

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

منصور راسخ^{۱*}، امیرحسین افکاری سیاح^۲، وحید بداغی^۳

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، $۰/۶۹۵ \text{ gr}$ ، $۶۷۳/۱ \text{ mm}^3$ و $۵۲/۰۲ \%$. همچنین مقادیر متناظر برای رقم نون‌پاریل به ترتیب عبارت بودند از: ۱۹/۵۴، ۱۰/۹۶، ۵/۲۴، ۱۰/۳۸، ۵/۷۰ میلی‌متر، $۰/۵۷۰ \text{ gr}$ ، $۵۴۷/۹ \text{ mm}^3$ 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 استاتیکی، 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 $۱۵/۴۳ \text{ N}$ ، $۶/۱۲ \text{ mJ}$ ، $۰/۰۰۵۸ \text{ W}$ و برای رقم نون‌پاریل $۱۷/۰۳ \text{ N}$ ، $۸/۱۹ \text{ mJ}$ ، $۰/۰۰۷۱ \text{ W}$ 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

از ۱۰۰ هزار 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

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 اهمیت خاصی برخوردار است. بادام از جمله محصولات با ارزشی است که تولید سالیانه آن در ایران بیش

* مسئول مکاتبات: ma_rasekh1349@yahoo.com.au

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: ۱۵۲۶-۱۳۹ نیوتن، ۲۰۹۳-۷۰ میلی ژول و ۵/۱۲۱-۰/۱۵ وات. همچنین سرعت بارگذاری تأثیر معنی داری 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^۶ و نون‌پاریل^۷.
- 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.
- ۴- 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 کیودرآهنگ 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 از پوست 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 ۰/۰۰۱ گرم استفاده شد و سپس میانگین قطر هندسی (Dg).

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^۱ (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^۲ (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 ۶ 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 [۴]. اولوسو^۳ و کلارک (۱۹۹۳) نیرو و انرژی لازم برای شکستن بادام و همچنین مقدار تغییر شکل آن در حین بارگذاری را بررسی کردند و نتیجه گرفتند تأثیر جهت بارگذاری بر نیرو و انرژی مصرفی برای شکستن بادام معنی‌دار است [۵]. سیلبرستین و رآو^۴ (۱۹۷۷) حداکثر نیرو و انرژی مورد نیاز برای شکستن بادام رقم فلورنر^۵ و مقدار تغییر شکل 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 [۶]. در تحقیقی تأثیر سرعت بارگذاری، اندازه بادام و جهت بارگذاری بر نیرو، انرژی و توان مورد نیاز برای شکستن بادام درختی رقم نگراس مطالعه

1. Aydin
2. Krishna and Reddy
3. Oloso
4. Silberstain and Rao
5. Florunner

6. Azar

7. Nonpareil

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 $STM 20$ ^۱ که دارای نیروسنجی به ظرفیت $2 kgf$ می‌باشد، در آزمایشگاه بیوفیزیک دانشگاه محقق اردبیلی انجام گرفت. بدین منظور در انجام آزمایش‌ها از یک تیغه فلزی به ضخامت 0.2 میلی‌متر و با زاویه تیزی 10° 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، 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 نمونه‌های 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 می‌گردد. بارگذاری تا لحظه‌ای صورت می‌گرفت که عمل برش بر روی

میانگین قطر حسابی (Da) و ضریب کروی (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 ۴ تعیین شد.

$$\rho_t = \frac{m_t}{V_t} \quad (۴)$$

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 بر حسب گرم و V_b حجم توده (حجم استوانه) بر حسب cm^3 می‌باشد.

درصد تخلخل توده‌ای مغز بادام‌ها (ε) نیز از رابطه ۶ حاصل شد [۸].

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_t}\right) \times 100 \quad (۶)$$

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

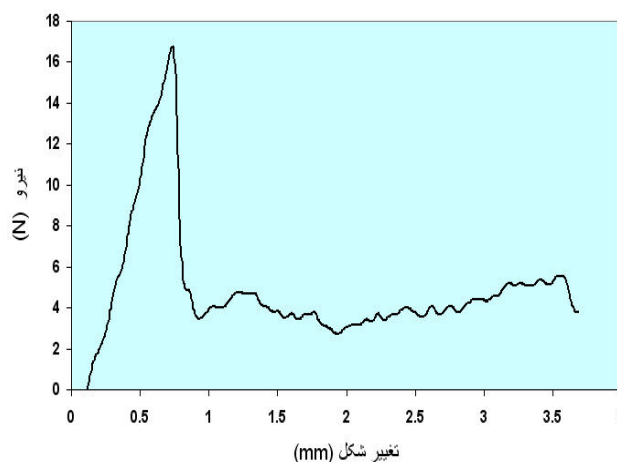
1. SANTAM

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 جدول ۱، مشاهده می‌گردد که بین مقادیر میانگین وزن، چگالی واقعی و چگالی توده دو رقم ذکر شده، تفاوت معنی‌داری 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 نون‌پاریل 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.

