژگی‌های مکانیکی پسته دهان بسته

محسن آزادبخت^{۱*}، حمید رایینی مقبلی^۲، محمد واحدی ترشیزی^۲

۱. دانشیار گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
 ۲. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت: ۹۷/۱۰/۱۱، تاریخ آخرین بازنگری: ۹۸/۱/۲۲، تاریخ پذیرش: ۹۸/۲/۱۴)

چکیده

هدف از این تحقیق بررسی خندان کردن سه رقم پسته دهان بسته اکبری، احمد آقایی و فندقی با کمک گرمایش اهمیتیک بود. در این تحقیق تأثیر رقم‌های پسته‌ی اکبری، احمدآقایی و فندقی، جهت‌های بارگذاری عمودی-افقی و مدت‌زمان‌های اهمیتیک ۳، ۶ و ۹ بر روی ویژگی‌های مکانیکی پسته، شامل انرژی شکست، بیشینه نیرو، مقاومت شکست، چقرمگی و توان مصرفی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج با در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار با استفاده از نرم‌افزار SAS تحلیل شد. نتایج نشان داد مدت‌زمان اهمیتیک و جهت بارگذاری برای نیرو، انرژی، چقرمگی و مقاومت شکست از لحاظ آماری معنی‌دار شده است و رقم فقط برای انرژی و نیروی شکست معنی‌دار شده بود. برای ویژگی توان مصرفی هیچ‌کدام از فاکتورها معنی‌دار نشده بود. همچنین با افزایش مدت‌زمان گرمایش اهمیتیک مقدار نیروی شکست نمونه‌ها رقم اکبری، احمد آقایی و فندقی از N ۳۱۲/۶، ۳۰۳/۷۵، ۲۶۱/۷۶ که برای شاهد بود به N ۱۲۵/۷۶، ۱۳۸/۶۸، ۱۸۹/۶۵ رسید. به همین ترتیب رقم‌ها برای انرژی شکست از J ۳۸۴/۹۵، ۳۰۰/۳، ۲۲۸/۰۶ به J ۱۳۹، ۱۲۰/۹، ۱۸/۱۴ و در مقاومت شکست از $N.m^2$ ۶/۸۴، ۶/۹۹ و ۷/۳۳ به $N.m^2$ ۲/۸۰، ۵/۴۰ و ۴/۹۲ و در نهایت برای چقرمگی از $J.m^3$ ۰/۳۵۳، ۰/۳۴۳ و ۰/۲۴۷ به $J.m^3$ ۰/۱۶۷، ۰/۲۴۷ و ۰/۲۲۰ بوده که در زمان اهمیتیک ۹ min به دست آمده است. همچنین با بارگذاری به صورت عمودی نیروی شکست نسبت به حالت افقی کمتر شد. برای گرمایش اهمیتیک با زمان ۹ min کمترین نیروی شکست و ویژگی‌های مکانیکی دیگر برای خندان شدن و زمان‌های ۶ min و ۳ دارای مقدار نیروی شکست بیشتری و ویژگی‌های مکانیکی دیگر برای خندان شدن نسبت به نمونه‌های بدون گرمایش اهمیتیک همراه بود.

واژه‌های کلیدی: پسته، گرمایش اهمیتیک، ویژگی‌های مکانیکی، جهت بارگذاری.

۱. مقدمه

پسته گیاهی نیمه گرمسیری از خانواده اناکاردیاسه *Anacardiaceae* و جنس *pistacia* می‌باشد که نام *Pitacia* از کلمه فارسی پیسته یا پسته گرفته شده است. مناطق اولیه رشد پسته، در آسیای میانه، در مرزهای افغانستان، شوروی سابق و مرزهای شمال شرق ایران بوده است [۱]. پسته شامل یک مغز (هسته) که در یک غشا سخت و استخوانی به نام پوست درونی و یک پوست نرم و گوشتی به نام پوست بیرونی پوشیده شده است. قسمت خوراکی پسته همان مغز پسته است که پس از باز شدن پوست درونی به هنگام بلوغ قابل خوردن می‌باشد [۲]. پوست سخت پسته (اندوکارپ) در راستای درز آن شکافته می‌شود، که یک ویژگی مطلوب است [۳]، پسته معمولاً به صورت خندان به فروش می‌رسد تا به سادگی با دست به صورت آجیلی قابل مصرف باشد. پسته به دلیل طعم، مزه و ارزش غذایی و مزایای مرتبط با سلامت انسان یکی از محبوب‌ترین محصولات کشاورزی می‌باشد [۴]. این محصول دارای ارزش تغذیه‌ای بالا جهت تبدیل شدن به یک منبع پروتئین‌های گیاهی فیبر با اثرات مثبت است [۵]. همچنین دارای موادی برای کاهش کلسترول با چگالی کم می‌باشد، پسته دارای ۵۰ تا ۶۰ درصد اسیدهای چرب اشباع نشده است که برای سلامتی مفید می‌باشد. [۵، ۷] در مسیر فراوری پسته جهت حفظ و نگهداری و بازاریابی این محصول ارزش‌آور با پسته‌های دهان بسته روبه‌رو هستیم که مصرف این محصول را مشکل می‌کند و در بعضی سال‌ها درصد ناخندانی ممکن است تا ۴۱ درصد نیز برسد [۸]. خندان بودن فاکتور مهمی در مشتری‌پسندی این محصول و حفظ موقعیت در عرصه صادرات می‌باشد. برخی ویژگی‌های مکانیکی دانه‌های پسته دهان بسته برای طراحی تجهیزات خندان کردن و دیگر مراحل فراوری دارای اهمیت هستند. طراحی دستگاه‌های مربوطه بدون توجه به این ویژگی‌های با نتایج ضعیفی همراه خواهد بود، بنابراین تعیین و توجه به این ویژگی‌های یک اصل مهم است. همچنین لازم است که روش‌های تشخیص ویژگی‌های تک‌محصول جایگزین روش‌های بررسی توده محصول گردد [۹، ۱۰]. ویژگی‌های مکانیکی مواد می‌تواند درک جامع و روشن‌تری از ویژگی‌های فیزیکی و در نتیجه خصوصیات بافت آن ماده به دست دهد، لذا این مفهوم پایه و اساس بسیاری از روش‌های ابزاری در شناسایی خصوصیات بافت مواد بیولوژیک می‌باشد [۱۱، ۱۲]. تحقیقات

