تعیین برخی خواص فیزیکی و مکانیکی مغز دو رقم بادام درختی تحت بارگذاری برشی

منصور راسخ[1*]، امیرحسین افکاری سیاح [2]، وحید بداغی[3]

۱- استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی.
۲- استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی.
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی.
(تاریخ دریافت: ۸۸/۱۲/۲ تاریخ پذیرش: ۹۰/۷/۹)

چکیده

اطلاع از خواص فیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی پایه و اساس طراحی و بهینه‌سازی ماشین‌های فرآوری این محصولات را تشکیل می‌دهد. بر این اساس، در این تحقیق برخی از خواص فیزیکی و مکانیکی مغز دو رقم بادام درختی به نام‌های آذر و نون‌پاریل مورد بررسی قرار گرفت. مقادیر میانگین خواص هندسی شامل طول، عرض، ضخامت، قطر متوسط هندسی، جرم، حجم و ضریب کرویت رقم آذر به ترتیب عبارت بودند از: ۲۱/۰۱، ۱۱/۵۳، ۵/۳۱، ۱۰/۹۱ میلی‌متر، ۰/۶۹۵ gr، ۶۷۳/۱ mm^3، و ۵۲/۰۲ ٪. همچنین مقادیر متناظر برای رقم نون‌پاریل به ترتیب عبارت بودند از: ۱۹/۵۴، ۱۰/۹۶، ۵/۲۴، ۱۰/۳۸ میلی‌متر، ۰/۵۷۰ gr، ۵۴۷/۹ mm^3 و ۵۳/۲۷ ٪. همچنین چگالی واقعی و چگالی توده و نیز خواص اصطکاکی بر روی سطوح آهن گالوانیزه، فولاد و آلومینیوم، برای هر دو رقم آذر و نون‌پاریل اندازه‌گیری شد. همچنین با انجام آزمون بارگذاری برشی به صورت شبه استاتیک، برخی از خواص مکانیکی مغز بادام شامل نیرو، انرژی و توان لازم برای برش مغز بادام بررسی شد. در آزمون بارگذاری برشی اثر اندازه در سه سطح (کوچک، متوسط و بزرگ)، اثر رطوبت در سه سطح(۵، ۱۵ و ۲۵ درصد) و اثر سرعت بارگذاری در سه (۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌متر بر دقیقه) و نیز اثرات متقابل آن‌ها بر خواص مکانیکی مغز بادام ارزیابی شد. مقادیر میانگین بیشینه نیرو، انرژی و توان لازم برای برش مغز بادام رقم آذر به ترتیب ۱۵/۴۳ N، ۶/۱۲ mJ، ۰/۰۰۵۸ W و برای رقم نون‌پاریل ۱۷/۰۳ N ، ۸/۱۹ mJ، ۰/۰۰۷۱ W می‌باشد. نتایج حاصل از این آزمون نشان داد که برای برش مغز رقم نون‌پاریل، نیرو، انرژی و توان بیشتری لازم است.

کلید واژگان: مغز بادام، رقم آذر، رقم نون‌پاریل، خواص فیزیکی، خواص مکانیکی

۱- مقدمه

بادام درختی با نام علمی *Prunus Amygdalus* متعلق به خانواده *Rosacea* و زیر خانواده *Prunoidea*، یکی از محصولات باغی- خشکباری است که ارزش غذایی بالایی در تغذیه انسان دارد. این محصول ارزش صادراتی بالایی نیز دارد و به همین دلیل توجه به توسعه و بهبود روز افزون تولید و فرآوری آن از اهمیّت خاصی برخوردار است. بادام از جمله محصولات با ارزشی است که تولید سالیانه آن در ایران بیش از ۱۰۰هزار تن می‌باشد، بطوری که ایران بعد از ایالت متحده آمریکا، اسپانیا و ایتالیا مقام چهارم تولید این محصول را در جهان به خود اختصاص داده است[۱]. با توجه به استعداد منطقه از نظر شرایط آب و هوایی، امکان توسعه سطح زیر کشت این محصول و نیز ایجاد صنایع غذایی وابسته و سیستم‌های فرآوری و بسته‌بندی به منظور ورود به بازارهای جهانی را دارا می‌باشد. از این‌رو جهت توفیق در تولید و

* مسئول مکاتبات: ma_rasekh1349@yahoo.com.au

توسعه سطح زیر کشت این محصول، توجه به ایجاد دستگاه‌های فرآوری مناسب جهت عرضه محصول مرغوب و با کیفیت بالا اجتناب ناپذیر است که این امر مستلزم تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی این محصول می‌باشد [۲].

بطور کلی تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی به عنوان مبنایی برای طراحی و ساخت ماشین‌ها و تجهیزات انتقال، درجه‌بندی و فرآوری محصولات کشاورزی همواره مورد توجه بوده است و اصولاً طراحی ماشین‌های کشاورزی بدون توجه به این پارامترها، ناقص و منجر به نتایج ضعیف می‌گردد. تحقیقات زیادی در دنیا در زمینه تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی محصولات مختلف کشاورزی صورت گرفته است.

