برخی خواص فیزیکی و مکانیکی دو رقم بادام درختی

وحید بداغی[۱]، منصور راسخ[۲*]، امیرحسین افکاری سیاح[۳]، بهزاد یعقوبیان[۴]، عبدالله گل محمدی[۵]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل.
۲- استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل.
۳- استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل.
٤- عضو هیئت علمی گروه آمار دانشگاه پیام نور- واحد همدان.
۵- استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل.
(تاریخ دریافت: ۸۸/۸/۱٦ تاریخ پذیرش: ۸۸/۱۰/۲۸)

چکیده

اطلاع از خواص فیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی پایه و اساس طراحی و بهینه سازی ماشین های فرآوری این محصولات را تشکیل می دهد. بر این اساس، در این تحقیق برخی از خواص فیزیکی و مکانیکی میوه 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، مساحت رویه و کرویت رقم آذر به ترتیب عبارت بودند از: ۳۲/٤۲، ۲۱/۷٤، ۱٤/۷٦، ۲۱/۸۰ میلی‌متر، ٤/۱۵۷ gr، ۲۷۹۳ mm^3، ۱۵۰۹ mm^2 و ٦۷/٤۹ ٪. همچنین مقادیر متناظر برای رقم نون‌پاریل به ترتیب عبارت بودند از: ۲۹/۷۱، ۱۹/۱۲، ۱۲/۱۹، ۱۹/۲۲ میلی‌متر، ۱/۳۰۵ gr، ۲٤٤۲ mm^3، ۱۱٦۸ mm^2 و ٦۳/۸۰ ٪. چگالی واقعی و چگالی توده و نیز خواص اصطکاکی بر روی سطوح فولادی، گالوانیزه و آلومینیوم، برای هر دو رقم آذر و نون‌پاریل اندازه‌گیری شد. همچنین، در این تحقیق خواص مکانیکی، شامل بیشینه نیرو، انرژی و توان مورد نیاز برای شکست پوست چوبی دانه‌های بادام، تحت بارگذاری فشاری بین دو صفحه تخت اندازه-گیری و ارزیابی شد. تمامی آزمایش‌ها در سه سطح اندازه (کوچک، متوسط و بزرگ) و سه جهت بارگذاری (در امتداد محورهای اصلی x، y و z) و با سه سرعت بارگذاری (۱۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌متر بر دقیقه)، در ۱۰ تکرار انجام شدند. تأثیر سه عامل اندازه، سرعت و جهت بارگذاری و نیز اثرات متقابل آن‌ها برای هر دو رقم مورد ارزیابی قرار گرفت و در نهایت مقادیر میانگین خواص فیزیکی و مکانیکی دو رقم ذکر شده با یکدیگر مقایسه شدند. بیشینه نیرو، انرژی و توان مورد نیاز برای شکست پوست رقم آذر با مقادیر میانگین به ترتیب ۸۸٤/٦ N، ٤٤۷/۳mJ، ۰/٦۸۱W و برای رقم نون‌پاریل ۵٦/۲ N، ۳۱/٤ mJ، ۰/۰٤۵ W حاصل شد و مشخص گردید که میانگین مقادیر خواص مکانیکی رقم آذر به طورقابل ملاحظه‌ای بیشتر از رقم نون‌پاریل است. ضمن اینکه، در هر دو رقم اثر اندازه، سرعت و جهت بارگذاری بر خواص مکانیکی معنی‌دار بوده است.

کلید واژه‌گان: بادام درختی، 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

* مسئول مکاتبات: ma_rasekh1349@yahoo.com.au

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-08-05]

دارد و به همین دلیل توجه به توسعه و بهبود روزافزون 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 وجود دارد. از این‌رو جهت توفیق در تولید و توسعه سطح زیر کشت این محصول، توجه به ایجاد دستگاه‌های فرآوری مناسب جهت عرضه محصول مرغوب و با کیفیت بالا اجتناب ناپذیر است که در این راستا تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی این محصول حائز اهمیت می‌باشد[۲].