زیادی در زمینه‌ی تعیین ویژگی‌های مکانیکی و شکستن پوسته خارجی بعضی محصولات کشاورزی، تحت اثر نیروهای استاتیک و شبه استاتیک انجام شده است. از جمله پژوهش‌های انجام شده در این زمینه می‌توان تحقیق بر روی دانه فندق [۱۳]، بر روی بادام [۱۴]، بر روی هسته‌ی زردآلو [۱۵]، بر روی زیتون [۱۶] و بر روی دانه سویا [۱۷] اشاره کرد. یکی از روش‌های ایجاد تغییرات در ویژگی‌های مکانیکی مواد، فرایند حرارت دهی است، فرایندهای حرارتی مرسوم اساساً شامل مکانیزم انتقال حرارت به صورت همرفتی، هدایتی و یا تابشی می‌باشند [۱۸]. از طرفی فرایندهای حرارتی با توجه به مقاومت داخلی ماده در برابر هدایت حرارتی باعث از دست رفتن کیفیت محصول می‌شود که برای غلبه بر این مشکل فناوری‌های جایگزین مورد تحقیق قرار گرفته‌اند که یکی از این فناوری‌ها استفاده از انرژی الکتریکی به طور مستقیم در فراوری مواد غذایی می‌باشد. گرمایش اهمی یک تکنیک گرمایش الکتریکی است که بر اساس عبور جریان الکتریکی از میان یک ماده غذایی که دارای مقاومت الکتریکی است کار می‌کند [۱۹]. مزیت آشکار روش اهمی نسبت به روش‌های مرسوم عدم وجود اختلاف دما در محلول می‌باشد. همچنین از مزایای روش گرمایش اهمی می‌توان به حفظ رنگ و کیفیت، کاهش زمان فراوری و عملکرد بالای آن اشاره کرد. مزایای گرمایش اهمی نسبت به روش‌های حرارتی مرسوم را می‌توان به صورت زیر بیان کرد [۲۰، ۲۱]. الف) گرمایش محصولات کشاورزی و مواد غذایی به کمک تولید داخلی گرما و بدون محدودیت‌های سیستم‌های گرمایشی مرسوم، عدم یکنواختی توزیع دما و همچنین برخی از محدودیت‌های گرمایشی ماکروویو مانند نفوذی الکتریک انجام می‌شود. ب) در محلول‌های دوفازی جامد-مایع، فاز مایع می‌تواند دمای بالاتری از فاز جامد داشته باشد که در گرمایش هدایتی غیرممکن است. پ) تشکیل رسوب بر روی سطوح انتقال حرارت به حداقل می‌رسد که در نتیجه آن از سوختن محصولات کشاورزی و مواد غذایی و از بین رفتن ویتامین‌ها و پروتئین‌ها جلوگیری می‌شود. ت) کنترل فرایند در آن به آسانی ممکن است. ث) دوستدار محیط‌زیست می‌باشد. گرمایش اهمی نام خود را از قانون اهم گرفته است که رابطه‌ای بین جریان، ولتاژ و مقاومت الکتریکی یک ماده بیان می‌شود. محصولات کشاورزی و غذایی هنگامی که بین دو الکترود قرار می‌گیرند به‌عنوان یک مقاومت عمل نموده و

ضمن تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی دانه و مغز پسته رقم احمداقایی، اثر رطوبت در سطوح مختلف بر این خواص بررسی شد. نتایج بررسی خواص هندسی نشان داد که رطوبت تأثیر معنی‌داری بر ابعاد (به‌جز عرض دانه پسته)، میانگین قطر هندسی و حسابی، مساحت سطح رویه دانه و مغز پسته داشت، اگرچه این تأثیر رطوبت بر کرویت دانه پسته بی‌معنی بود ولی کرویت مغز پسته را در سطح احتمال ۱ درصد تحت تأثیر قرار داد. همچنین نتایج نشان داد که نیرو، انرژی شکست دانه و مغز با افزایش رطوبت به‌صورت معنی‌داری کاهش می‌یابد اما تغییر شکل تا نقطه شکست با افزایش رطوبت افزایش می‌یابد [۲۴]. بنابراین این پژوهش باهدف بررسی تأثیر گرمایش اهمیت بر برخی ویژگی‌های مکانیکی پسته دهان بسته به‌منظور خندان کردن و مقایسه آن با یک نمونه بدون گرمایش اهمیت انجام شد و با توجه به اهمیتی که در ارتباط بین ویژگی‌های مکانیکی ماشین‌های مربوط وجود دارد بدیهی است تعیین چنین ویژگی‌های مهم و ضروری می‌باشد و می‌تواند اطلاعات کامل‌تری در اختیار دیگران قرار دهد.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۱. آماده‌سازی

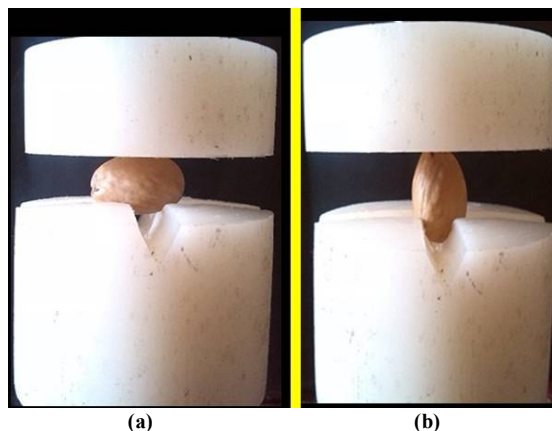
ابتدا سه رقم پسته اکبری، احمداقایی و فندق از استان کرمان تهیه و از میان پسته‌های خریداری‌شده، برای این تحقیق از پسته‌های که کاملاً دهان بسته بود استفاده شد. تمامی پسته‌ها وزن و اندازه‌گیری گردید و سعی شد که از پسته‌هایی با ابعاد تقریباً یکسانی استفاده شود، که به ترتیب میانگین طول، عرض، ضخامت و وزن پسته برای رقم اکبری، ۲۱/۳۹، ۱۲/۳۸ و ۱۰/۵۸ mm، ۱/۲۱g و رقم احمداقایی ۱۸/۵۶، ۱۱/۶۷ و ۱۱/۱۷ mm، ۰/۹۶۴g و برای رقم فندق ۱۷/۷۲، ۱۱/۷۴ و ۱۱/۲۱ mm، ۰/۹۲۱g بود. پس از انجام مراحل آماده‌سازی پسته‌ها برای انجام آزمون مکانیکی دسته‌بندی شد. برای انجام آزمون مکانیکی نمونه‌ها به سه رقم تقسیم‌بندی شدند که هر یک از این رقم‌ها به مدت ۳، ۶ و ۹ min با روش گرمایش اهمیت پیش تیمار شده و در دو جهت افقی و عمودی در سه تکرار برای اندازه‌گیری ویژگی‌های مکانیکی آماده شد. رطوبت اولیه در این آزمایش برای پسته اکبری، احمداقایی و فندق به ترتیب ۶/۳۲، ۵/۲۶ و ۵/۵۱ درصد بر پایه خشک به دست آمد [۲۵].

جریان از بین آن‌ها عبور می‌کند. به‌عبارت‌دیگر محصول قسمتی از مدار الکتریکی است انرژی تقریباً به‌طور کامل در داخل مواد حرارت دیده پراکنده می‌شود، بنابراین هیچ نیازی به گرم کردن از طریق دیواره‌های مبدل گرما وجود ندارد و در نتیجه راندمانی نزدیک به ۱۰۰ درصد دارد و در مقایسه با گرمایش اهمیت راندمان تبدیل انرژی گرمایش ماکروویوی در بهترین حالت ۶۵ درصد است [۲۲].