آیدین[1] (۲۰۰۳) خواص فیزیکی یک رقم بادام درختی و مغز آن شامل خصوصیات هندسی، ثقلی، اصطکاکی و نیز سرعت حد دانه را به عنوان تابعی از محتوی رطوبت بررسی کرد و نشان داد که با افزایش محتوی رطوبت، نیروی شکست دانه بادام کاهش می‌یابد [۳]. کریشنا و ردی[2] (۲۰۰۶) برخی از خواص مکانیکی میوه و پوست پرتقال را تحت بارگذاری فشاری و برشی تعیین کردند. آن‌ها با انجام آزمون بارگذاری برشی به وسیله یک تیغه‌ای به ضخامت ٦ میلی‌متر، مقدار نیرو و انرژی لازم برای برش میوه پرتقال را اندازه‌گیری کردند و نشان دادند که با افزایش مدت زمان انبارداری، نیرو و انرژی لازم برای برش پرتقال کاهش می‌یابد [٤]. اولوسو[3] و کلارک (۱۹۹۳) نیرو و انرژی لازم برای شکستن بادام و همچنین مقدار تغییرشکل آن در حین بارگذاری را بررسی کردند و نتیجه گرفتند تأثیر جهت بارگذاری بر نیرو و انرژی مصرفی برای شکستن بادام معنی‌دار است [٥]. سیلبرستین و رآو[4] (۱۹۷۷) حداکثر نیرو و انرژی مورد نیاز برای شکستن بادام رقم فلورونر[5] و مقدار تغییرشکل آن در حین بارگذاری را تعیین کردند. در این تحقیق در کلیه آزمایش‌ها جهت بارگذاری عمود بر امتداد طولی دانه و سرعت بارگذاری ۵۰/۸ mm/min بود [٦]. در تحقیقی تأثیر سرعت بارگذاری، اندازه بادام و جهت بارگذاری بر نیرو، انرژی و توان مورد نیاز برای شکستن بادام درختی رقم تگزاس مطالعه شد. در این تحقیق مدل ریاضی جذب رطوبت مغز بادام تعیین شد. نتایج این تحقیق نشان داد محدوده تغییرات نیرو، انرژی و توان مورد نیاز برای شکستن بادام‌ها به ترتیب عبارتند از: ۱۵۲٦–۱۳۹ نیوتن، ۲۰۹۳–۷۰ میلی‌ژول و ۵/۱۲۱–۰/۰۱۵. وات. همچنین سرعت بارگذاری تأثیر معنی‌داری بر نیرو و توان لازم برای شکستن بادام در سطح ۱٪ داشت [۷]. بررسی‌های انجام شده نشان داد که در زمینه‌ی تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی مغز بادام درختی مطالعه‌ای بر روی ارقام متداول آذر و نون‌پاریل صورت نگرفته است. در نتیجه اهدافی که در این تحقیق دنبال می‌شوند، عبارتند از:

۱- تعیین و بررسی خواص هندسی شامل ابعاد، میانگین قطر هندسی و حجم مغز بادام دو رقم آذر[6] و نون‌پاریل[7].

۲- تعیین و بررسی خواص ثقلی شامل چگالی توده و چگالی واقعی این ارقام.

۳- تعیین و بررسی ویژگی‌های اصطکاکی بر روی سطوح مواد مختلف.

٤- تعیین و بررسی خواص مکانیکی شامل بیشینه نیرو، انرژی و توان لازم برای برش مغز بادام ارقام ذکر شده.

۲- مواد و روش‌ها

در این تحقیق، آزمون‌ها بر روی دو رقم بادام درختی به نام‌های آذر با پوست سنگی و نون‌پاریل با پوست کاغذی که از منطقه کبودرآهنگ واقع در استان همدان تهیه شده بودند، صورت گرفت. نمونه‌های مورد آزمایش در تابستان سال ۱۳۸۷ به صورت تصادفی از چندین درخت در شرایط یکسان برداشت شدند و پس از جدا کردن پوست سبز از نمونه‌ها و خشک شدن آن‌ها در شرایط انبارداری، پوست چوبی آن‌ها با استفاده از چکش شکسته شده و سپس مغزها به صورت دستی ازپوست جدا شدند.

۲-۱- اندازه‌گیری خواص فیزیکی

در این تحقیق، برای تعیین خصوصیات ابعادی و جرم نمونه‌های مورد آزمایش، به ترتیب از یک کولیس دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر و یک ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱گرم استفاده شد و سپس میانگین قطر هندسی (Dg)،

1. Aydin
2. Krishna and Reddy
3. Oloso
4. Silberestain and Rao
5. Florunner
6. Azar
7. Nonpareil

میانگین قطر حسابی (Da) و ضریب کرویت (Φ) به کمک روابط ۱ تا ۳ محاسبه شدند[۸].

$$D_g = (LWT)^{1/3} \quad (۱)$$

$$D_a = \frac{(L+W+T)}{3} \quad (۲)$$

$$\phi = \frac{D_g}{L} \quad (۳)$$

که در آن L، W و T به ترتیب طول، عرض و ضخامت مغز بادام می‌باشند.

برای طبقه‌بندی اندازه نمونه‌های مورد آزمایش پس از محاسبه میانگین قطر هندسی تک‌تک دانه‌ها، نمونه‌ها بر اساس توزیع نرمال به سه سطح بزرگ، متوسط و کوچک تقسیم‌بندی شدند. همچنین به منظور تعیین ویژگی‌های ثقلی، پس از تعیین جرم و حجم تک‌تک نمونه‌ها، با استفاده از روش جابجایی مایع چگالی واقعی (ρ_t) نمونه‌های مورد آزمایش طبق رابطه ٤ تعیین شد.

$$\rho_t = \frac{m_t}{V_t} \quad (٤)$$

که در آن m_t جرم نمونه بر حسب گرم و V_t حجم مایع جابجا بر حسب cm^3 می‌باشد. همچنین برای اندازه‌گیری چگالی توده (ρ_b)، نمونه‌های مورد آزمایش از ارتفاع ۱۵ سانتی‌متری به داخل ظرفی به حجم ۲ لیتر ریخته شد و سپس به منظور تعیین حجم دقیق توده مغز بادام، نمونه‌های مازاد بر حجم ظرف، بدون افزایش تراکم از استوانه خارج شدند [۳] و طبق رابطه ۵، از تقسیم جرم توده بر حجم توده نمونه‌های مورد آزمایش، چگالی توده بدست آمد.

$$\rho_b = \frac{m_b}{V_b} \quad (۵)$$

که در آن m_b جرم توده برحسب گرم و V_b حجم توده (حجم استوانه) برحسب cm^3 می‌باشد.