بطور کلی تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی به عنوان مبنایی برای طراحی و ساخت ماشین‌ها و تجهیزات انتقال، درجه بندی 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. هرچند تحقیقات زیادی در دنیا در زمینه تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی صورت گرفته است اما تحقیق در زمینه خواص بادام درختی بسیار محدود بوده 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]. خزایی و همکاران (۱۳۸۲) تأثیر اندازه بادام و نیز سرعت و جهت بارگذاری بر نیرو، انرژی و توان مورد نیاز برای شکستن پوست چوبی رقم تکزاس بادام درختی را مورد مطالعه قرار دارند و نشان دادند که سرعت بارگذاری بر نیرو و توان مورد نیاز برای شکست دانه بادام تاثیر معنی‌داری دارند و نیز دریافتند که فاکتور اندازه بادام و جهت بارگذاری بر نیرو، انرژی و توان مورد نیاز برای شکست دانه بادام به‌طور معنی‌داری تأثیرگذار است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که محدوده تغییرات نیرو، انرژی و توان مورد نیاز برای شکست پوست رقم تکزاس به ترتیب ۱۳۹ تا ۱۵۲۶ نیوتن، ۷۰ تا ۲۰۹۳ میلی‌ژول و ۰/۰۱۵ تا ۵/۱۲۱ وات می‌باشد[٤].

کالیونکو[2] (۱۹۹۰) اندازه و استحکام گسیختگی ده رقم بادام درختی را اندازه‌گیری کرد و رابطه‌ای بین اندازه و استحکام گسیختگی بادام ارائه داد. همچنین برخی از خواص بادام نظیر استحکام گسیختگی، کرویت و ضریب اصطکاک استاتیکی و دینامیکی توسط وی ارائه شد[۵]. آکتاس[3] و همکاران (۲۰۰۷) خواص مکانیکی دو رقم بادام درختی را تحت بارگذاری فشاری بین دو صفحه‌ی تخت مورد مطالعه قرار دادند و اثر رطوبت و جهت بارگذاری بر بیشینه نیروی شکست، انرژی، چقرمگی و توان مورد نیاز برای شکست دانه بادام را مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که رطوبت و جهت بارگذاری به‌طور معنی‌داری بر خواص مکانیکی دانه بادام تأثیرگذار است و بیشینه نیروی شکست زمانی حاصل می‌شود که جهت اعمال نیرو در راستای محور طولی بادام باشد[٦]. علاوه بر آن گوپتا و داس[4] (۲۰۰۰) بر روی آفتابگردان[۷]، و همچنین رضوی و همکاران(۲۰۰۷)، و کاشانی نژاد و همکاران (۲۰۰۵) بر روی پسته تحقیقات مشابهی را انجام دادند [۸ و ۹].

بررسی‌های انجام شده نشان داد که در زمینه‌ی تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی 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، حجم و سطح دو رقم آذر و نون‌پاریل[5].
۲- تعیین و بررسی خواص ثقلی شامل چگالی توده و چگالی واقعی این ارقام.
۳- تعیین و بررسی ویژگی‌های اصطکاکی بر روی سطوح مختلف.
٤- تعیین و بررسی خواص مکانیکی شامل نیروی بیشینه، انرژی گسیختگی و توان مورد نیاز برای شکست پوست چوبی ارقام ذکر شده.

1. Aydin

2. Kalyoncu
3. Aktas
4. Gupta & Das
5 . Nonpareil

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-08-05]

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 مزارع 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، دانه‌های شکسته شده و ترک‌دار و نیز مواد زائد به صورت دستی از نمونه‌های مورد آزمایش خارج گردید.

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)، مساحت رویه(S) و ضریب کرویت(Φ) به کمک روابط ۱ تا ۳ محاسبه شدند[۱۰].

(۱)

$$D_g = (LWT)^{1/3}$$

(۲)

$$S = \pi D_g^2$$

(۳)

$$\Phi = \frac{D_g}{L}$$

که در آن L، W و T به ترتیب طول، عرض و ضخامت دانه‌های بادام، بر حسب mm ، می‌باشند.

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

(٤)

$$\rho_t = \frac{m_t}{V_t}$$

که در آن m_t جرم نمونه بر حسب گرم و V_t حجم مایع جابجا شده بر حسب cm^3 می‌باشد. همچنین برای اندازه‌گیری چگالی توده، نمونه‌های مورد آزمایش از ارتفاع ۱۵ سانتی‌متری به داخل ظرفی به حجم ٤ لیتر ریخته شد و سپس به منظور تعیین حجم دقیق توده بادام، نمونه‌های مازاد بر حجم ظرف، بدون افزایش تراکم دانه‌ها از استوانه خارج شدند[۳] و طبق رابطه (۵)، از تقسیم جرم توده بر حجم توده نمونه‌های مورد آزمایش، چگالی توده بدست آمد.

(۵)

$$\rho_b = \frac{m_b}{V_b}$$

که در آن m_b جرم توده برحسب گرم و V_b حجم توده (حجم استوانه) برحسب cm^3 می‌باشد. درصد تخلخل توده بادام‌ها(ε) نیز از رابطه ٦ حاصل شد[۱۰].