الکترودها در فرایند گرمایش اهمیت به‌عنوان نقطه اتصال هادی‌های جامد و مایع می‌توانند نقش اساسی در این فرایند گرمایش اهمیت داشته و همچنین بر انتقال جریان به‌صورت یکنواخت در محیط گرمایش تأثیرگذار باشند [۱۹]. محققانی به بررسی رسانایی الکتریکی میوه‌ها و گوشت در روش گرمایش اهمیت پرداختند. آن‌ها بیان کردند که طراحی مؤثر سیستم گرمایش اهمیت به ضریب هدایت الکتریکی ماده غذایی وابسته است. در سال ۲۰۰۸ در تحقیقی دیگر به بررسی تأثیر گرمایش اهمیت بر هدایت الکتریکی میوه‌ها پرداخته شد. در این مطالعه تأثیر تغییرات دما بر هدایت الکتریکی میوه‌های تازه هلو، سیب گلدن، سیب قرمز، توت‌فرنگی و آناناس مورد ارزیابی قرار گرفت. از میوه‌های انتخابی برش‌هایی به‌صورت استوانه‌ای شکل جدا و بین دو الکترود قرار داده شدند. نتایج این تحقیق نشان می‌داد که دما و هدایت الکتریکی با زمان افزایش می‌یابند [۱۹]. از آنجایی که رطوبت و حرارت بر بافت محصولات کشاورزی تأثیر زیادی می‌گذارد، بررسی خواص ذکرشده در رابطه با رطوبت بسیار حائز اهمیت می‌باشد. مقصودی و همکاران بررسی رفتار ویسکوالاستیک دانه پسته دهان بسته را تحت بارگذاری شبه استاتیکی مورد مطالعه قرار دادند. در این تحقیق آزمایش تنش برای دو رقم اوحدی و بادامی در ۴ سطح رطوبتی (۵ تا ۲۰ درصد) و ۲ سرعت بارگذاری (۱۰ و ۴۰ mm/min) انجام شد. در این آزمایش نمودار لگاریتمی نیرو نسبت به زمان ترسیم گشت و مقادیر ضرایب مدل سه‌جزئی ماکسول، در ۴ سطح رطوبتی به دست آمد. نتایج به‌دست‌آمده 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 و همچنین مشخص گردید که افزایش سرعت بارگذاری، عامل افزایش نیرو و را به همراه شده است [۲۳]. گوشکی خواص فیزیکی و مکانیکی پسته رقم احمداقایی را مورد مطالعه قرار داد. در این تحقیق

۲.۲. ویژگی‌های مکانیکی و خندان کردن

برای آزمون مکانیکی و خندان کردن از دستگاه آزمون کشش- فشار بانام تجاری اینسترون (ساخت ایران- Model Santam- STM5) با یک لود سل ۵۰۰ N استفاده شد. بر روی این دستگاه دو فک مخصوص که در گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان طراحی ساخته و قرار داده شد تا فشار بر روی پسته‌ها به صورت متمرکز و یکسان وارد شود. از اینسترون مقادیر بیشینه نیروی شکست استخراج و انرژی کلی شکست به وسیله بررسی سطح زیر نمودار محاسبه شد مقاومت شکست و توان مصرفی با استفاده از روابط ۱ و ۲ و چقرمگی نیز با استفاده از تقسیم انرژی شکست بر حجم نمونه‌ها، مورد ارزیابی قرار گرفت.



شکل (۱) نحوه قرارگیری پسته‌ها در درون اینسترون (a بارگذاری افقی، b) بارگذاری عمودی

Fig. 1. Pistachios in positioning mode Load cell, a) Horizontal loading, b) Vertical loading

با توجه به مقدار نیروی برشی حداکثر و مساحت سطح برش، مقاومت برشی ساقه طبق فرمول (۱) محاسبه شد [۱۱]:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

F = نیروی برشی (N)، A = مساحت سطح برش (mm²)، σ = مقاومت برشی (MPa)

مساحت سطح برش با نرم افزار Image J، نرم افزار قدرتمند آنالیز تصویر، اندازه گیری شد. این نرم افزار توانایی محاسبه آماری مقادیر مساحت و پیکسل‌های بخش‌های انتخاب شده از تصویر توسط کاربر را دارد.

برای محاسبه توان مصرفی از فرمول (۲) استفاده شد [۱۱]:

$$P = \frac{E_a \cdot v}{6000 \cdot D} \quad (2)$$

P، توان مصرفی (W)، E_a، انرژی برشی مجموع (mj)، v، سرعت

تیغه (mm/min)، D، جابه‌جایی ماکسی موم (mm)

۳.۲. تحلیل آماری

در این تحقیق رقم پسته، مدت زمان اهمیک و جهت بارگذاری به عنوان متغیر مستقل و نیروی شکست، انرژی شکست، توان مصرفی، چقرمگی و مقاومت شکست به عنوان متغیر وابسته مدنظر قرار گرفت که داده‌های به دست آمده در نرم افزار صفحه گسترده اکسل مرتب شدند. تمامی آزمایش‌ها در سه تکرار انجام شد و نتایج با استفاده از آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم افزار آماری SAS تحلیل شدند.

۳. نتایج و بحث

با توجه به جدول (۱) نتایج آنالیز واریانس اثر رقم برای انرژی شکست و بیشینه نیرو، اثر گرمایش اهمیک برای انرژی شکست، بیشینه نیرو و مقاومت، اثر گرمایش اهمیک × رقم برای انرژی شکست، بیشینه نیرو، مقاومت و چقرمگی و اثر جهت × گرمایش اهمیک برای انرژی شکست در سطح ۱ درصد معنی دار بود. اثر گرمایش اهمیک برای چقرمگی در سطح ۵ درصد معنی داری مشاهده شد و برای بقیه موارد معنی داری مشاهده نشد.

مطابق با شکل (۲)، رقم اکبری در زمان ۹ min با زمان‌های دیگر اهمیک و همچنین با مقدار شاهد اختلاف معنی دار دارد، اما دو رقم دیگر با زمان‌های اهمیک و مغایر شاهد اختلاف معنی دار ندارند، یعنی می‌توان این گونه گفت که رقم اکبری با افزایش زمان اهمیک و جذب رطوبت و گرمای بیشتر بافتان نرم تر شده و در نتیجه انرژی شکست آن نسبت به نمونه‌های شاهد و زمان اهمیک کمتر کاهش یافته و این را می‌توان به علت بافت خاص این رقم بیان نمود. همچنین غلامی پرشکوهی و همکاران در تحقیقی مشابه به متفاوت بودن جنس پوسته در ارقام مختلف پسته به نتایج مشابهی دست یافتند و وینسنت هم در تحقیقات خود به متفاوت بودن جنس بافت گیاهان به نتایجی رسید [۲۶]. [۲۷]. با افزایش زمان گرمایش اهمیک و افزایش رطوبت مشاهده می‌شود که مقدار انرژی شکست برای خندان کردن کم شده که با یافته‌های کوبینکو و همکاران بر روی ویژگی‌های شکست دانه گردو انجام شده مطابقت دارد [۲۸].