درصد تخلخل توده‌ای مغز بادام‌ها (ε) نیز از رابطه ٦ حاصل شد [۸].

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_t}\right) \times 100 \quad (٦)$$

ضریب اصطکاک ایستایی (μ_s) نمونه‌های مورد آزمایش با اندازه‌گیری زاویه‌ای که تحت آن دانه‌های بادام در آستانه حرکت قرار می‌گیرند، بر روی سه سطح آهن گالوانیزه، فولاد و آلومینیوم محاسبه شد. برای اندازه‌گیری این پارامتر، دانه‌های بادام از ارتفاع ۱۵ سانتی‌متری به داخل یک استوانه دوسر باز به قطر و ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر ریخته شدند. سپس با افزایش تدریجی شیب سطح مورد آزمایش، استوانه بدون آن که با سطح در تماس باشد، در زاویه‌ای شروع به حرکت می‌کند که در این لحظه تانژانت زاویه سطح مورد آزمایش با افق (θ_s)، ضریب اصطکاک ایستایی محسوب می‌شود [۷].

$$\mu_s = \tan\theta_s \quad (۷)$$

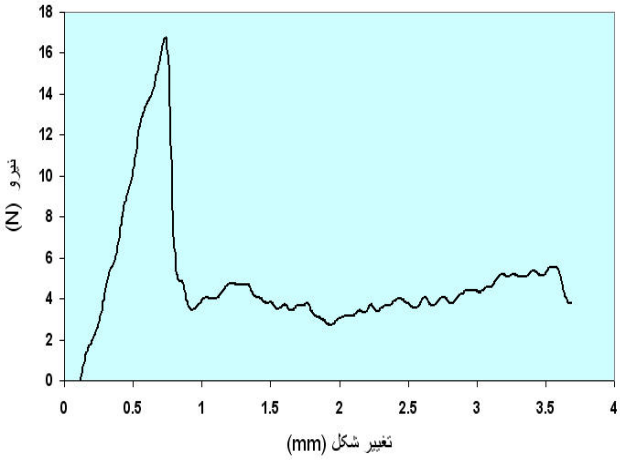
۲-۲- اندازه‌گیری خواص مکانیکی

به منظور تعیین خواص مکانیکی مغز بادام، از آزمون بارگذاری برشی و منحنی نیرو- تغییرشکل مستخرج از آن استفاده شد. این آزمایش‌ها به وسیله دستگاه آزمون کشش- فشار مدل *STM 20*[1] که دارای نیروسنجی به ظرفیت ۲ *kgf* می‌باشد، در آزمایشگاه بیوفیزیک دانشگاه محقق اردبیلی انجام گرفت. بدین منظور در انجام آزمایش‌ها از یک تیغه فلزی به ضخامت ۰/۲ میلی‌متر و با زاویه تیزی ۱۰ درجه استفاده شد. برای انجام آزمون‌های بارگذاری برشی، تیغه مورد نظر به صورت کاملاً افقی، به فک متحرک دستگاه آزمایش کشش- فشار شرح داده شده، متصل شد.

در آزمون‌های بارگذاری برشی به منظور تعیین خواص مکانیکی مغز بادام، متغیرهای مستقل در سه سطح اندازه (کوچک، متوسط و بزرگ)، سه سطح رطوبتی (۵،۱۵ و ۲۵ درصد بر پایه خشک) و سه سطح سرعت بارگذاری (۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌متر بر دقیقه) در ۵ تکرار مورد بررسی قرار گرفت. برای تعیین نیروی برش مغز بادام‌ها، تک‌تک نمونه-های مورد آزمایش به گونه‌ای که دستگاه‌های خلال‌کن مغز بادام عمل برش را انجام می‌دهند، یعنی در راستای عمود بر محور عرضی مغز، با حرکت روبه پایین تیغه، بارگذاری برشی به صورت شبه استاتیکی انجام شد. دستگاه آزمایش به یک رایانه متصل است و از طریق نرم‌افزار مربوطه تنظیمات آزمایش اعمال شده و درحین بارگذاری، همزمان نمودار نیرو- تغییرشکل برای هر آزمایش ترسیم و ثبت می‌گردید. بارگذاری تا لحظه‌ای صورت می‌گرفت که عمل برش بر روی

1. SANTAM

مغز بادام ایجاد شود. نمونه‌ای از منحنی نیرو- تغییرشکل در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل۱ منحنی نیرو- تغییرشکل حاصل از بارگذاری برشی مغز بادام

همانگونه که از منحنی شکل ۱ پیداست، پس از رسیدن تنش به نقطه گسیختگی بر اثر فشار وارد از طرف تیغه و نفوذ تیغه در مغز بادام، نیروی مورد نیاز برای برش به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. پس از رسم منحنی نیرو- تغییرشکل، بیشینه نیروی برش از روی منحنی رسم شده به دست آمد. با محاسبه سطح زیر منحنی نیرو- تغییرشکل، انرژی مصرفی برش بر حسب میلی‌ژول مشخص گردید. توان لازم برای برش مغز بادام بر اساس روش ارائه شده توسط خزایی و همکاران (۲۰۰۳) محاسبه شد [۷].

در این تحقیق برای انجام آزمون‌ها از آزمایش فاکتوریل در طرح پایه بلوک‌های کاملاً تصادفی استفاده شد. در پایان هر آزمایش، داده‌های اندازه‌گیری شده با کمک نرم افزار *Excel* در فایل‌های مجزا دسته‌بندی و ذخیره‌سازی شدند و سپس تجزیه و تحلیل داده‌ها به کمک نرم افزار آماری *SPSS* صورت گرفت.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- خواص فیزیکی

در جدول ۱ میانگین و انحراف معیار داده‌های مربوط به خواص فیزیکی مغز بادام دو رقم آذر و نون‌پاریل آورده شده است.