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



شکل ۱ منحنی نیرو- تغییر شکل 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- تغییر شکل، بیشینه نیروی برش از روی منحنی رسم شده به دست آمد. با محاسبه سطح زیر منحنی نیرو- تغییر شکل، 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.

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

مشخصه فیزیکی	رقم			
	آذر		نون پاریل	
	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار
طول (mm)	۲۱/۰۱	۲/۴۸	۱۹/۵۴	۲/۴۳
عرض (mm)	۱۱/۵۳	۱/۵۱	۱۰/۹۶	۱/۲۲
ضخامت (mm)	۵/۳۱	۰/۴۸	۵/۲۴	۰/۶۱
قطر متوسط حسابی (mm)	۱۲/۶۴	۱/۳۴	۱۱/۹۲	۱/۲۳
قطر متوسط هندسی (mm)	۱۰/۹۱	۱/۱۷	۱۰/۳۸	۱/۱۱
ضریب کروییت (%)	۵۲/۰۲	۱/۶۵	۵۳/۲۷	۲/۰۴
حجم (mm ^۳)	۶۷۳/۱	۱۱۵/۳	۵۴۷/۹	۱۱۶/۲
جرم (gr)	۰/۶۹۵	۰/۲۱۱	۰/۵۷۰	۰/۱۳۶
چگالی واقعی ($\frac{gr}{cm^3}$)	۱/۰۴	۰/۰۵۵	۱/۰۵	۰/۰۳۱
چگالی توده ($\frac{gr}{cm^3}$)	۰/۵۵۱	۰/۰۵۸	۰/۵۷۷	۰/۰۶۱
تخلخل (%)	۴۷/۳	۴/۷	۴۵/۱	۶/۸
ضریب اصطکاک بر روی صفحه‌ای از جنس	۰/۳۳۵	۰/۰۱۴	۰/۳۹۲	۰/۰۱۱
	۰/۲۵۹	۰/۰۱۶	۰/۳۰۷	۰/۰۱۵
	۰/۱۵۳	۰/۰۱۲	۰/۲۳۷	۰/۰۱۸
	آلومینیوم			

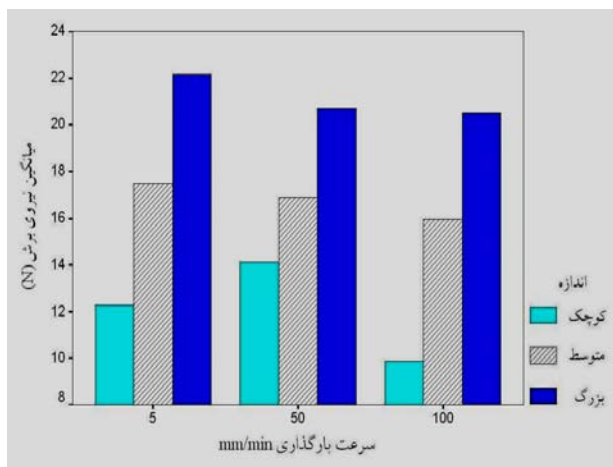
جدول ۲ میانگین و انحراف معیار خواص مکانیکی مغز بادام ارقام آذر و نونپاریل تحت اثر محتوی رطوبت