مطابق شکل (۳)، در رقم اکبری و فندق بین زمان‌های مختلف اهمیک، اختلاف معنی داری وجود دارد؛ یعنی هر چه زمان

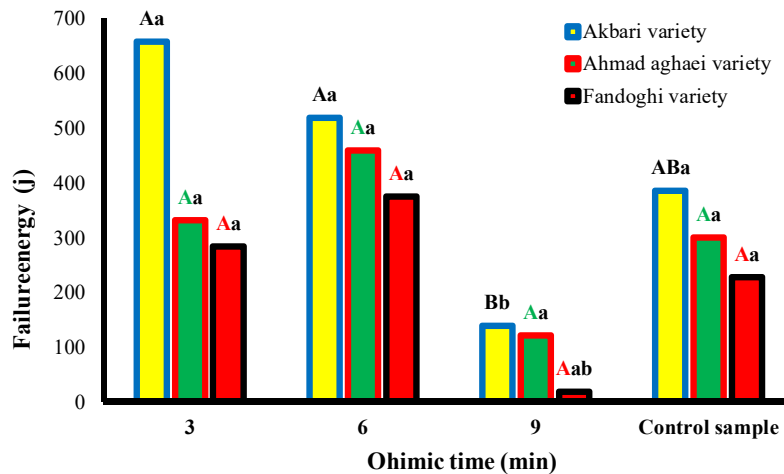
جدول (۱) نتایج آنالیز واریانس برای انرژی شکست، بیشینه نیروی شکست، مقاومت شکست، چقرمگی و توان مصرفی

Table 1. Results of analysis of variance for energy, maximum force, failure strength, toughness and power

مقاومت شکست Failure Strength		بیشینه نیروی شکست Failure Force energy		انرژی شکست Failure energy		درجه آزادی	متغیرها
مقدار F F value	میانگین مربعات Mean squar	مقدار F F value	میانگین مربعات Mean squar	مقدار F F value	میانگین مربعات Mean squar		
1/66 ^{ns}	2/12465934	6/26**	13548/9917	8/96**	161616/279	2	رقم Variety
22/65**	28/94105929	28/26**	61157/7353	8/36**	150948/937	3	گرمایش اهمیک Ohmic heat
56/77**	72/52671679	7/95**	17209/7628	74/73**	1348710/133	1	جهت Orientation
5/31**	6/77867938	4/85**	10503/4196	6/23**	112401/252	6	گرمایش اهمیک×رقم Ohmic heat×Variety
1/58 ^{ns}	2/01575796	1/10 ^{ns}	2377/1164	1/27 ^{ns}	22983/461	2	جهت×رقم Orientation×Variety
0/52 ^{ns}	0/66996052	0/94 ^{ns}	2039/1141	5/37**	96892/581	3	جهت×گرمایش اهمیک Orientation×Ohmic heat
1/2774917		17745/4732		18046/914		54	خطا ERROR
چقرمگی Thouphness		توان مصرفی Consuming power				درجه آزادی	متغیرها
مقدار F F value	میانگین مربعات Mean squar	مقدار F F value	میانگین مربعات Mean squar				
0/32 ^{ns}	0/01018621	1/00 ^{ns}		1/62073199		2	رقم Variety
2/83*	0/08881917	1/00 ^{ns}		1/61745261		3	گرمایش اهمیک Ohmic heat
34/94**	1/09832436	1/01 ^{ns}		1/64092116		1	جهت Orientation
4/33**	0/13619264	1/00 ^{ns}		1/62490651		6	گرمایش اهمیک×رقم Ohmic heat×Variety
0/17 ^{ns}	0/00541330	1/00 ^{ns}		1/61831729		2	جهت×رقم Orientation×Variety
0/83 ^{ns}	0/02600125	1/00 ^{ns}		1/61990439		3	جهت×گرمایش اهمیک Orientation×Ohmic heat
1/6209304		0/03143204				54	خطا ERROR

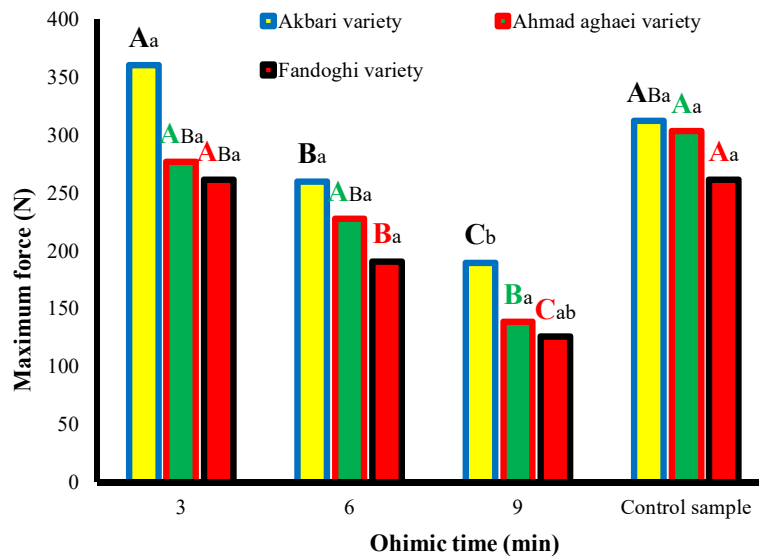
در زمان اهمیک بالا (9min) در تمام رقم‌ها با تیمار کنترل یا شاهد اختلاف معنی‌دار وجود دارد؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت هر چه مدت‌زمان اهمیک بیشتر شود، مقدار بیشینه نیروی شکست کمتر می‌گردد. علت آن را می‌توان این‌گونه بیان نمود که هر چه زمان اهمیک بیشتر شود جذب رطوبت بیشتر شده و در نتیجه نیروی شکست کاهش می‌یابد. لئو و همکاران کاهش نیروی شکست سویا را با افزایش رطوبت گزارش کردند که با نتایج این کار شباهت دارد [۲۹].

بیشتر شود مقدار بیشینه نیروی شکست کمتر می‌شود. علت این تفاوت می‌تواند به دلیل شکل و نوع بافت و ترکیبات خاص این دو رقم باشد که با افزایش زمان اهمیک بافتشان تغییرات بیشتری از خود نشان می‌دهد، هنگامی که پسته در معرض رطوبت قرار می‌گیرد تغییراتی در بافتان صورت می‌گیرد و نرم‌تر می‌شود که بر نیروی شکست هم تأثیرگذار است و مقدار بیشینه نیروی شکست برای خندان شدن کاهش می‌یابد. وینسنت به متفاوت بودن بافت گیاهان در تحقیقات خود به نتایجی دست‌یافت [۲۶].