(٦)

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

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 بماند، در زاویه‌ای شروع به حرکت می‌کند که در این لحظه تانژانت زاویه سطح مورد آزمایش با افق(θ_s)، ضریب اصطکاک ایستایی محسوب می‌شود[۱۰].

(۷)

$$\mu_s = \tan\theta_s$$

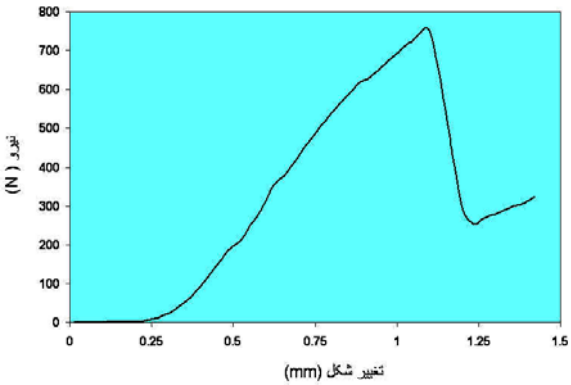
به منظور تعیین خواص مکانیکی نمونه‌های بادام، از آزمون فشاری[1] و منحنی نیرو- تغییر شکل استفاده شد. این آزمایش‌ها به وسیله دستگاه آزمون کشش- فشار مدل $STM\ 20$[2] که دارای نیروسنجی به ظرفیت ۲۰۰۰ kgf بود انجام گرفت. برای تعیین نیروی شکست پوست چوبی بادام‌ها، تک‌تک نمونه‌های مورد آزمایش به صورت کاملاً عمودی در فاصله بین فک‌های ثابت و متحرک دستگاه آزمون قرار گرفت و با حرکت رو به پایین فک متحرک بدون اینکه خمشی در آن ایجاد شود، بارگذاری به صورت شبه استاتیکی انجام و همزمان در حین بارگذاری نمودار نیرو- تغییر شکل تا لحظه شکست

1. Compression test
2. Santam Technology Machine

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-08-05]

به دست آمد. در تمام آزمون‌ها رطوبت نمونه‌های مورد آزمایش، رطوبت انبارداری بادام فرض شده است که به روش خشک کردن به وسیله آون، میزان محتوی رطوبتی برای رقم آذر و نون‌پاریل به ترتیب۶/۲ ٪ و ۷٪ بر مبنای خشک تعیین شد.

دستگاه آزمایش به یک رایانه متصل است و از طریق نرم-افزار 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 صدای شکست پوست چوبی شنیده شود که در این لحظه در منحنی نیرو- تغییرشکل، نیرو به شدت کاهش می‌یافت. در همه آزمون‌های بارگذاری نخستین نقطه شکست به عنوان نیروی شکست ثبت گردید. نمونه‌ای از منحنی نیرو- تغییرشکل در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل۱ منحنی نیرو- تغییرشکل حاصل از بارگذاری فشاری دانه بادام

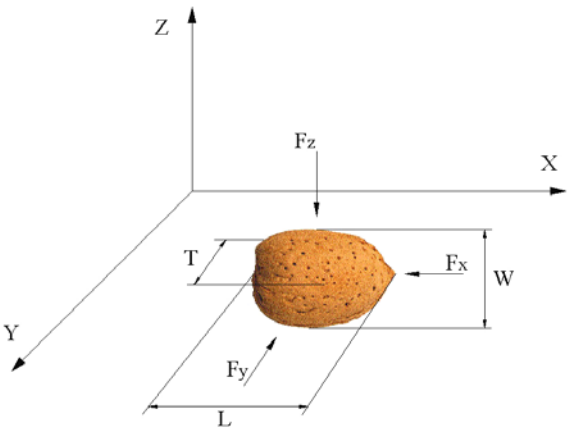
همچنین با محاسبه سطح زیر منحنی نمودار نیرو- تغییرشکل تا نقطه شکست، انرژی مصرفی برای شکست هر نمونه بادام بر حسب میلی‌ژول محاسبه شد. توان لازم برای شکستن پوست چوبی بادام نیز طبق رابطه (۸) محاسبه گردید[٤].

(۸)

$$P = \frac{E \times S}{60000\,\Delta\ell}$$

که در آن P، توان لازم برای شکست بر حسب وات ، E، انرژی شکست بر حسب میلی‌ژول، S، سرعت بارگذاری بر حسب میلی‌متر بر دقیقه و $\Delta\ell$، حداکثر تغییر شکل دانه تا لحظه شکست بر حسب میلی‌متر می‌باشد.