مشخصه مکانیکی	رقم	رطوبت ۵٪		رطوبت ۱۵٪		رطوبت ۲۵٪	
		میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار
بیشینه نیروی برش (N)	آذر	۱۶/۶۲	۴/۶۳	۱۵/۹۴	۳/۹۳	۱۳/۷۲	۳/۶۴
	نونپاریل	۱۸/۹۸	۴/۸۶	۱۶/۶۹	۴/۶۳	۱۵/۲۹	۴/۸۲
حداکثر تغییر شکل تا لحظه ایجاد برش (mm)	آذر	۰/۷۲۸	۰/۱۹۸	۰/۷۵۶	۰/۱۸۲	۰/۷۱۸	۰/۱۹۸
	نونپاریل	۰/۹۵۶	۰/۲۱۷	۱/۰۰	۰/۲۲۷	۰/۸۵۷	۰/۲۶۱
انرژی برش (mJ)	آذر	۶/۷۴	۲/۶۱	۶/۲۱	۲/۲۷	۵/۴۱	۳/۱۷
	نونپاریل	۹/۷۲	۲/۹۶	۸/۳۴	۲/۱۹	۶/۵۰	۱/۵۸
توان لازم برای برش (W)	آذر	۰/۰۰۷۲	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۶۶	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۶۵	۰/۰۰۲۷
	نونپاریل	۰/۰۰۷۶	۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۷۲	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۶۸	۰/۰۰۳۱

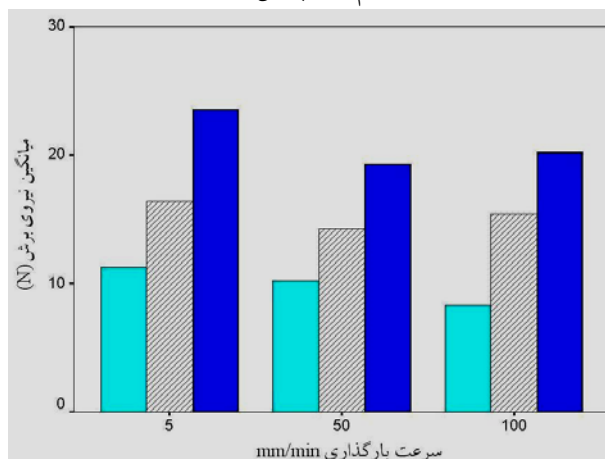
همانگونه که از جدول ۲ نتیجه می‌شود، در هر دو رقم آذر و نونپاریل با افزایش محتوی رطوبت، مقادیر میانگین خواص مکانیکی شامل بیشینه نیروی برش و همچنین انرژی و توان لازم برای ایجاد برش در مغز بادام کاهش می‌یابد، که علت آن نرم شدن بافت مغز بادام در اثر افزایش محتوی

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.

مشخص است در هر ۲ رقم و در هر سرعت بارگذاری با افزایش اندازه مغز بادام میانگین نیروی برش افزایش می‌یابد.



رقم نون پاریل

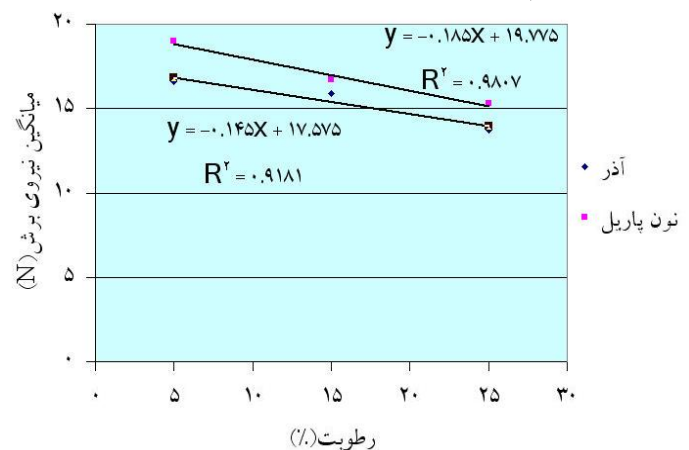


رقم آذر

شکل ۳ اثر اندازه و سرعت بارگذاری بر میانگین

جدول‌های ۴ و ۵ به ترتیب نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به خواص مکانیکی حاصل از بارگذاری برشی مغز بادام ارقام آذر و نون پاریل را نمایش می‌دهند. همانگونه که از جدول‌های ۴ و ۵ پیداست، در هر دو رقم آذر و نون پاریل، 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.