شکل (۲) نمودار اثر متقابل زمان اهمیک و رقم بر روی انرژی شکست (زمان اهمیک×رقم). حروف مشابه بزرگ نشانگر عدم وجود معنی‌دار برای هر رقم پسته در زمان‌های مختلف اهمیک، حروف مشابه کوچک نشانگر عدم وجود معنی‌دار برای رقم‌های مختلف پسته

Fig. 2. The effect of ohmic time and variety on failure energy (Ohmic time×variety), The same large letters indicate a significant lack for each pistachio variety at different times ohmic, The same large letters indicate a significant lack for different pistachio varietyd



شکل (۳) نمودار اثر متقابل زمان اهمیک و رقم بر روی بیشینه نیرو (زمان اهمیک×رقم). حروف مشابه بزرگ نشانگر عدم وجود معنی‌دار برای هر رقم پسته در زمان‌های مختلف اهمیک، حروف مشابه کوچک نشانگر عدم وجود معنی‌دار برای رقم‌های مختلف پسته

Fig. 3. The effect of ohmic time and variety on maximom force (Ohmic time×variety), The same large letters indicate a significant lack for each pistachio variety at different times ohmic, The same large letters indicate a significant lack for different pistachio varietyd

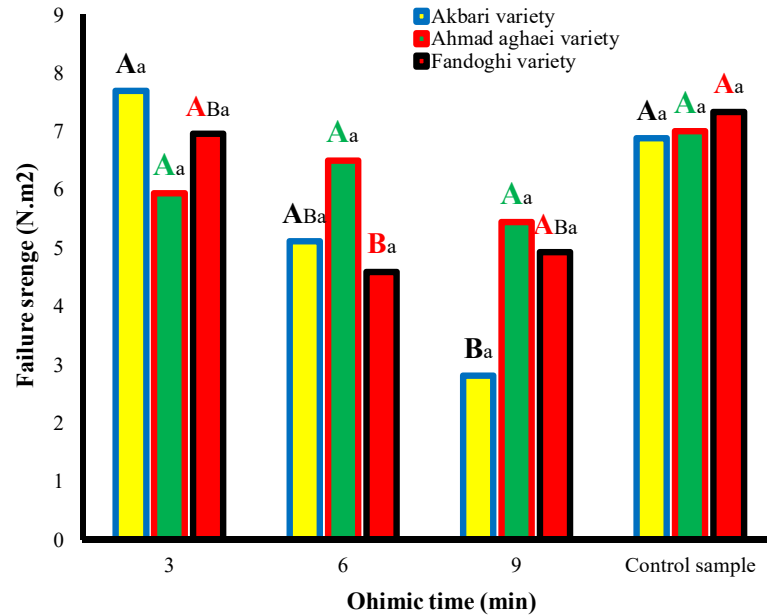
انجام دادند که نتیجه گرفتند رطوبت بر روی بافت و نیروی شکست تأثیرگذار است که نتایج مشابهی با این پژوهش داشت [۳۰، ۱۳].

طبق شکل (۴) فقط رقم اکبری با تیمار شاهد در بالاترین زمان اهمیک 9min اختلاف معنی‌دار دارد؛ یعنی زمان اهمیک بالا در رقم اکبری مقاومت به شکستن را کاهش می‌دهد، ولی در سایر

با افزایش زمان گرمایش اهمیک و جذب گرما و رطوبت بیشتر می‌بینیم که مقدار بیشینه نیرو برای شکست و خندان کردن کاهش می‌یابد. گلمحمدی و همکاران اثر رطوبت بر روی ویژگی‌های مکانیکی پسته تحقیقاتی انجام دادند که نتایج مشابهی داشت. صبوری و همکاران و آیدین تحقیقاتی در رابطه با رطوبت و نیروی شکست به ترتیب بر روی پسته و فندق و بادام

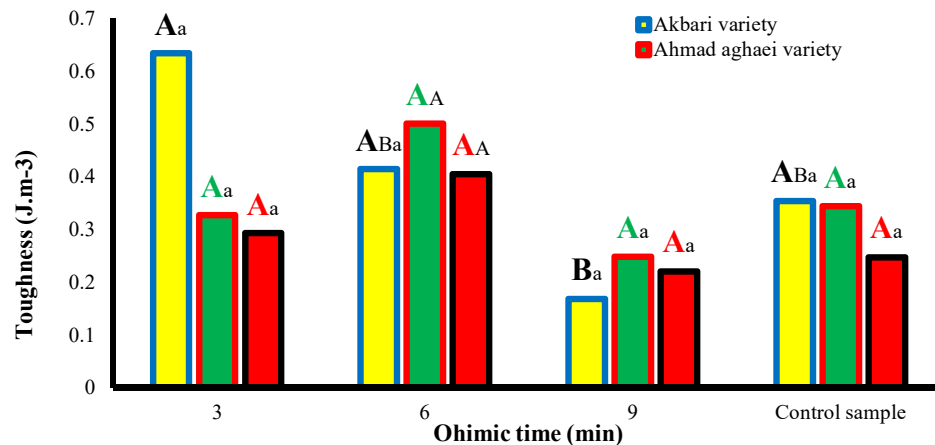
با توجه به نمودار شکل (۵) مشاهده می‌شود که با افزایش زمان اهمیت رقم اکبری با دو رقم دیگر یعنی احمدقایی و فندقی اختلاف معنی‌دار دارد. مقدار چقرمگی با افزایش زمان اهمیت و افزایش رطوبت کاهش یافته می‌توان علت این رفتار را کاهش نیروی شکست و افزایش حجم پسته رقم اکبری با توجه به بزرگ‌تر بودن این رقم را در رطوبت‌های بالاتر بیان نمود. رقم اکبری با توجه به بزرگ‌تر بودن مشاهده می‌شود که چقرمگیان

رقم‌ها این اتفاق نیفتاده است. علت این مشاهده را می‌توان به دلیل وجود کلسیم متفاوت و یا شکل خاص در رقم اکبری نسبت به دو رقم دیگر بیان نمود. رقم اکبری به دلیل بزرگ‌تر بودن شکل دانه دارای سطح تماس بیشتری می‌باشد در نتیجه مقدار مقاومت هم کمتر می‌شود علی‌بابا و همکاران به چنین نتایج مشابهی دست یافتند. همچنین وینسنت به متفاوت بودن بافت گیاهان به نتایج رسید [۲۶، ۳۱].