به منظور بررسی خواص مکانیکی بادام، اثر متغیرهای مستقل در ۳ سطح اندازه (کوچک، متوسط و بزرگ)، ۳ سطح سرعت بارگذاری (۱۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌متر بر دقیقه) و ۳ جهت بارگذاری (مطابق شکل ۲ در امتداد محورهای اصلی x، y و z)، در ۱۰ تکرار مورد بررسی قرار گرفت (شکل۲). در این تحقیق برای انجام آزمایش‌ها از آزمون فاکتوریل در طرح پایه بلوک‌های کاملاً تصادفی استفاده شد. در انتهای هر آزمایش، داده‌های اندازه‌گیری شده با کمک نرم افزار *Excel* در فایل-های مجزا دسته‌بندی و ذخیره‌سازی شدند و سپس تجزیه و تحلیل داده‌ها به کمک نرم افزار آماری *SPSS* صورت گرفت.



شکل ۲ نمایش جهت‌های بارگذاری بر روی دانه بادام

۳- نتایج و بحث

۳-۱- خواص فیزیکی

در جدول۱ میانگین و انحراف معیار داده‌های مربوط به خواص فیزیکی دانه‌های بادام دو رقم آذر و نون‌پاریل آورده شده است.

با توجه به جدول۱، مشاهده می‌شود که مقادیر میانگین خصوصیات هندسی، شامل طول، عرض، ضخامت، قطر متوسط هندسی، حجم و مساحت رویه رقم آذر بیشتر از رقم نون‌پاریل می‌باشد. همچنین مقادیر میانگین جرم، چگالی واقعی، چگالی توده و نیز درصد تخلخل رقم آذر بیشتر از رقم نون‌پاریل می‌باشد. این بدان معناست که رقم آذر که نسبت به رقم نون‌پاریل دارای پوست سخت و ضخیمی‌تری می‌باشد، به لحاظ اندازه بزرگتر و به لحاظ وزن مخصوص، چگالتر از رقم نون‌پاریل است.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-08-05]

جدول۱ میانگین و انحراف معیار خواص فیزیکی ارقام آذر و نون‌پاریل بادام درختی

مشخصه فیزیکی		رقم آذر		رقم نون‌پاریل		سطح احتمال معنی‌دار بودن
		میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	
طول (mm)		۳۲/۴۲	۳/۹۸	۲۹/۷۱	۲/۶۶	۰/۰۰۰
عرض (mm)		۲۱/۷۴	۲/۶۰	۱۹/۱۲	۱/۶۸	۰/۰۰۰
ضخامت (mm)		۱۴/۷۶	۱/۶۸	۱۲/۱۹	۱/۰۸	۰/۰۰۰
قطر متوسط هندسی (mm)		۲۱/۸۰	۲/۲۷	۱۹/۲۲	۱/۵۶	۰/۰۰۰
کرویت (٪)		۶۷/۴۹	۴/۰۶	۶۳/۸۰	۲/۳۳	۰/۰۰۵
حجم (mm^3)		۲۷۹۳/۸	۲۸۳/۵	۲۴۴۲/۲	۲۳۲/۷	۰/۰۰۰
مساحت رویه (mm^2)		۱۵۰۹/۴	۳۱۲/۹	۱۱۶۸/۴	۱۲۸/۹	۰/۰۰۰
جرم (gr)		۴/۱۵۷	۱/۰۵	۱/۳۰۶	۰/۲۹۸	۰/۰۰۰
چگالی واقعی ($\frac{gr}{cm^3}$)		۱/۰۳۷	۰/۰۵۸	۰/۷۲۴	۰/۱۰۸	۰/۰۰۰
چگالی توده ($\frac{gr}{cm^3}$)		۰/۵۳۲	۰/۰۱۲	۰/۲۵۱	۰/۰۱۶	۰/۰۰۰
تخلخل (٪)		۳۴/۹۲	۲۲/۱۵	۲۵/۴۲	۱۰/۳۰	۰/۰۰۰
ضریب اصطکاک برروی صفحه‌ای از جنس	گالوانیزه	۰/۳۰۶	۰/۰۱۵	۰/۳۹۴	۰/۰۱۴	۰/۰۰۰
	فولاد	۰/۲۷۹	۰/۰۱۷	۰/۳۶۸	۰/۰۱۵	۰/۰۰۰
	آلومینیوم	۰/۱۸۰	۰/۰۰۸	۰/۲۳۶	۰/۰۰۷	۰/۰۰۰

جدول ۲ میانگین و انحراف معیار خواص مکانیکی ارقام آذر و نون‌پاریل دانه بادام تحت اثر سرعت بارگذاری