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



شکل ۲ مقایسه اثر رطوبت بر نیروی برش مغز بادام دو رقم آذر و نون پاریل

در جدول ۳، میانگین و انحراف معیار خواص مکانیکی مغز بادام ارقام آذر و نون پاریل 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 تغییر شکل نسبی رابطه معکوس دارد. بنابراین به دلیل بیشتر بودن نرخ تغییرات سرعت بارگذاری نسبت به تغییرات دو عامل انرژی و تغییر شکل، 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 نون پاریل این نتیجه حاصل می‌شود که بیشینه نیرو، انرژی و توان لازم برای برش مغز رقم نون پاریل بیشتر از رقم آذر می‌باشد که این امر به دلیل ضخیم‌تر بودن پوست مغز بادام‌های رقم نون پاریل نسبت به رقم آذر می‌باشد. نمودارهای شکل ۴ 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 نون پاریل نشان داده شده است. همان‌طور که از شکل ۳

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

مشخصه مکانیکی	رقم	سرعت ۵ mm/min		سرعت ۵۰ mm/min		سرعت ۱۰۰ mm/min	
		میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار
بیشینه نیروی برش (N)	آذر	۱۷/۰۶	۴/۷۱	۱۴/۷۶	۳/۸۶	۱۴/۶۲	۳/۵۷
	نونپاریل	۱۷/۷۸	۴/۷۹	۱۷/۵۹	۴/۴۰	۱۵/۴۱	۴/۵۸
تغییر شکل نسبی تا لحظه ایجاد برش (mm)	آذر	۰/۷۱۶	۰/۲۰۰	۰/۷۳۵	۰/۱۸۶	۰/۷۵۲	۰/۲۲۸
	نونپاریل	۰/۹۲۳	۰/۲۴۷	۰/۹۷۰	۰/۲۰۲	۰/۹۲۷	۰/۲۵۷
انرژی برش (mJ)	آذر	۶/۵۴	۲/۱۲	۵/۹	۲/۴۱	۵/۷۸	۲/۵۶
	نونپاریل	۸/۵۱	۲/۵۷	۸/۵۳	۲/۷۴	۷/۵۱	۲/۶۷
توان لازم برای برش (W)	آذر	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۶۵	۰/۰۰۰۱۸	۰/۰۱۲۴	۰/۰۰۴۸
	نونپاریل	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۷۱	۰/۰۰۰۱۷	۰/۰۱۳۳	۰/۰۰۴۱

جدول ۴ 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**	۱۲۴/۸**	۷۰/۷**
محتوی رطوبت	۲	۱۷/۱*	۶/۷**	۸**
سرعت بارگذاری	۲	۱۴/۸**	۱/۹*	۵۴۵*
اندازه × رطوبت	۴	۲ ^{ns}	۰/۹ ^{ns}	۱/۲۴ ^{ns}
اندازه × سرعت بارگذاری	۴	۳ ^{ns}	۲۶/۲ ^{ns}	۳۲**
رطوبت × سرعت بارگذاری	۴	۲/۹*	۴/۷*	۲/۴۵ ^{ns}
اندازه × رطوبت × سرعت بارگذاری	۸	۱/۵ ^{ns}	۱/۷ ^{ns}	۱/۲ ^{ns}
خطا	۲۴۳			

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**	۲/۶**	۳/۲*
سرعت بارگذاری	۲	۱۱/۱**	۳/۵*	۴۳۰**
اندازه × رطوبت	۴	۰/۳ ^{ns}	۰/۶ ^{ns}	۰/۷ ^{ns}
اندازه × سرعت بارگذاری	۴	۳*	۰/۲ ^{ns}	۸/۲*
رطوبت × سرعت بارگذاری	۴	۵/۲*	۵/۵**	۰/۵ ^{ns}
اندازه × رطوبت × سرعت بارگذاری	۸	۱/۳۶ ^{ns}	۰/۴ ^{ns}	۰/۹ ^{ns}
خطا	۲۴۳			

* معنی دار در سطح احتمال ۵٪

** معنی دار در سطح احتمال ۱٪

ns عدم وجود اختلاف معنی دار

جدول ۶ نتایج آزمون مقایسه توکی بر خواص مکانیکی مغز بادام رقم آذر

سطح احتمال معنی دار بودن			
توان	انرژی	بیشینه نیروی برش	
۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	کوچک - متوسط
۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	کوچک - بزرگ
۰/۰۲۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	متوسط - بزرگ
۰/۱۶۳	۰/۳۲۲	۰/۳۸۹	۵ - ۱۵
۰/۰۰۰	۰/۰۰۷	۰/۰۲۶	۵ - ۲۵
۰/۰۸۱	۰/۰۸۷	۰/۲۱۸	۱۵ - ۲۵
۰/۰۰۰	۰/۱۶۷	۰/۰۴۵	۵ - ۵۰
۰/۰۰۰	۰/۲۴۱	۰/۰۰۰	۵ - ۱۰۰
۰/۰۳۲	۰/۹۷۸	۰/۹۹۱	۵۰ - ۱۰۰