شکل (۴) نمودار اثر متقابل زمان اهمیت ورقم بر روی مقاومت شکست (زمان اهمیت×رقم) حروف مشابه بزرگ نشانگر عدم وجود معنی‌دار برای هر رقم پسته در زمان‌های مختلف اهمیت، حروف مشابه کوچک نشانگر عدم وجود معنی‌دار برای رقم‌های مختلف پسته

Fig.4. The effect of ohmic time and variety on failure strength (Ohmic time×variety) The same large letters indicate a significant lack for each pistachio variety at different times ohmic, The same large letters indicate a significant lack for different pistachio varietyd



شکل (۵) نمودار اثر متقابل زمان اهمیت ورقم بر روی چقرمگی (زمان اهمیت×رقم) حروف مشابه بزرگ نشانگر عدم وجود معنی‌دار برای هر رقم پسته در زمان‌های مختلف اهمیت، حروف مشابه کوچک نشانگر عدم وجود معنی‌دار برای رقم‌های مختلف پسته

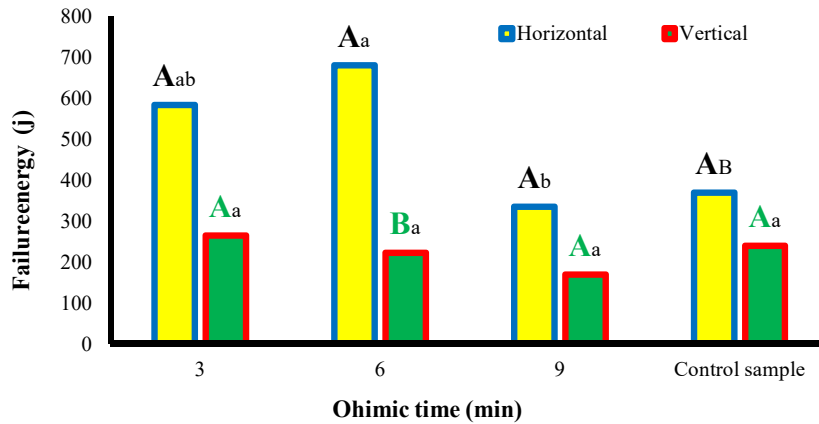
Fig.5. The effect of ohmic time and variety on toughness (Ohmic time×variety) The same large letters indicate a significant lack for each pistachio variety at different times ohmic, The same large letters indicate a significant lack for different pistachio varietyd

فشار بیشتر؛ نیرو کمتر برای شکست و خندان کردن لازم است. با افزایش زمان گرمایش اهمیک و جذب رطوبت بیشتر جنس پوسته نرم‌تر شده و نیرو و در نتیجه انرژی هم کمتر می‌شود که با تحقیقات نظری گلدر مشابه است. نظری گلدر در تحقیقی اثر بارگذاری را در راستای طول و عرض و ضخامت انجام دادند که به نتایج مشابهی دست یافتند [۳۲].

با توجه به شکل‌های ۹-۷، مشاهده می‌شود که بین جهت‌های افقی و عمودی اختلاف معنی‌دار وجود دارد همچنین مقدار نیرو برای حالت افقی بیشتر است و این می‌تواند به دلیل سطح تماس بیشتری که در حالت افقی است و در نتیجه مقدار نیرو و فشار بیشتری برای موارد ذکر شده لازم می‌باشد. در تحقیقی که نظری گلدر [۳۲] انجام دادند به چنین نتایج مشابهی دست یافتند.

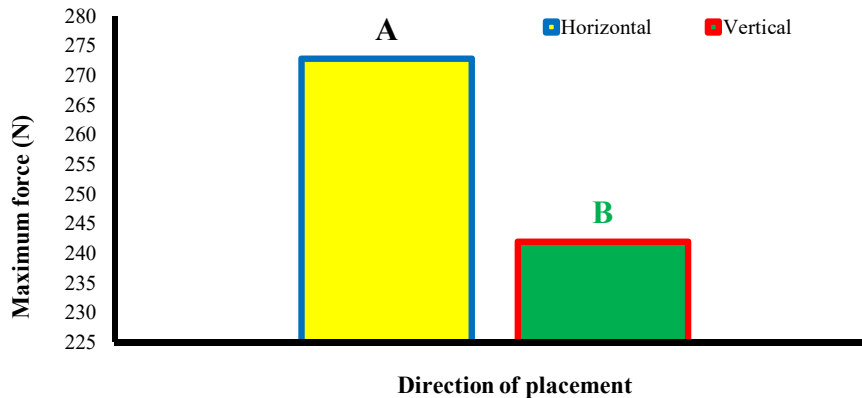
کاهش یافته است. در تحقیقاتی مشابه صبوری و همکاران بر روی پسته [۳۰] و کوبلای و فاروک بر روی هسته زردآلو دست یافتند که با افزایش رطوبت حجم افزایش یافته و نیروی شکست هم کمتر شده و در نتیجه مقدار چقرمگی هم کاهش یافته است. در تحقیقی مشابه روی هسته زردآلو مشاهده شد که چقرمگی هسته با کاهش رطوبت افزایش می‌یابد [۱۵].

با توجه به نمودار شکل (۶) مشاهده می‌کنیم که انرژی برای حالت عمودی و در زمان ۶ min متفاوت است و تفاوت معنی‌دار دارد. علت این اتفاق را می‌توان به دلیل جهت قرارگیری و اثرگذاری مدت‌زمان خاص گرمایش اهمیک بیان نمود. همچنین مشاهده می‌شود که با افزایش زمان گرمایش اهمیک و رطوبت بیشتر مقدار انرژی موردنیاز به مراتب هم در حالت افقی و هم در حالت عمودی کمتر شده و در حالت عمودی به دلیل سطح کمتر و



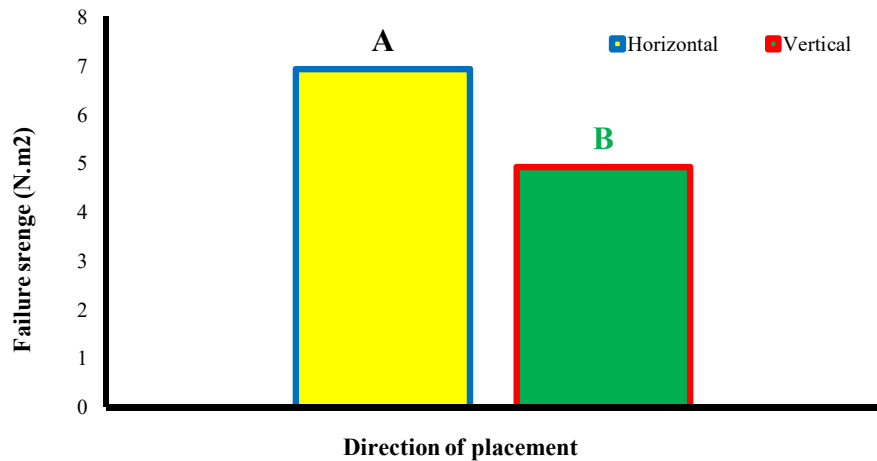
شکل (۶) نمودار اثر متقابل زمان اهمیک و جهت بر روی انرژی شکست (زمان اهمیک×جهت) حروف مشابه بزرگ نشانگر عدم وجود معنی‌دار برای هر رقم پسته در زمان‌های مختلف اهمیک، حروف مشابه کوچک نشانگر عدم وجود معنی‌دار بین جهت‌های افقی و عمودی