با توجه جدول ۱ مشاهده می‌شود که تفاوت چندانی بین خصوصیات ابعادی مغز بادام دو رقم ذکر شده وجود ندارد و تنها طول مغز بادام رقم آذر به طور معنی‌داری بیشتر از رقم نون‌پاریل بوده است. این در حالی است که بین عرض و ضخامت ارقام مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری وجود نداشته است. قطر متوسط حسابی، حجم و کرویت از دیگر خصوصیات هندسی می‌باشند که تفاوت بین مقادیر میانگین آن‌ها در سطح احتمال کمتر از ۰/۰۵ معنی‌دار بوده است. همچنین با توجه به مقادیر میانگین خصوصیات ثقلی قید شده در جدول۱، مشاهده می‌گردد که بین مقادیر میانگین وزن، چگالی واقعی و چگالی توده دو رقم ذکر شده، تفاوت معنی-داری وجود ندارد. بنابراین برخلاف دانه‌های بادام دو رقم آذر و نون‌پاریل که خواص هندسی کاملاً متفاوتی دارند، مغز بادام این ارقام دارای خواص هندسی مشابهی هستند. همچنین با مقایسه چگالی واقعی و چگالی توده دانه و مغز دو رقم آذر و نون‌پاریل، نتیجه می‌شود نسبت وزن دانه به مغز آن برای رقم آذر بیشتر از رقم نون‌پاریل بوده و درصد بیشتری از وزن دانه بادام رقم نون‌پاریل را مغز تشکیل می‌دهد. بنابراین رقم نون‌پاریل دارای درصد مغز بالاتری نسبت به رقم آذر بوده است. ضریب اصطکاک استاتیکی تنها خصوصیت فیزیکی بوده است که تفاوت مقادیر میانگین آن کاملاً معنی‌دار بوده است. به طوری که مقدار ضریب اصطکاک مغز بادام رقم نون‌پاریل، بر روی هر سه سطح آهن گالوانیزه، فولاد و آلومینیوم بیشتر از رقم آذر می‌باشد که این امر حاکی از صاف بودن سطح پوست مغز بادام‌های رقم آذر نسبت به رقم نون-پاریل می‌باشد.

۳-۲- خواص مکانیکی

در جدول ۲، میانگین و انحراف معیار خواص مکانیکی مغز بادام ارقام آذر و نون‌پاریل در سه سطح محتوی رطوبت آورده شده است.

جدول ۱ میانگین و انحراف معیار خواص فیزیکی مغز بادام ارقام آذر و نون‌پاریل

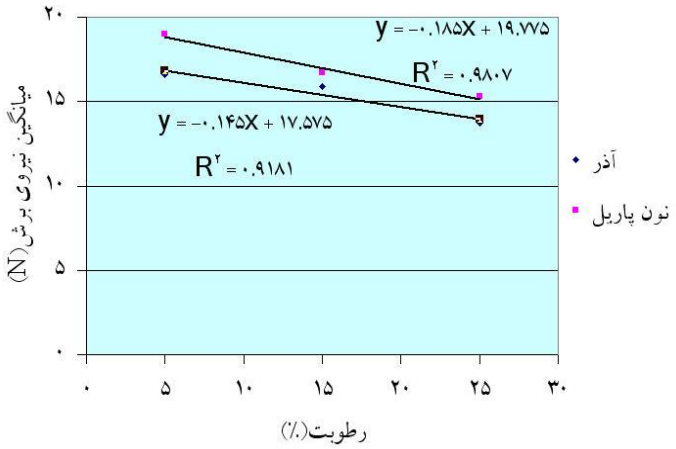
مشخصه فیزیکی		رقم: آذر میانگین	آذر انحراف معیار	نون‌پاریل میانگین	نون‌پاریل انحراف معیار	سطح احتمال معنی‌دار بودن
طول (mm)		۲۱/۰۱	۲/٤۸	۱۹/٥٤	۲/٤۳	۰/۰۲٤
عرض (mm)		۱۱/٥۳	۱/٥۱	۱۰/۹٦	۱/۲۲	۰/۱۱۳
ضخامت (mm)		٥/۳۱	۰/٤۸	٥/۲٤	۰/٦۱	۰/۳٥٥
قطر متوسط حسابی (mm)		۱۲/٦٤	۱/۳٤	۱۱/۹۲	۱/۲۳	۰/۰٤۷
قطر متوسط هندسی (mm)		۱۰/۹۱	۱/۱۷	۱۰/۳۸	۱/۱۱	۰/۰۷۷
ضریب کرویت (٪)		٥۲/۰۲	۱/٦٥	٥۳/۲۷	۲/۰٤	۰/۰۱۱
حجم (mm^3)		٦۷۳/۱	۱۱٥/۳	٥٤۷/۹	۱۱٦/۲	۰/۰۱٤
جرم (gr)		۰/٦۹٥	۰/۲۱۱	۰/٥۷۰	۰/۱۳٦	۰/۰۱٥
چگالی واقعی ($\frac{gr}{cm^3}$)		۱/۰٤	۰/۰٥٥	۱/۰٥	۰/۰۳۱	۰/٥۹٥
چگالی توده ($\frac{gr}{cm^3}$)		۰/٥٥۱	۰/۰٥۸	۰/٥۷۷	۰/۰٦۱	۰/۰۸۲
تخلخل (٪)		٤۷/۳	٤/۷	٤٥/۱	٦/۸	۰/۰۱۲
ضریب اصطکاک برروی صفحه‌ای از جنس	گالوانیزه	۰/۳۳٥	۰/۰۱٤	۰/۳۹۲	۰/۰۱۱	۰/۰۰۰
	فولادی	۰/۲٥۹	۰/۰۱٦	۰/۳۰۷	۰/۰۱٥	۰/۰۰۰
	آلومینیوم	۰/۱٥۳	۰/۰۱۲	۰/۲۳۷	۰/۰۱۸	۰/۰۰۰