مشخصه مکانیکی	رقم	سرعت ۱۰ $\frac{mm}{min}$		سرعت ۱۰۰ $\frac{mm}{min}$		سرعت ۲۰۰ $\frac{mm}{min}$	
		میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار
بیشینه نیروی شکست (N)	آذر	۱۰۷۷/۵۸	۳۶۴/۴	۹۳۳/۳۲	۲۷۴/۶۵	۷۱۶/۵۹	۲۱۱/۸
	نون‌پاریل	۶۶/۴۷	۱۴/۵۲	۵۱/۸۱	۱۳/۵۲	۵۱/۴۳	۱۵/۸۰
تغییرشکل نسبی تا نقطه شکست (mm)	آذر	۱/۰۵۷	۰/۴۲۰	۰/۸۶۰	۰/۲۶۹	۰/۹۱۵	۰/۲۳۱
	نون‌پاریل	۱/۱۴۵	۰/۳۶۱	۰/۱۰۹	۰/۴۷۳	۱/۰۷۸	۰/۳۸۴
انرژی شکست (mJ)	آذر	۶۱۲/۳۶	۱۴۳/۵۸	۴۱۱/۹۵	۱۰۴/۶۵	۳۱۸/۶۴	۹۸/۶۸
	نون‌پاریل	۳۷/۶۸	۸/۵۲	۲۸/۳۹	۸/۹۱	۲۸/۰۶	۷/۲۳
توان مورد نیاز برای شکست (W)	آذر	۰/۰۹۰۸	۰/۰۲۲۷	۰/۷۳۶۴	۰/۲۱۲۹	۱/۱۱۸۰	۰/۴۰۸۴
	نون‌پاریل	۰/۰۰۵۶	۰/۰۰۱۶	۰/۰۴۲۲	۰/۰۱۱۵	۰/۰۹۰۳	۰/۰۲۰۷

از طرفی با توجه به میانگین داده‌های مربوط به خواص اصطکاکی مشاهده می‌گردد که ضریب اصطکاک دانه‌های رقم نون‌پاریل در هر سه سطح اصطکاکی بیشتر از رقم آذر می باشد که این امر به دلیل زبر بودن سطح پوست چوبی رقم نون‌پاریل می‌باشد. بیشترین ضرایب اصطکاکی در هر دو رقم به ترتیب بر روی سطح آهن گالوانیزه، فولاد و آلومینیوم رخ داده است. مقادیر ضریب اصطکاک به دست آمده از این تحقیق با نتایج تحقیقی که آیدین در سال ۲۰۰۳ بدست آورد، مطابقت دارد[۳].

۳-۲- خواص مکانیکی

در جدول۲، میانگین و انحراف معیار خواص مکانیکی ارقام آذر و نون‌پاریل در سه سطح سرعت بارگذاری آورده شده است.

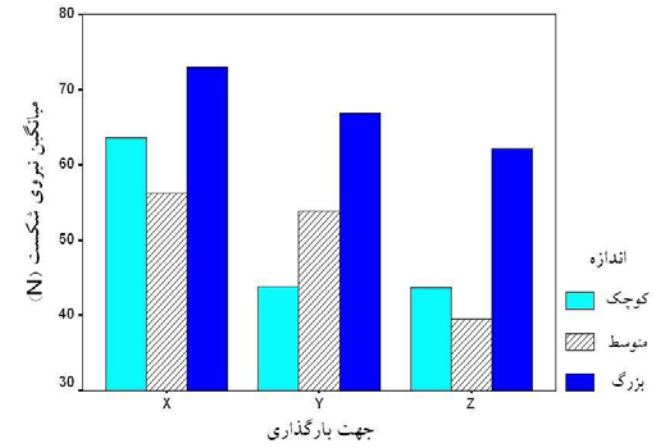
[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-08-05]

با توجه به جدول۲ مشاهده می‌گردد که در هر دو رقم با افزایش سرعت بارگذاری، بیشینه نیرو و انرژی مورد نیاز برای شکست پوست چوبی دانه‌های بادام کاهش می‌یابد. این در حالی است که با افزایش سرعت بارگذاری، توان مورد نیاز برای شکست پوست نیز افزایش می‌یابد، زیرا توان لازم برای شکستن پوست دانه بادام با دو عامل سرعت بارگذاری و انرژی شکست رابطه مستقیم و با مقدار تغییرشکل نسبی تا نقطه شکست رابطه معکوس دارد. بیشتر بودن نرخ تغییرات سرعت بارگذاری نسبت به تغییرات دو عامل انرژی و تغییرشکل نسبی، سبب شد که با افزایش سرعت بارگذاری، توان لازم برای شکست نیز افزایش یابد که این نتیجه با نتایج محققین دیگر مانند خزایی و همکاران(۱۳۸۲) مطابقت دارد [٤]. همچنین با مقایسه میانگین مقادیر خواص مکانیکی مربوط به دو رقم آذر و نون‌پاریل این نتیجه حاصل می‌شود که بیشینه نیرو، انرژی و توان لازم برای شکست پوست رقم نون‌پاریل به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از رقم آذر می‌باشد.

