تعیین و بررسی برخی خواص فیزیکی و مکانیکی خرمای رقم کبکاب

علی‌ماشاءاله کرمانی[۱*]، یاسین قبادی[۲] و محمد غلامی پرشکوهی[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱/۱۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۲/۱۴)

چکیده

در این تحقیق تعدادی از خواص فیزیکی و مکانیکی خرمای رقم کبکاب اندازه‌گیری و ارزیابی شد. مقادیر متوسط طول، عرض و ارتفاع، وزن هزار میوه و یک واحد میوه، قطر متوسط هندسی، حجم، مساحت سطح رویه و سطح مقطع، چگالی حقیقی (میوه)، چگالی توده، تخلخل میوهٔ خرمای رقم کبکاب با میزان رطوبت ۲۱/۲۳ درصد بر پایه تر به‌ترتیب عبارت بودند از: ۳۶/۸۹، ۱۸/۶۸، ۲۳/۵۶، میلی‌متر، ۸۲۶۴/۰۷ و ۸/۲۵ گرم، ۲۵/۲۴ میلی‌متر، ۸۵۰۷/۸ میلی‌مترمکعب، ۲۰۰۸/۲۷ و ۵۰۲/۰۷ میلی‌مترمربع، ۰/۹۶ گرم بر سانتی‌مترمکعب، ۰/۵۱ گرم بر سانتی‌مترمکعب و ۴۶/۰۲ درصد. مقادیر متناظر برای هسته به‌ترتیب ۲۲/۹۸، ۶/۲۵، ۷/۴۸ میلی‌متر، ۷۸۹/۲ و ۰/۷۹ گرم، ۱۰/۲۳ میلی‌متر، ۵۶۸/۲۴ میلی‌مترمکعب، ۳۳۰/۳۰ میلی‌مترمربع، ۸۲/۵۸ میلی‌مترمربع، ۰/۹۹ گرم بر سانتی‌مترمکعب، ۰/۶۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب و ۳۰/۴۵ درصد تعیین شد. نسبت گوشت به هسته ۹/۹ برآورد گردید. نوع سطح اصطکاکی بر ضریب اصطکاک میوهٔ خرما در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. مقادیر ضریب اصطکاک ایستایی برای ورق آهن گالوانیزه، ورق استیل، پلاستیک فشرده، شیشه و چوب به‌ترتیب ۰/۳۴، ۰/۳۰، ۰/۳۲، ۰/۳۱ و ۰/۴۲ تعیین گردید. خواص مکانیکی میوهٔ خرما شامل نیرو، انرژی و نیز چغرمگی ظاهری در سه سطح سرعت بارگذاری فشاری ۵، ۱۵ و ۲۵ mm/min در راستای ارتفاع میوه تا ایجاد تغییر شکل‌هایی به میزان ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درصد ارتفاع اولیه تعیین شد. نتایج نشان داد که اثر سرعت بارگذاری بر کلیهٔ مقادیر خواص مکانیکی معنی‌دار بود. مقایسهٔ میانگین‌ها نشان داد که با افزایش سرعت بارگذاری مقدار نیرو، انرژی و چغرمگی به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یافت.

واژه‌های کلیدی: خواص فیزیکی، ضریب اصطکاک، خواص مکانیکی، سرعت بارگذاری، خرما

۱. استادیار گروه فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

۲. به‌ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی‌ارشد و استادیار مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تاکستان

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: amkermani@ut.ac.ir

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1393.4.13.18.6]

مقدمه

خرما از محصولات عمده کشاورزی ایران است و در حال حاضر یکی از محصولات مهم و پرسود کشور به شمار می‌آید. امروزه خرما مورد توجه متخصصین امور تغذیه و دیگر رشته‌ها بوده و به‌صورت مستقیم و یا غیرمستقیم در صنایع مختلف نظیر مواد غذایی، آشامیدنی، صنعتی و پزشکی کاربرد دارد. در روند مکانیزه کردن فعالیت‌های پس از برداشت مرتبط با محصول خرما اعم از حمل و نقل، انبارداری، سورتینگ (درجه‌بندی)، بسته‌بندی، هسته‌گیری و سایر موارد در اولین گام نیاز به اطلاعاتی جامع و کامل از خواص فیزیکی و مکانیکی آن است. تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی به‌عنوان مبنایی برای طراحی و ساخت ماشین‌ها و تجهیزات انتقال، درجه‌بندی و فرآوری محصولات کشاورزی همیشه مورد توجه بوده است. اصولاً طراحی ماشین‌های کشاورزی بدون توجه به این پارامترها ناقص بود و معمولاً به نتایج ضعیف می‌انجامد (۱۳ و ۱۷). بنا بر همین اهمیت و ضرورت بوده است که در دنیا تحقیقات زیادی در زمینه تعیین و بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی محصولات مختلف از جمله مواد دانه‌ای (۱، ۴ و ۱۱)، خشکباری (۲ و ۷) و میوه‌های (۳، ۶ و ۱۴) مختلف کشاورزی انجام شده است.