جدول ۲ میانگین و انحراف معیار خواص مکانیکی مغز بادام ارقام آذر و نون‌پاریل تحت اثر محتوی رطوبت

مشخصه مکانیکی	رقم	رطوبت ۵٪ میانگین	رطوبت ۵٪ انحراف معیار	رطوبت ۱۵٪ میانگین	رطوبت ۱۵٪ انحراف معیار	رطوبت ۲۵٪ میانگین	رطوبت ۲۵٪ انحراف معیار
بیشینه نیروی برش (N)	آذر	۱٦/٦۲	٤/٦۳	۱٥/۹٤	۳/۹۳	۱۳/۷۲	۳/٦٤
	نون‌پاریل	۱۸/۹۸	٤/۸٦	۱٦/٦۹	٤/٦۳	۱٥/۲۹	٤/۸۲
حداکثر تغییرشکل تا لحظه ایجاد برش (mm)	آذر	۰/۷۲۸	۰/۱۹۸	۰/۷٥٦	۰/۱۸۲	۰/۷۱۸	۰/۱۹۸
	نون‌پاریل	۰/۹٥٦	۰/۲۱۷	۱/۰۰	۰/۲۲۷	۰/۸٥۷	۰/۲٦۱
انرژی برش (mJ)	آذر	٦/۷٤	۲/٦۱	٦/۲۱	۲/۲۷	٥/٤۱	۳/۱۷
	نون‌پاریل	۹/۷۲	۲/۹٦	۸/۳٤	۲/۱۹	٦/٥۰	۱/٥۸
توان لازم برای برش (W)	آذر	۰/۰۰۷۲	۰/۰۰۲٤	۰/۰۰٦٦	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰٦٥	۰/۰۰۲۷
	نون‌پاریل	۰/۰۰۷٦	۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۷۲	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰٦۸	۰/۰۰۳۱

همانگونه که از جدول ۲ نتیجه می‌شود، در هر دو رقم آذر و نون‌پاریل با افزایش محتوی رطوبت، مقادیر میانگین خواص مکانیکی شامل بیشینه نیروی برش و همچنین انرژی و توان لازم برای ایجاد برش در مغز بادام کاهش می‌یابد، که علت آن نرم شدن بافت مغز بادام در اثر افزایش محتوی رطوبتی است و باعث نفوذ بهتر و راحت‌تر تیغه به داخل مغز بادام می‌شود. به هر حال بیشینه نیروی برش و نیز انرژی و توان لازم برای برش در هر سه سطح رطوبتی برای رقم نون‌پاریل بیشتر از رقم آذر بوده است که این امر حاکی از ضخیم‌تر بودن پوست مغز بادام رقم نون‌پاریل نسبت به رقم آذر می‌باشد.

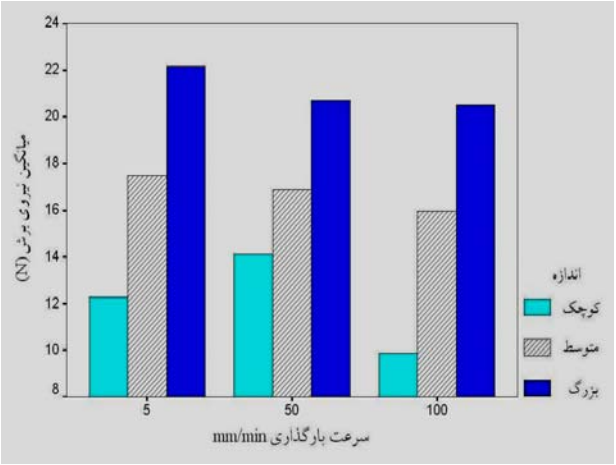
در منحنی شکل ۲، اثر افزایش رطوبت بر نیروی برش هر دو رقم آذر و نون‌پاریل با یکدیگر مقایسه شده است.



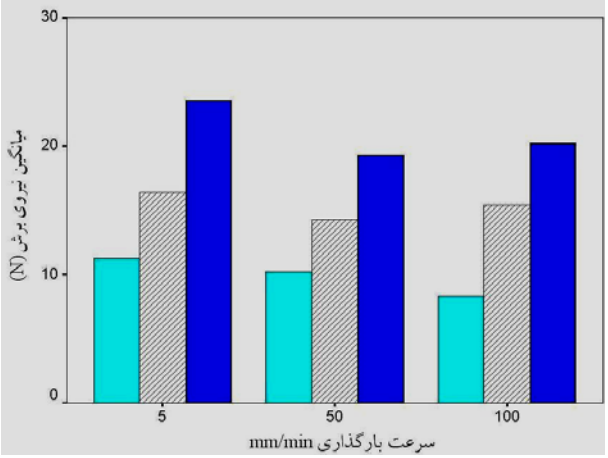
شکل۲ مقایسه اثر رطوبت بر نیروی برش مغز بادام دو رقم آذر و نون‌پاریل

در جدول ۳، میانگین و انحراف معیار خواص مکانیکی مغز بادام ارقام آذر و نون‌پاریل در سه سطح سرعت بارگذاری آورده شده است.