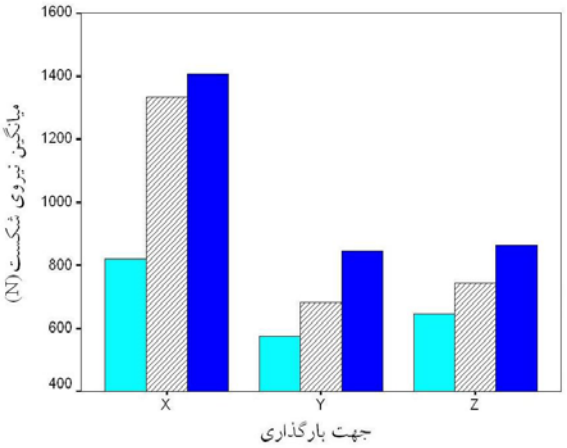
این در حالی است که تغییر شکل نسبی تا نقطه شکست پوست رقم نون‌پاریل بیشتر از رقم آذر بوده است که این امر به دلیل نازک و نرم بودن پوست رقم نون‌پاریل می‌باشد.

نمودارهای شکل۳ ، اثر اندازه و جهت بارگذاری بر روی میانگین نیروی شکست ارقام آذر و نون‌پاریل را نمایش می‌دهند.

همانگونه که از این نمودارها پیداست در هر دو رقم، بیشترین نیروی لازم برای شکست دانه بادام در بارگذاری فشاری در راستای محور Xها، یعنی در جهت طولی دانه‌های بادام صرف شده است که این امر برای دیگر خواص مکانیکی اندازه‌گیری شده نیز صادق است. به عبارت دیگر در هر دو رقم، بیشترین نیرو، انرژی و توان لازم برای شکست در جهت طولی دانه‌های بادام رخ داده است. کمترین مقدار نیرو، انرژی و توان لازم برای شکست در هر دو رقم ذکر شده در راستای محور Yها یعنی در جهت عمود بر محور طولی دانه‌های بادام ایجاد شده است، که این امر بیشتر



رقم نون پاریل



رقم آذر

شکل۳ اثر اندازه و جهت بارگذاری بر روی میانگین نیروی شکست دانه بادام

به دلیل شکل دانه بادام می‌باشد، زیرا در این حالت بیشترین تنش خمشی در دانه بادام ایجاد می‌شود که این نتایج مطابق با نتایجی است که آکتاس و همکاران در سال ۲۰۰۷ ارائه دادند [٦].

در جدول‌های ۳ و٤ به ترتیب نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به خواص مکانیکی ارقام آذر و نون‌پاریل آورده شده است.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-08-05]

جدول۳ نتایج تجزیه واریانس مقادیر خواص مکانیکی حاصل از بارگذاری فشاری رقم آذر

منبع تغییرات	درجه آزادی	نسبت F		
		بیشینه نیروی شکست	انرژی	توان
اندازه	۲	۱۱/۸*	۳۰/۵*	۲۳/٤**
سرعت بارگذاری	۲	۹/۸**	٤۸/٤**	۳٦۳/٦**
جهت بارگذاری	۲	۱۸/٦**	۱٦۸/٦**	٦٥/٤**
اندازه × سرعت بارگذاری	٤	۰/۷ns	۳/۱ ns	۱۲/۱*
اندازه × جهت بارگذاری	٤	۱/۸ ns	۲۱/٤*	۸/۲*
سرعت × جهت بارگذاری	٤	۱/۷ ns	٥/٦ ns	۱۸/۳*
اندازه ×سرعت ×جهت بارگذاری	۸	۱/٦ ns	۱/٦ ns	۳/۲*
خطا	۲٤۳			

جدول٤ نتایج تجزیه واریانس مقادیر خواص مکانیکی حاصل از بارگذاری فشاری رقم نون‌پاریل