Fig.6. The effect of time on failure energy (Ohmic time× orientation) ohmic and orientation, The same large letters indicate a significant lack for each pistachio variety at different times ohmic, The same large letters indicate a significant lack between horizontal and vertical

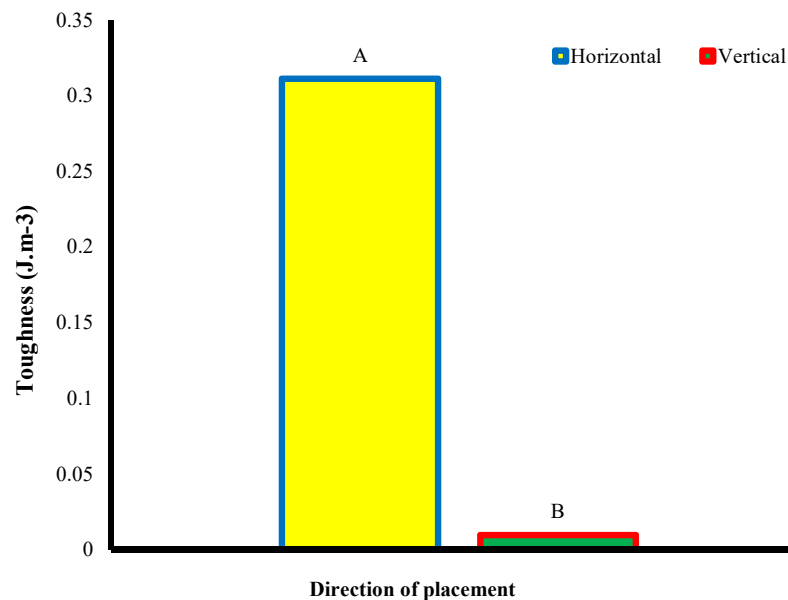


شکل (۷) نمودار اثرات جهت بر روی بیشینه نیرو، حروف مشابه نشانگر عدم وجود اختلاف بین جهت‌های افقی و عمودی

Fig. 7. The effect of orientation on maximum force, The same letters indicate a significant lack between horizontal and vertical



شکل (۸) نمودار اثرات جهت بر روی مقاومت شکست، حروف مشابه نشانگر عدم وجود اختلاف بین جهت‌های افقی و عمودی
 Fig. 8. The effect of orientation on failure strength, The same letters indicate a significant lack between horizontal and vertical



شکل (۹) نمودار اثرات جهت بر روی چقرمگی، حروف مشابه نشانگر عدم وجود اختلاف بین جهت‌های افقی و عمودی
 Fig. 9. The effect of orientation on toughness, The same letters indicate a significant lack between horizontal and vertical

کردن پسته بود. با بررسی زمان و رقم و جهت قرارگیری مشخص شد که با افزایش زمان گرمایش اهمیت و جهت قرارگیری عمودی ویژگی‌های مکانیکی و در نتیجه خندان کردن پسته تحت تأثیر قرار می‌گیرد و نیروی کمتری برای شکست پسته و خندان کردن مورد نیاز است و همچنین رقم اکبری نسبت به دو رقم دیگر (احمدقایی و فندق) متفاوت است. در این تحقیق مشخص شد در گرمایش اهمیت نمونه‌ها در زمان ۹ min کمترین و در زمان

۴. نتیجه‌گیری

در این تحقیق رفتار خندان کردن سه رقم پسته دهان بسته (اکبری، احمدقایی و فندق) با توجه به ویژگی‌های مکانیکی و با استفاده از گرمایش اهمیت در زمان‌های ۶،۳ و ۹ و در دو جهت افقی و عمودی بررسی و در نهایت نمونه‌های گرمایش اهمیت شده را در اینسترون قرار داده و شکسته و خندان شد. رقم، زمان اهمیت و جهت قرارگیری عامل مهمی در خندان

گرمایش اهمیت کمتری برای شکست پوسته و خندان شدن لازم است.

۳ min بیشینه مقدار نیروی شکست برای خندان کردن نسبت به نمونه‌های بدون گرمایش اهمیت لازم بود. همچنین نمونه‌ها در جهت عمودی نسبت به جهت افقی و با افزایش مدت‌زمان

منابع

- canola stem under shear loading. *Agric Eng in Inter CIGR J*, 18(2), 413-425.
- [12] Lewis R S, (1989). Physical Properties of Food and Food Processing Systems. 1st edn. Chichester. Ellis Horwood, UK, 103.
- [13] Aydin C, (2002). Physical properties of hazel nuts. *J. Biol. Eng* 82: 297-303.
- [14] Aydin C, (2003). Physical properties of almond nut and kernel. *J. Food Eng*. 60: 315-320.
- [15] Vursavuş, K., Özgüven, F. (2004). Mechanical behaviour of apricot pit under compression loading. *J. Food Eng*, 65(2), 255-261.
- [16] Kılıçkan, A., Güner, M. (2008). Physical properties and mechanical behavior of olive fruits (*Olea europaea* L.) under compression loading. *J. Food Eng*, 87(2), 222-228.
- [۱۷] عالمی ه، خوش تقاضا م ه و مینایی س. (۱۳۸۸). تعیین خواص ویژگی‌های مکانیکی دانه سویا در بارگذاری شبه استاتیک. *مجله علوم و صنایع غذایی*، شماره ۲، ص ۱۱۳ تا ۱۲۴.
- [18] Knirsch, M. C., Dos Santos, C. A., de Oliveira Soares, A. A. M., Penna, T. C. V. (2010). Ohmic heating—a review. *Trends Food Sci. Technol*, 21(9), 436-441.
- [19] Sarang, S., Sastry, S. K., Knipe, L. (2008). Electrical conductivity of fruits and meats during ohmic heating. *J. Food Eng*, 87(3), 351-356.
- [20] Castro, I., Teixeira, J. A., Salengke, S., Sastry, S. K., Vicente, A. A. (2004). Ohmic heating of strawberry products: electrical conductivity measurements and ascorbic acid degradation kinetics. *Innovative Food Sci. Emerg. Technol*, 5(1), 27-36.
- [21] Vikram, V. B., Ramesh, M. N., Prapulla, S. G. (2005). Thermal degradation kinetics of nutrients in orange juice heated by electromagnetic and conventional methods. *J. Food Eng*, 69(1), 31-40.
- [22] Cullen, P. J., Tiwari, B. K., & Valdramidis, V. P. (2012). Status and trends of novel thermal and non-thermal technologies for fluid foods. *Novel Therm and non-Therm Technol fluid foods*. pp. 1-6.
- [۲۳] مقصودی، م. (۱۳۸۲) بررسی رفتار ویسکوالاستیک دانه پسته دهان بسته تحت بارگذاری شبه استاتیک. *مجموعه مقالات پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی*، دانشگاه فردوسی مشهد، ص ۱-۹.
- [1] A. Esmail-pour, Distribution. (1998). use and conservation of pistachio in Iran., in *Toward a Comprehensive Documentation and Use of Pistacia Genetic Diversity in Central and West Asia, North Africa and Europe*. Report of the IPGRI Workshop, pp. 16–26.
- [۲] درویشیان، م. (۱۳۸۱) کشت و تولید پسته. چاپ سوم، نشر آیندگان، ص ۱۵۲.
- [۳] شبیانی، الف؛ فریور، م و وطنپور ازغندی، ح. (۱۳۷۴). پسته و تولید آن در ایران. انتشارات موسسه سازمان تحقیقات پسته کشور. ص ۶۱.
- [4] Grace, M. H., Esposito, D., Timmers, M. A., Xiong, J., Yousef, G., Komarnytsky, S., Lila, M. A. (2016). Chemical composition, antioxidant and anti-inflammatory properties of pistachio hull extracts. *Food Chem*, 210, 85-95.
- [5] Ukhanova, M., Wang, X., Baer, D. J., Novotny, J. A., Fredborg, M., Mai, V. (2014). Effects of almond and pistachio consumption on gut microbiota composition in a randomised cross-over human feeding study. *Br. J. Nutr*, 111(12), 2146-2152.
- [6] Carbonell-Barrachina, Á. A., Memmi, H., Noguera-Artiaga, L., Gijón-López, M. D. C., Ciapa, R., Pérez-López, D. (2015). Quality attributes of pistachio nuts as affected by rootstock and deficit irrigation. *J. Sci. Food Agric*, 95(14), 2866-2873.
- [7] Catalán, L., Alvarez-Ortí, M., Pardo-Giménez, A., Gomez, R., Rabadan, A., Pardo, J. E. (2017). Pistachio oil: A review on its chemical composition, extraction systems, and uses. *Eur. J. Lipid Sci. Technol*, 119(5), 1600126.
- [۸] ابریشمی، م. (۱۳۷۳) پسته ایران، شناخت تاریخی. دانشگاه تهران، ص ۳۶۳.
- [9] D. Massie, D. Slaughter, J. Abbott, and W. Hruschka, Acoustic. (1993). single-kernel wheat hardness, *Trans. ASAE*, vol. 36, no. 5, pp. 1393–1398.
- [10] Azadbakht, M., Ziaratban, A., Torshizi, M. V., Aghili, H. (2017). Energy and exergy analyses during eggplant drying in a fluidized bed dryer. *Agric Eng in Inter CIGR J*, 19(3), 177-182.
- [11] Azadbakht, M., Torshizi, M. V., Ziaratban, A., Ghajarjazi, E. (2016). Application of Artificial Neural Network (ANN) in predicting mechanical properties of