محصولات مختلف کشاورزی از جمله خرما در اکثر عملیات پس از برداشت از جمله بسته‌بندی یا ماشین‌های تهیه قالب‌های فشرده خرما تحت تأثیر نیروهای مختلف قرار می‌گیرند. از این‌رو، بررسی و شناخت رفتار آنها تحت بارگذاری مهم است. اکثر مواد کشاورزی جزء مواد ویسکوالاستیک (Viscoelastic) طبقه‌بندی می‌شوند. مواد ویسکوالاستیک دارای بخشی از خواص جامدات (الاستیسیته (Elasticity)) و بخشی از خواص مایعات (ویسکوزیته (Viscosity)) می‌باشند (۱۶) و رفتار بسیار پیچیده‌ای در برابر بارگذاری‌های مختلف از خود نشان می‌دهند. اگرچه وابستگی رفتار مواد ویسکوالاستیک به سرعت بارگذاری، از ویژگی‌های این دسته از مواد است، لکن چند و چون تأثیر سرعت بارگذاری بر خواص مکانیکی محصولات کشاورزی منوط به بررسی دقیق و موردی این محصولات است (۱۲). شناخت رفتار مکانیکی در موارد بررسی کاهش صدمات بر محصول و نیز مصرف انرژی ماشین‌ها مؤثر است.

در رابطه با خواص فیزیکی خرما، کرامت جهرمی و همکاران (۸) تعدادی از خواص فیزیکی خرمای رقم گیوونی را مطالعه کردند. آنان ابعاد و مساحت سطوح تصویر را به روش پردازش تصویر به‌دست آوردند. برخی خواص فیزیکی خرمای رقم زاهدی توسط جعفریان و همکاران (۵) تعیین شد.

شناخت خصوصیات مکانیکی میوهٔ خرما در طراحی و ساخت ماشین‌های بسته‌بندی و فرآوری مناسب برای کاربرد صحیح و تطبیق آنها، بسته به شرایط و اهداف عملیات مورد نظر برای ارقام مختلف مهم کشور اهمیت دارد. در رابطه با خواص مکانیکی خرما منصوری و مینایی (۱۲) برخی خواص فیزیکی و مکانیکی دو رقم خرمای استعمران و زاهدی حین بارگذاری به روش شبه استاتیک را مطالعه کردند. نتایج آزمایش‌های آنها نشان داد که میانگین مقادیر این خواص مکانیکی برای دو رقم مورد آزمایش اختلاف معنی‌داری با هم دارند.

کرمانی و همکاران (۱۰) در بررسی خواص مکانیکی دانهٔ برنج و بررسی اثر سرعت‌های بارگذاری فشاری شبه استاتیک نتیجه گرفتند که به‌طورکلی سرعت بارگذاری شبه استاتیک اثر معناداری بر مقادیر کلیهٔ خواص مکانیکی دانه برنج نداشت.

شناخت خواص فیزیکی و اطلاع از رفتار مکانیکی ارقام مختلف خرما با توجه به تفاوت‌های بافت میوه آنها و نیز مسائل فرآوری مختص هر یک لازم و ضروری است. از این رو، با توجه به این‌که اطلاعاتی پیرامون خواص فیزیکی و مکانیکی خرمای رقم کبکاب از ارقام مهم مورد کشت در استان بوشهر موجود نبود، در این پژوهش برخی از خواص فیزیکی این رقم شامل ویژگی‌های ابعادی، حجم، چگالی‌ها، تخلخل و ضریب اصطکاک روی سطوح مختلف اندازه‌گیری و محاسبه شده است. هم‌چنین رفتار مکانیکی آن نیز در بارگذاری فشاری با سرعت‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1393.4.13.18.6]

مواد و روش‌ها

حدود ۱۵ کیلوگرم خرمای رقم کبکاب از باغات خرمای شهرستان دشتستان تهیه و با رعایت این‌که ضمن حمل و نقل تحت بارگذاری قرار نگیرد به آزمایشگاه انتقال یافت. برای تعیین رطوبت اولیهٔ خرما از دستورالعمل موجود از طریق قرار دادن ۱۰ نمونه ۱۲۵ گرمی در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس و به‌مدت ۷۲ ساعت (۸)، حدود ۲۱/۲ بر پایهٔ تر تعیین شد.

اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی هندسی

برای اندازه‌گیری ابعاد میوه و هسته خرما و جرم واحد میوه، یک‌صد و پنجاه میوه از نوع مورد نظر به‌طور تصادفی انتخاب و توسط کولیس دیجیتالی (با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر) و ترازوی الکترونیکی (با دقت ۰/۰۱ گرم) اندازه گیری‌ها انجام شد. حجم(v) و قطر متوسط هندسی (D_g) خرما و هسته آن به‌ترتیب از روابط ۱ و ۲ محاسبه گردید.

$$V = \pi LWT / 6 \qquad [۱]$$

$$Dg = (LWT)^{\frac{1}{3}} \qquad [۲]$$

که در آنها، V= حجم (میلی‌مترمکعب)، D_g = قطر متوسط هندسی (میلی‌متر)، L= طول (میلی‌متر)؛ W= عرض (میلی‌متر) و T= ارتفاع (میلی‌متر) است.

نسبت وزن گوشت به هسته میوه (Flesh/seed ratio)، از تفاضل وزن هسته از وزن میوه کامل تقسیم بر وزن هسته، مطابق رابطهٔ ۳ محاسبه شد (۹).

$$\text{نسبت وزن گوشت به هسته} = \frac{\text{وزن میوه - وزن هسته}}{\text{وزن هسته}} \qquad [۳]$$

مساحت سطح رویه (Surface area) (S) و سطح مقطع (Projected area) (S_p)، میوه و هستهٔ خرما به‌ترتیب برابر مساحت سطح کُره و دایره‌ای با قطری معادل قطر متوسط هندسی آنها در نظر گرفته شد و از روابط ۴ و ۵ محاسبه شد (۴).

$$S = \pi D_g^2 \qquad [۴]$$

$$S_p = \frac{\pi D_g^2}{4} \qquad [۵]$$

چگالی‌های میوه و توده (True (fruit) and bulk density)

چگالی توده (ρ_b) با اندازه‌گیری وزن حاصل از ریختن دانه‌ها از ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر با ریزش یکنواخت در ظرفی به حجم ۵۰۰ میلی‌لیتر برای ۱۰ تکرار تعیین شد. برای تعیین چگالی میوه (حقیقی) (ρ_f)، از روش جابه‌جایی مایع استفاده شد. برای این کار به‌جای آب، تولوئن (C_7H_8) به‌کار گرفته شد زیرا این مایع دارای کشش سطحی کم بوده و جذب میوه نیز نمی‌شود (۳). این کار نیز ده بار تکرار انجام شد و میانگین نتایج به‌عنوان چگالی میوه (حقیقی) در نظر گرفته شده با تعیین چگالی توده و چگالی میوه، درصد تخلخل (ε) برای میوه و هسته خرما از رابطه۶ محاسبه شد (۱۳).

$$\varepsilon = \left[1 - \frac{\rho_b}{\rho_f}\right] \times 100 \qquad [۶]$$

ضریب اصطکاک ایستایی

زاویه اصطکاک ایستایی خرما روی پنج سطح اصطکاکی مختلف شامل آهن گالوانیزه، ورق استیل، پلاستیک فشرده، شیشه و چوبی با استفاده از دستگاه دارای سطح شیب‌داری مطابق شکل ۱ اندازه‌گیری شد. بدین ترتیب که توده محصول درون ظرف استوانه‌ای شکلی به قطر ۱۰۰ میلی‌متر و ارتفاع ۶۰ میلی‌متر که فاقد سر و ته بود، قرار داده شده و روی سطح قرار گرفت. سپس استوانه حاوی نمونه را قدری بالا آورده تا لبه‌های آن با سطح شیب‌دار تماس نداشته باشد و تنها میوه‌ها با سطح اصطکاکی مورد نظر در تماس باشند. زاویه شیب سطح توسط مکانیزم پیچی دستگاه به‌طور تدریجی افزایش یافته و به محض شروع لغزش ظرف محتوی نمونهٔ میوه خرما، شیب دستگاه (ϕ) با دقت یک درجه اندازه‌گیری و ثبت شد. ضریب زاویه اصطکاک ایستایی با استفاده از رابطه ۷ محاسبه شد (۱۳). آزمایش‌ها برای هر سطح اصطکاکی با پنج تکرار انجام شد و مقدار متوسط گزارش شد.