منبع تغییرات	درجه آزادی	نسبت F		
		بیشینه نیروی شکست	انرژی	توان
اندازه	۲	۸۰/۳**	۷٥/۸**	٤۳/۳**
سرعت بارگذاری	۲	٥٦/۱*	۲۷/٦*	۹۳۰/۳**
جهت بارگذاری	۲	٤٥/٥**	۳۲**	۲۸/۷**
اندازه × سرعت بارگذاری	٤	۳/۱ ns	٥/۲ ns	۱٥/۱**
اندازه × جهت بارگذاری	٤	۹/٦*	٥/٦*	٤/٤*
سرعت × جهت بارگذاری	٤	٥/۳*	۲/۹*	۱۳/۳*
اندازه × سرعت × جهت بارگذاری	۸	۲/۷ ns	٤/۱ ns	۳/۹ ns
خطا	۲٤۳			

*. معنی دار در سطح احتمال ٥ ٪
**. معنی دار در سطح احتمال ۱ ٪
ns. عدم وجود معنی‌داری

جدول ٥ نتایج آزمون مقایسه توکی خواص مکانیکی دانه بادام ارقام آذر و نون‌پاریل

		سطح احتمال معنی‌دار بودن					
		بیشینه نیروی شکست		انرژی		توان	
	رقم	آذر	نون‌پاریل	آذر	نون‌پاریل	آذر	نون‌پاریل
اندازه	کوچک- متوسط	۰/۰۰۰	۰/۰۲٦	۰/۰۰٥	۰/۰۰٥	۰/۰۰۸	۰/۰٥۲
	کوچک- بزرگ	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
	متوسط- بزرگ	۰/۹۲٦	۰/۰۳۲	۰/۰۰۷	۰/۰۰۰	۰/۷٦۹	۰/۰۲۱
سرعت بارگذاری	۱۰ – ۱۰۰	۰/۰۰٥	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
	۱۰ – ۲۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
	۱۰۰ – ۲۰۰	۰/۱۳٦	۰/۹۳۳	۰/٥۲۲	۰/۹۷۳	۰/۰۳٤	۰/۰۳۳
جهت بارگذاری	X - Y	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
	X - Z	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰٦٤	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲
	Y - Z	۰/۲۰۸	۰/۰۰۰	۰/٦۰۷	۰/۰۰۰	۰/۷۰٥	۰/۰۲۹

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-08-05]

همانگونه که از جدول‌های ۳ و ٤ پیداست، در هر دو رقم آذر و نون‌پاریل، اثر هر سه عامل اندازه، سرعت و جهت بارگذاری بر خواص مکانیکی بادام شامل بیشینه نیروی شکست، انرژی و توان لازم برای شکست معنی‌دار بوده است که این امر حاکی از با اهمیت بودن هر سه عامل ذکر شده در تعیین خواص مکانیکی دانه بادام می‌باشد. در این جدول‌ها معنی‌دار بودن یا عدم وجود سطح معنی‌داری اثرات متقابل سه عامل اندازه، سرعت و جهت بارگذاری بر خواص مکانیکی ارقام ذکر شده مشخص شده است. به منظور تعیین سطح احتمال معنی‌دار بودن بین سطوح مختلف اندازه، سرعت و جهت بارگذاری بر خواص مکانیکی از آزمون مقایسه دو دویی توکی[1]، استفاده شد. نتایج حاصل از این آزمون برای ارقام آذر و نون‌پاریل در جدول ۵ آمده است.

نتایج حاصل از آزمون مقایسه بین سطوح نشان دهنده آن است که هر سه عامل اندازه، سرعت و جهت بارگذاری بر خواص مکانیکی، اغلب معنی‌دار بوده است که این امر حاکی از با اهمیت بودن هر سه عامل ذکر شده در تعیین خواص مکانیکی بادام درختی در ارقام مورد بررسی می‌باشد.

٤- نتایج

۱- مقادیر میانگین خصوصیات هندسی، شامل طول، عرض، ضخامت، قطر متوسط حسابی و هندسی، وزن، حجم، مساحت رویه و کرویت رقم آذر بادام درختی در تمام موارد بیشتر از آن برای رقم نون‌پاریل می‌باشد.

۲- اندازه، کرویت، تخلخل، چگالی واقعی و چگالی توده رقم آذر بیشتر از رقم نون‌پاریل بوده است.

۳- ضریب اصطکاک بر روی سطوح مختلف رقم نون-پاریل بیشتر از رقم آذر بوده است و بیشترین ضریب اصطکاک در هر دو رقم بر روی سطح گالوانیزه رخ داده است.

٤- عوامل سرعت و جهت بارگذاری و نیز اندازه بادام، خواص مکانیکی شامل نیرو، انرژی و توان مورد نیاز برای شکست پوست چوبی بادام را به طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار می‌دهند.