با توجه به جدول شماره ۳ مشاهده می‌گردد که در هر دو رقم با افزایش سرعت بارگذاری، بیشینه نیرو و انرژی مورد نیاز برای ایجاد برش مغز بادام کاهش می‌یابد. این در حالیست که با افزایش سرعت بارگذاری، توان لازم برای برش مغز نیز افزایش می‌یابد، زیرا توان لازم برای برش مغز بادام با دو عامل سرعت بارگذاری و انرژی برش رابطه مستقیم و با مقدار تغییرشکل نسبی رابطه معکوس دارد. بنابراین به دلیل بیشتر بودن نرخ تغییرات سرعت بارگذاری نسبت به تغییرات دو عامل انرژی و تغییرشکل، سبب شد که با افزایش سرعت بارگذاری، توان لازم برای برش نیز افزایش یابد. همچنین با مقایسه میانگین مقادیر خواص مکانیکی مربوط به مغز بادام دو رقم آذر و نون‌پاریل این نتیجه حاصل می‌شود که بیشینه نیرو، انرژی و توان لازم برای برش مغز رقم نون‌پاریل بیشتر از رقم آذر می‌باشد که این امر به دلیل ضخیم‌تر بودن پوست مغز بادام‌های رقم نون‌پاریل نسبت به رقم آذر می‌باشد. نمودارهای شکل ٤ تأثیر دو عامل اندازه و سرعت بارگذاری بر خواص مکانیکی مغز بادام ارقام ذکر شده را نشان می‌دهند. در شکل ۳ اثر اندازه و سرعت بارگذاری بر میانگین نیروی برش مغز بادام دو رقم آذر و نون‌پاریل نشان داده شده است. همان‌طور که از شکل ۳ مشخص است در هر ۲ رقم و در هر سرعت بارگذاری با افزایش اندازه مغز بادام میانگین نیروی برش افزایش می‌یابد.



رقم نون پاریل



رقم آذر

شکل۳ اثر اندازه و سرعت بارگذاری بر میانگین

جدول‌های ٤ و ٥ به ترتیب نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به خواص مکانیکی حاصل از بارگذاری برشی مغز بادام ارقام آذر و نون‌پاریل را نمایش می‌دهند.

همانگونه که از جدول‌های ٤ و ٥ پیداست، در هر دو رقم آذر و نون‌پاریل، اثر هر سه عامل اندازه، رطوبت و سرعت بارگذاری بر خواص مکانیکی مغز بادام شامل بیشینه نیروی برش، انرژی و توان لازم برای برش معنی‌دار بوده است. در این جدول‌ها سطح احتمال معنی‌دار بودن یا عدم وجود معنی‌داری اثرات متقابل سه عامل اندازه، رطوبت و سرعت بارگذاری بر خواص مکانیکی مغز ارقام ذکر شده مشخص شده است.

جدول ۳ میانگین و انحراف معیار خواص مکانیکی مغز بادام ارقام آذر و نون‌پاریل تحت اثر سرعت بارگذاری

مشخصه مکانیکی	رقم	سرعت ۵ $\frac{mm}{min}$		سرعت ۵۰ $\frac{mm}{min}$		سرعت ۱۰۰ $\frac{mm}{min}$	
		میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار
بیشینه نیروی برش (N)	آذر	۱۷/۰۶	٤/۷۱	۱٤/۷٦	۳/۸٦	۱٤/٦۲	۳/۵۷
	نون‌پاریل	۱۷/۷۸	٤/۷۹	۱۷/۵۹	٤/٤۰	۱۵/٤۱	٤/۵۸
تغییرشکل نسبی تا لحظه ایجاد برش (mm)	آذر	۰/۷۱٦	۰/۲۰۰	۰/۷۳۵	۰/۱۸٦	۰/۷۵۲	۰/۲۲۸
	نون‌پاریل	۰/۹۲۳	۰/۲٤۷	۰/۹۷۰	۰/۲۰۲	۰/۹۲۷	۰/۲۵۷
انرژی برش (mJ)	آذر	٦/۵٤	۲/۱۲	۵/۹	۲/٤۱	۵/۷۸	۲/۵٦
	نون‌پاریل	۸/۵۱	۲/۵۷	۸/۵۳	۲/۷٤	۷/۵۱	۲/٦۷
توان لازم برای برش (W)	آذر	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰٦۵	۰/۰۰۱۸	۰/۰۱۲٤	۰/۰۰٤۸
	نون‌پاریل	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۷۱	۰/۰۰۱۷	۰/۰۱۳۳	۰/۰۰٤۱

جدول٤ نتایج تجزیه واریانس مقادیر خواص مکانیکی حاصل از بارگذاری برشی مغز بادام رقم آذر

منبع تغییرات	درجه آزادی	مقدار F		
		بیشینه نیروی برش	انرژی	توان
اندازه	۲	۲۲۹/۳**	۱۲٤/۸**	۷۰/۷**
محتوی رطوبت	۲	۱۷/۱*	٦/۷**	۸**
سرعت بارگذاری	۲	۱٤/۸**	۱/۹*	۵٤۵*
اندازه × رطوبت	٤	۲ns	۰/۹ns	۱/۲٤ns
اندازه × سرعت بارگذاری	٤	۳ns	۲٦/۲ns	۳۲**
رطوبت × سرعت بارگذاری	٤	۲/۹*	٤/۷*	۲/٤۵ns
اندازه ×رطوبت ×سرعت بارگذاری	۸	۱/۵ns	۱/۷ns	۱/۲ns
خطا	۲٤۳			

جدول ۵ نتایج تجزیه واریانس مقادیر خواص مکانیکی حاصل از بارگذاری برشی مغز بادام رقم نون‌پاریل

منبع تغییرات	درجه آزادی	مقدار F		
		بیشینه نیروی برش	انرژی	توان
اندازه	۲	۱۸۷/۲**	۹۷/۱**	۲۸/۵**
محتوی رطوبت	۲	۲۷/۳**	۲/٦**	۳/۲*
سرعت بارگذاری	۲	۱۱/۱**	۳/۵*	٤۳۰**
اندازه × رطوبت	٤	۰/۳ns	۰/٦ns	۰/۷ns
اندازه × سرعت بارگذاری	٤	۳*	۰/۲ns	۸/۲*
رطوبت × سرعت بارگذاری	٤	۵/۲*	۵/۵**	۰/۵ns
اندازه ×رطوبت ×سرعت بارگذاری	۸	۱/۳٦ns	۰/٤ns	۰/۹ns
خطا	۲٤۳			