$$\mu_s = \tan\varphi \qquad [۷]$$

که در آن: μ_s و ϕ به‌ترتیب ضریب زاویه اصطکاک ایستایی و

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1393.4.13.18.6]

شکل ۱. دستگاه تعیین ضریب اصطکاک ایستایی

شکل ۲. نمونه میوهٔ خرما تحت بارگذاری فشاری (سمت راست)، دستگاه آزمون مواد Hounsfield H5k-s (سمت چپ)

زاویه سطح شیب‌دار در لحظه شروع به لغزش قوطی محتوی خرما هستند.

آزمایش مکانیکی بارگذاری فشاری

هر نمونهٔ خرما پس از اندازه‌گیری مشخصات فیزیکی شامل ویژگی‌های ابعادی (طول، پهنا و ضخامت) و جرم میوه توسط ماشین آزمون مواد مدل Hounsfield H5k-s در راستای امتداد ضخامت میوه تحت بارگذاری فشاری قرار گرفت (شکل ۲). شکل میلهٔ (Probe) مورد استفاده در بارگذاری فشاری، صفحهٔ تخت بود که با نصب فشارسنج (لودسل(Load cell)) با ظرفیت ۵۰ N روی ماشین آزمون انجام شد. به منظور بررسی اثر سرعت بارگذاری نمونه‌های کامل میوهٔ خرما تحت آزمون فشاری در سه سطح سرعت ۵، ۱۵ و ۲۵ mm/min و تا تغییر شکل به میزان ۱۰ mm با پنج تکرار انجام شد. برای هر آزمایش منحنی نیرو- تغییر شکل توسط نرم‌افزار رایانه‌ای اختصاصی دستگاه ثبت شد. داده‌های خام نیرو در مقابل تغییر شکل برای هر آزمایش توسط نرم‌افزار دستگاه برنامهٔ به Excel منتقل شد. در این تحقیق با توجه به این‌که در طی فرآیند بارگذاری میوه کامل سطح تماس میوه و میلهٔ بارگذاری ثابت نبوده، اندازه‌گیری و محاسبهٔ مساحت سطح تحت بارگذاری و در نتیجه مقدار تنش قابل محاسبه نبود.

خواص مکانیکی مورد بررسی عبارت بودند از داده‌های مقادیر نیرو، انرژی و چغرمگی تا تغییر شکل‌های به میزان ۱۵%، ۳۰% و ۴۵% ضخامت اندازه‌گیری شدهٔ اولیه میوه که از منحنی‌های نیرو- تغییر شکل استخراج و محاسبه شدند. انرژی تا تغییر شکل‌های مورد نظر از طریق محاسبهٔ مساحت سطح زیر منحنی نیرو- تغییر شکل به کمک داده‌های خام و به روش محاسبه سطح ذوزنقه انجام شد. با برآورد حجم هر نمونه از

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1393.4.13.18.6]