۵- بیشینه نیروی شکست پوست دانه بادام در هر دو رقم آذر و نون‌پاریل در امتداد محور X ها بوده است.

٦- میانگین مقادیر نیرو، انرژی و توان لازم برای شکست دانه‌های بادام رقم نون‌پاریل به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از مقادیر متناظر رقم آذر می‌باشد و از این‌رو حساسیت آن نسبت به شکستگی بیشتر از رقم آذر است. این امر حاکی از سخت تر بودن بافت پوست رقم آذر نسبت به رقم نون-پاریل می‌باشد.

1. Tukey

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] Khazaie, G., Rasekh, M. and Borgheie, A. 2003. Physical and mechanical properties of almond and its kernel. *Iranian Journal of Agricultural Science,* 9(3): 11-33. (in Farsi).

[5] Kalyoncu, I. H. 1990. A selection study on determining important characteristics of almond trees in Turkey, Master thesis, University of Ondokuz Mays, Samsun, Turkey.

[6] Aktas, T., Polat, R., Atay, U. 2007. Comparison of mechanical properties of some selected almond cultivars with hard and soft shell under compression loading. *Journal of Food Engineering*, 30, 773-789.

[7] Gupta, R.K., & Das, S. K. 2000. Fracture resistance of sunflower seed and kernel to compressive loading. *Journal of Food Engineering,* 46 , 1-8.

[8] Razavi, S. M. A., Amini, A.M., Rafe, A., and Emadzadeh, B. 2007. The physical properties of pistachio nut and its kernel as a function of moisture content and variety. Part III: Frictional properties. *Journal of Food Engineering*, 81, 226–235.

[9] Kashaninejad, M., Mortazavi, A., Safekordi, A., and Tabil, L. G. 2005. Some physical properties of Pistachio (Pistachia vera L.) nuts and its kernel. *Journal of Food Engineering*, 72, 30-38.

[10] Mohsenin N. N. 1986. Physical Properties of Plant and Animal Materials. 2nd, Edn., Gordon & Breach Science Publisher, New York, N.Y.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-08-05]

Some physical and mechanical properties of two varieties of Almond

Bodaghi, V [1]., Rasekh, M. [2 *], Afkari-Sayyah, A. H. [3], Yaghoubian, B. [4], Golmohammadi, A. [5]

1- Postgraduate Student, Dept. of Agricultural Machinery, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil
2- Assist. Prof., Dept. of Agricultural Machinery, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil
3- Assist. Prof., Dept. Dept. of Agricultural Machinery, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil
4-. Academic Staff, Dept. of Statistics, Hamedan Payam-Noor University, Hamedan
5- Assist. Prof., Dept. of Agricultural Machinery, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil
(Received:88/4/20 Accepted: 88/9/16)

Determination of physical and mechanical properties of agricultural products is the basis for designing or modification of processing equipments. Accordingly, in this research, some of physical and mechanical properties of two varieties of almond were investigated. The mean values of geometrical properties including; length, width, thickness, the geometric mean diameter, mass, volume, surface area and sphericity for Azar variety were 32.42, 21.74, 14.76, 21.80 *mm*, 4.157 *gr*, 2793 mm^3, 1509 mm^2 and 67.49% and for Nonpareil were 29.71, 19.12, 12.99, 19.22 *mm*, 1.305 *gr*, 2442 mm^3, 1168mm^2 and 63.80%, respectively. Also, properties such as ; true density and bulk density, frictional properties of Almond on the plain steel, galvanized steel and aluminum for the two varieties of Almond, that is, Azar and Nonpareil were measured. At the present research, also the mechanical properties such as maximum force, energy and power requirement to rupture of Almond nut, measured and assessed under compression loading between two parallel plates. The tests were carried out in three levels of size (small, medium and large), three loading speeds (10, 100 and 200 mm/min) and three loading axes (X, Y and Z) with 10 replications. The effect of three factors; size, speed, direction of loading and their interactions were measured for both varieties. Finally, the mean values of physical and mechanical properties both varieties were compared. The mean values of force, energy and power requirement to rupture of nut for Azar variety were 884.6 *N*, 447.3*mJ*, 0.681*W* and for Nonpareil were 56.2 *N*, 31.4 *mJ*, 0.045 *W*, respectively. The results showed that the mean values of mechanical properties of Azar variety were considerably more than that of Nonpareil variety. Also, it was revealed that the effect of size, speed and loading direction on mechanical properties was significant in both varieties.

Keywords: Almond, Azar variety, Nonpareil variety, mechanical properties, Physical properties

*Corresponding Author E_ Mail address: ma_rasekh1349@yahoo.com.au

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-08-05]