* معنی دار در سطح احتمال ۵ ٪

** معنی دار در سطح احتمال ۱ ٪

ns عدم وجود اختلاف معنی‌دار

جدول ٦ نتایج آزمون مقایسه توکی بر خواص مکانیکی مغز بادام رقم آذر

		سطح احتمال معنی‌دار بودن		
		بیشینه نیروی برش	انرژی	توان
اندازه	کوچک- متوسط	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
	کوچک- بزرگ	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
	متوسط- بزرگ	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۲۳
رطوبت	۵ -۱۵	۰/۳۸۹	۰/۳۲۲	۰/۱٦۳
	۵ -۲۵	۰/۰۲٦	۰/۰۰۷	۰/۰۰۰
	۱۵ -۲۵	۰/۲۱۸	۰/۰۸۷	۰/۰۸۱
سرعت بارگذاری	۵ -۵۰	۰/۰٤۵	۰/۱٦۷	۰/۰۰۰
	۵ -۱۰۰	۰/۰۰۰	۰/۲٤۱	۰/۰۰۰
	۵۰ -۱۰۰	۰/۹۹۱	۰/۹۷۸	۰/۰۳۲

جدول ۷ نتایج آزمون مقایسه توکی بر خواص مکانیکی مغز بادام رقم نون‌پاریل

		سطح احتمال معنی‌دار بودن		
		بیشینه نیروی برش	انرژی	توان
اندازه	کوچک- متوسط	۰/۰۰۰	۰/۰۰۸	۰/۰۳۲
	کوچک- بزرگ	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
	متوسط- بزرگ	۰/۰۲۱	۰/۰٤۸	۰/۰٤۳
رطوبت	۵ -۱۵	۰/۰۳۲	۰/۰۰۷	۰/۵۹۱
	۵ -۲۵	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۳٤
	۱۵ -۲۵	۰/۰۱۸	۰/۰۰۵	۰/۲۷۱
سرعت بارگذاری	۵ -۵۰	۰/۹٤۷	۰/۹٦۳	۰/۰۰۰
	۵ -۱۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰٤۲	۰/۰۰۰
	۵۰ -۱۰۰	۰/۲۲۱	۰/۰۵۹	۰/۰۰۰

به منظور تعیین سطح احتمال معنی‌دار بودن بین سطوح مختلف اندازه، رطوبت و سرعت بارگذاری بر خواص مکانیکی از آزمون مقایسه دو دویی توکی[1]، استفاده شد. نتایج حاصل از آزمون مقایسه اثر بین سطوح (آزمون توکی) بر خواص مکانیکی مغز بادام ارقام آذر و نون‌پاریل به ترتیب در جدول‌های ٦ و ۷ نشان داده شده است. در این جدول‌ها سطح احتمال معنی‌دار بودن یا عدم وجود معنی‌داری اثرات متقابل سه عامل اندازه، رطوبت و سرعت بارگذاری بر خواص مکانیکی مغز ارقام ذکر شده مشخص شده است.

همانطور که در جدول ٦ مشاهده می‌شود، اثر اندازه بین هر سه سطح آن بر خواص مکانیکی مغز بادام رقم آذر معنی‌دار بوده است. اثر رطوبت تنها بین دو سطح ۵٪ و ۲۵٪ بر خواص مکانیکی مغز بادام معنی‌دار بوده است و بین دو سطح مورد آزمایش دیگر تفاوت معنی‌داری مشاهده نشده است.

سرعت بارگذاری بین دو سطح ۵ و ۵۰ میلی‌متر بر دقیقه و ۵ و ۱۰۰ میلی‌متر بر دقیقه به طور معنی‌داری بر بیشینه نیروی برش تأثیر گذار بوده است. همچنین اثر عامل سرعت بارگذاری بین هر سه سطح مورد آزمایش، بر توان لازم برای برش مغز بادام رقم آذر معنی‌دار بوده است.

با توجه به جدول ۷ مشاهده می‌شود، اثر اندازه بین هر سه سطح آن بر خواص مکانیکی مغز بادام رقم نون‌پاریل معنی‌دار بوده است. اثر رطوبت نیز بین هر سه سطح آن بر بیشینه نیرو و انرژی لازم برای برش مغز بادام رقم نون‌پاریل معنی‌دار بوده است، که این امر نشان‌دهنده آن است که مغز بادام رقم نون‌پاریل در مقایسه با رقم آذر نسبت به تغییرات محتوی رطوبت، رفتار متفاوت‌تری از خود در مقابل عمل برش نشان می‌دهد.

سرعت بارگذاری تنها بین دو سطح ۵ و ۱۰۰ میلی‌متر بر دقیقه به طور معنی‌داری بر بیشینه نیروی برش تأثیر گذار بوده است. همچنین اثر عامل سرعت بارگذاری بین هر سه سطح

1. Tukey

مورد آزمایش، بر توان لازم برای برش مغز بادام رقم آذر معنی‌دار بوده است.

٤- نتیجه‌گیری

۱- مقادیر میانگین خصوصیات هندسی، شامل طول، عرض، ضخامت، قطر متوسط حسابی و هندسی، وزن، حجم و کرویت مغز بادام رقم آذر به ترتیب عبارتند از: ۲۱/۰۱، ۱۱/۵۳، ۵/۳۱، ۱۲/٦٤، ۱۰/۹۱، میلی‌متر، ۰/٦۹۵ gr، mm^3 ٦۷۳/۱ و ۵۲/۰۲ ٪ . همچنین مقادیر متناظر برای رقم نون-پاریل به ترتیب عبارتند از: ۱۹/۵٤، ۱۰/۹٦، ۵/۲٤، ۱۱/۹۲، ۱۰/۳۸ میلی‌متر، ۰/۵۷۰ gr، mm^3 ۵٤۷/۹ و ۵۳/۲۷ ٪ . نتایج حاصل نشان داد که تفاوت چندانی بین خصوصیات ابعادی و وزن مغز بادام دو رقم ذکر شده وجود ندارد و تنها طول مغز بادام رقم آذر به طور معنی‌داری بیشتر از رقم نون‌پاریل بوده است.