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

سطح احتمال معنی دار بودن			
توان	انرژی	بیشینه نیروی برش	
۰/۰۳۲	۰/۰۰۸	۰/۰۰۰	کوچک - متوسط
۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	کوچک - بزرگ
۰/۰۴۳	۰/۰۴۸	۰/۰۲۱	متوسط - بزرگ
۰/۵۹۱	۰/۰۰۷	۰/۰۳۲	۵ - ۱۵
۰/۰۳۴	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۵ - ۲۵
۰/۲۷۱	۰/۰۰۵	۰/۰۱۸	۱۵ - ۲۵
۰/۰۰۰	۰/۹۶۳	۰/۹۴۷	۵ - ۵۰
۰/۰۰۰	۰/۰۴۲	۰/۰۰۰	۵ - ۱۰۰
۰/۰۰۰	۰/۰۵۹	۰/۲۲۱	۵۰ - ۱۰۰

سرعت بارگذاری بین دو سطح ۵ و ۵۰ میلی متر بر دقیقه و ۵ و ۱۰۰ میلی متر بر دقیقه به طور معنی داری 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 معنی دار بوده است.

با توجه به جدول ۷ مشاهده می شود، اثر اندازه بین هر سه سطح آن بر خواص مکانیکی مغز بادام رقم نون پاریل معنی دار بوده است. اثر رطوبت نیز بین هر سه سطح آن بر بیشینه نیرو و انرژی لازم برای برش مغز بادام رقم نون پاریل معنی دار بوده است، که این امر نشان دهنده آن است که مغز بادام رقم نون پاریل در مقایسه با رقم آذر نسبت به تغییرات محتوی رطوبت، رفتار متفاوت تری از خود در مقابل عمل برش نشان می دهد.

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

به منظور تعیین سطح احتمال معنی دار بودن بین سطوح مختلف اندازه، رطوبت و سرعت بارگذاری بر خواص مکانیکی از آزمون مقایسه دو دویی توکی^۱، استفاده شد. نتایج حاصل از آزمون مقایسه اثر بین سطوح (آزمون توکی) بر خواص مکانیکی مغز بادام ارقام آذر و نون پاریل به ترتیب در جدول های ۶ و ۷ نشان داده شده است. در این جدول ها سطح احتمال معنی دار بودن یا عدم وجود معنی داری اثرات متقابل سه عامل اندازه، رطوبت و سرعت بارگذاری بر خواص مکانیکی مغز ارقام ذکر شده مشخص شده است.

همانطور که در جدول ۶ مشاهده می شود، اثر اندازه بین هر سه سطح آن بر خواص مکانیکی مغز بادام رقم آذر معنی دار بوده است. اثر رطوبت تنها بین دو سطح ۵ و ۲۵٪ بر خواص مکانیکی مغز بادام معنی دار بوده است و بین دو سطح مورد آزمایش دیگر تفاوت معنی داری مشاهده نشده است.

1. Tukey

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.

۶- نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به آزمون بارگذاری برشی مغز بادام نشان داد که تأثیر هر سه عامل اندازه، رطوبت و سرعت بارگذاری بر بیشینه نیرو، انرژی و توان لازم برای برش مغز بادام هر دو رقم آذر و نون پاریل 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 Agricultural Engineering Research*, 55: 27-43.
- [6] Silberestain, D. A and Rao, V. N. M. 1977. Mechanical properties of peanuts at various temperatures 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 Agricultural 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.

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

۴- 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: $21/01$ ، $11/53$ ، $5/31$ ، $12/64$ ، $10/91$ میلی‌متر، $0/695$ mm^3 ، $673/1$ و $52/02$ ٪. همچنین مقادیر متناظر برای رقم نون-پاریل به ترتیب عبارتند از: $19/54$ ، $10/96$ ، $5/24$ ، $11/92$ ، $10/38$ میلی‌متر، $0/570$ mm^3 و $53/27$ ٪. 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 نون پاریل بوده است.

۲- بین مقادیر میانگین ضریب کرویت، تخلخل، چگالی واقعی و چگالی توده مغز بادام رقم آذر و رقم نون پاریل 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 نون پاریل، 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 نون پاریل می‌باشد.

۴- 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

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 mm³ and 52.02% and for Nonpareil were 19.54, 10.96, 5.24, 10.38 mm, 0.570 gr, 547.9 mm³ 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