[۲۴] گوشکی، ب. (۱۳۸۵) خواص فیزیکی و مکانیکی پسته (رقم احمد آقایی). پایاننامه کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی. دانشگاه آزاد واحد تاکستان.

[25] Azadbakht, M., Torshizi, M. V., Noshad, F., Rokhbin, A. (2018). Application of artificial neural network method for prediction of osmotic pretreatment based on the energy and exergy analyses in microwave drying of orange slices. *Energy*, 165, 836-845.

[26] Vincent, J. F. (1990). Fracture properties of plants. *Advan Bot Res*, Vol. 17, pp. 235-287.

[۲۷] غلامی پرشکوهی؛ کرمانی، ع، م؛ محمدی شماری، م؛ سلیمی بنی، م؛ عبدالعلی زاده، ا. (۱۳۹۴). تعیین برخی خواص مکانیکی پسته دهان بسته (ارقام بومی قزوین). نشریه نوآوری در علوم و فناوری غذایی، شماره ۲ صفحه ۱۰۳-۹۲

[28] Koyuncu, M. A., Ekinci, K., Savran, E. (2004). Cracking characteristics of walnut. *Biosystems Engineering*, 87(3), 305-311.

[29] Liu, M., Haghghi, K., Stroshine, R. L., Ting, E. C. (1990). Mechanical properties of the soybean cotyledon and failure strength of soybean kernels. *Transactions of the ASAE*, 33(2), 559-0566..

[۳۰] علی بابا، م؛ غضنفری، ا؛ رجبی پور، ع. (۱۳۸۷)، بررسی و مقایسه مقاومت مکانیکی در سه رقم پسته، پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، مشهد، انجمن مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، ص ۱-۹.

[۳۱] صبوری، پ؛ گل محمدی، ع؛ ترحم مصری، گ. (۱۳۹۱)، بررسی اثر رطوبت بر برخی خواص مکانیکی سه رقم پسته، هفتمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، شیراز، دانشگاه شیراز، ص ۱-۶.

[32] Galedar, M. N., Mohtasebi, S. S., Tabatabaeefar, A., Jafari, A., Fadaei, H. (2009). Mechanical behavior of pistachio nut and its kernel under compression loading. *Journal of Food Engineering*, 95(3), 499-504.

*Research Article***Investigation of the effect of ohmic heat treatment on some mechanical properties of closed pistachio****Mohsen Azadbakht^{1*}, Hamid Rayeni Moghbeli², Mohammad Vahedi Torshizi²**

1. Associate Professor, Department of Bio-System Mechanical Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
2. M.Sc Student Department of Bio-System Mechanical Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

Abstract

The purpose of this investigation was to study smiling of three varieties pistachio mouths, Akbari, Ahmad Aghayi and Fandoghi with help of ohmic heating treatment. In this research, the effect of pistachio varieties (Akbari, Ahmadaghaye and Fandoghi), loading direction (vertical and horizontal) and ohmic time (3, 6 and 9 minutes) on mechanical properties of pistachio, including breaking energy, maximum force, breaking strength, toughness and power consumption were investigated and the results were analyzed in a completely randomized design with three replications using SAS software. The results showed that amount of ohmic time and loading direction for maximum force, breaking energy, toughness and breaking strength were statistically significant and the variety was meaningful only for energy and failure force. None of the factors was significant for power consumption. Also, with increasing the ohmic time, the value of the maximum force of Akbari, Ahmad Aghaei and Fandoghi varieties were from 3112.6, 303.75, 261.76 (for control), to 125.76, 138.68, 189.65 N. Similarly, the pistachio varieties for breaking energy from 384.95, 300.3, 228.06 J to 139, 120.9, 18.14 J, and the breaking strength of 6.84, 6.99, and 7.33 N.m² to 2.80, 5.40 and 4.92 N.m² and finally for the toughness of 0.353, 0.343 and 0.247 J.m³ to 0.167, 0.247 and 0.220 J.m³ which is achieved at the ohmic time of 9 minutes. Also, with vertical loading, the failure force was lower than the horizontal position. In ohmic heating with the time of 9 minutes, the minimum failure force was obtained. The times of 6 and 3 minutes had a greater failure force.

Keywords: Pistachio, Ohmic heating, Mechanical properties, Loading direction.

* Corresponding author: azadbakht@gau.ac.ir