۲- بین مقادیر میانگین ضریب کرویت، تخلخل، چگالی واقعی و چگالی توده مغز بادام رقم آذر و رقم نون‌پاریل تفاوت معنی‌داری وجود ندارد.

۳- نتایج حاصل آزمایش‌ها نشان داد که تفاوت بین مقادیر میانگین ضریب اصطکاک ایستایی کاملاً معنی‌دار بوده است. به طوری که مقدار ضریب اصطکاک مغز بادام رقم نون‌پاریل، بر روی هر سه سطح آهن گالوانیزه، فولاد و آلومینیوم بیشتر از رقم آذر می‌باشد که این امر حاکی از صاف‌تر بودن سطح پوست مغز بادام‌های رقم آذر نسبت به رقم نون‌پاریل می-باشد.

٤- عوامل محتوی رطوبت، سرعت بارگذاری و نیز اندازه، خواص مکانیکی شامل نیرو، انرژی و توان مورد نیاز برای برش مغز بادام را به طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار می‌دهند.

۵- آزمون بارگذاری برشی می‌تواند روش مناسبی برای تعیین خواص مکانیکی محصولاتی باشد که در مراحل برداشت و یا پس از برداشت عمل برش بر روی آن‌ها صورت می‌گیرد. به وسیله این آزمون می‌توان برخی خواص مکانیکی نظیر پارامترهای مقاومت به برش را برای محصولات مختلفی که در فرآوری آن‌ها عمل برش صورت می‌گیرد، به دست آورد. آزمون بارگذاری برشی می‌تواند به محققینی که بر روی مکانیک محصولات کشاورزی تحقیق می‌کنند، کمک کند تا با انتخاب مناسب نوع تیغه برش، زاویه تیزی تیغه، زاویه برش و سرعت بارگذاری و دیگر پارامترها، کمترین سطح ضایعات را در فرآوری محصولات مختلف کشاورزی داشته باشیم.

٦- نتایج حاصل از تجزیهٔ واریانس داده‌های مربوط به آزمون بارگذاری برشی مغز بادام نشان داد که تأثیر هر سه عامل اندازه، رطوبت و سرعت برگذاری بر بیشینه نیرو، انرژی و توان لازم برای برش مغز بادام هر دو رقم آذر و نون‌پاریل معنی‌دار است.

۵- منابع

[1] FAOSTAT. 2006. FAO International statistical software. Available at: *http://faostat.fao.org/faostat/*

[2] Sitkei, G. 1986. Mechanics of Agricultural Materials. 1st edn., Elsevier Science Pub. Co. 483p. New York, N.Y.

[3] Aydin, C. 2003. Physical properties of almond nut and kernel. *Journal of Food Engineering*, 60, 315- 320.

[4] Krishna, K.S., Reddy, B.S. 2006. Post-harvest physico-mechanical properties of orange peel and fruit. *Journal of Food Engineering*,, 73, 112-120.

[5] Oloso, A.O and Clarke, B. 1993. Some aspect of strength properties of cashew nuts. *Journal of Agricaltural Engineering Research*, 55: 27-43.

[6] Silberestain, D. A and Rao, V. N. M. 1977. Mechanical properties of peanuts at various tempretures and relative humidities. Transactions of the ASAE. 20(3): 746-748.

[7] Kazaei, J., Borghei, A. M., Rasekh, M. 2003. Determining the physical and mechanical properties of almond and its kernel. *Journal of Agricaltural Sciences*. Vol. 9. No. 3. 11-33.

[8] Mohsenin N. N. 1986. Physical properties of plant and animal materials. (2nd Ed.), New York: Gordon & Breach Science Publisher.

Determination of some physical and mechanical properties of two varieties Almond kernel, under cutting loading

Rasekh, M. [1*], Afkari-Sayyah, A. H. [2], Bodaghi, V. [3]

1- Assistant Professor, Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili,
2-Assistant Professor, Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili,
3- M. Sc. Student of Farm Machinery, Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili

(Received:88/12/2 Accepted: 90/7/9)

The post-harvest physical and mechanical properties data of fruits and vegetables are important in adoption and design of various handling, packaging, storage and transportation systems. In this research some of physical and mechanical properties of two varieties of almond kernel were investigated. The mean values of geometrical properties including; length, width, thickness, the geometric mean diameter, weight, volume and sphericity for Azar variety were 21.01, 11.53, 5.31, 10.91 *mm*, 0.695 *gr*, 673.1 mm^3 and 52.02% and for Nonpareil were 19.54, 10.96, 5.24, 10.38 *mm*, 0.570 *gr*, 547.9 mm^3 and 53.27%, respectively. Also, properties such as ; particle density and bulk density, frictional properties of Almond kernel on the plain steel, galvanized steel and aluminum for the two varieties of Almond, that is, Azar and Nonpareil were measured. At present research, also by cutting loading tests, some of mechanical properties of almond kernel such as force, energy and power requirement for cutting of kernel were investigated. The tests were carried in three size levels (small, medium and large) and three loading speed (5, 50 and 100 mm/min) and three moisture levels (5, 15 and 25%) with 10 replication. The effect of three factors; size, speed, moisture and their multiple effects were measured for both varieties. Finally, the mean values of mechanical properties both varieties were compared. The mean force, energy and power requirement to cutting of kernel for Azar variety were 15.43N, 6.12mJ, 0.0058W and for Nonpareil were 17.03N, 8.19 mJ, 0.0071W, respectively.

Keywords : Almond kernel, Azar variety, Nonpareil variety, Mechanical properties, Physical properties

[*]Corresponding author E-mail address: ma_rasekh1349@yahoo.com.au