جدول ۱. خواص فیزیکی و اصطکاکی میوه و هسته خرمای رقم کبکاب

مشخصه فیزیکی	میوه خرما	هسته خرما
وزن (گرم)	۸/۲۵ ± ۱/۰۴۷	۰/ ۷۹ ± ۰/۱۵۶
طول (میلی‌متر)	۳۶/۸۹ ± ۲/۷۷۱	۲۲/۹۸ ± ۱/۵۰۲
پهنا (میلی‌متر)	۱۸/۶۸ ± ۲/۷۶	۶/۲۵ ± ۰/۵۴
ضخامت (میلی‌متر)	۲۳/۵۶ ± ۱/۸۱۵	۷/۴۸ ± ۰/۵۶۷
وزن هزار میوه (گرم)	۸۲۶۴/۰۷	۷۸۹/۲
حجم (میلی‌مترمکعب)	۸۵۰۷/۸۰ ± ۱۵۷۷/۳	۵۶۸/۲۳۶ ± ۱۰۶/۲۹۴
نسبت گوشت به هسته	۹/۹ ± ۲/۶۴۸	
قطر متوسط هندسی (میلی‌متر)	۲۵/۲۴۸ ± ۱/۴۵۶	۱۰/۲۳۳ ± ۰/۶۹۲
چگالی حقیقی (گرم بر سانتی‌مترمکعب)	۰/۹۶ ± ۰/۱۴۵	۰/۹۹۹ ± ۰/۲۵۳
چگالی توده (گرم بر سانتی‌مترمکعب)	۰/۵۱ ± ۰/۰۰۷۹	۰/۶۵۶ ± ۰/۰۴۲
تخلخل (درصد)	۴۶/۰۱۸ ± ۷/۸۴۵	۳۰/۴۵۸ ± ۱۶/۱۹۴
نسبت طول بر پهنا (L/W)	۲ ± ۰/۲۵	۳/۶۹ ± ۰/۲۹۴
مساحت سطح رویه (میلی‌مترمربع)	۲۰۰۸/۲۶ ± ۲۶۷	۳۳۰/۳۰۴ ± ۴۲/۷۸۶
مساحت سطح مقطع (میلی‌مترمربع)	۵۰۲/۰۶۷ ± ۵۹/۳۵	۸۲/۵۷۶ ± ۱۰/۷

رابطهٔ ۱ از طریق اندازه‌گیری سه قطر اصلی میوه (L= قطر اصلی یا طول، W= قطر میانی یا پهنا و T= قطر کوچک یا ضخامت (ارتفاع) میوه) و تعیین انرژی، مقدار چغرمگی تا تغییر شکل‌های مورد نظر نیز توسط رابطهٔ ۸ محاسبه شد.

$$\text{چغرمگی} = \frac{\text{انرژی تا تغییر شکل مورد نظر}}{\text{حجم نمونه}} \quad [۸]$$

طرح آماری و بررسی نتایج

داده‌های پارامترهای مکانیکی به‌دست آمده به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی یک فاکتوره به منظور بررسی عامل سرعت بارگذاری با پنج تکرار توسط نرم‌افزار MSTAT-C مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. مقایسهٔ میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵% انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج خواص فیزیکی

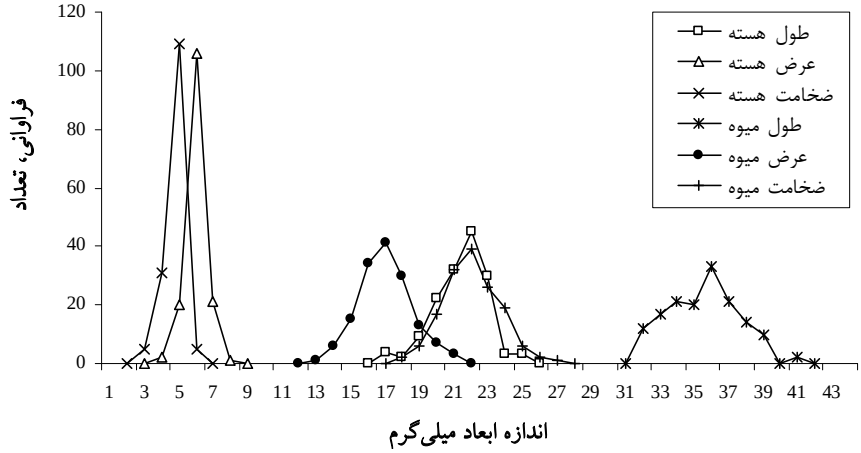
جدول ۱ نتایج مقادیر متوسط و ویژگی‌های ابعادی، وزن، حجم و قطر متوسط هندسی میوه خرما و هسته آن را نشان می‌دهد. وزن هزار میوه خرمای رقم کبکاب ۸۲۶۴/۰۷ گرم و وزن یک میوه ۸/۲۵ گرم برآورد گردید. کرامت جهرمی و همکاران (۸) وزن هزار میوه و یک میوه خرمای رقم گیوونی را به‌ترتیب ۵۳۴۵/۳ گرم ۴/۸۶ گرم گزارش کردند. با توجه به این مقادیر مشخص می‌شود که وزن هزار میوهٔ خرمای رقم کبکاب بیشتر از نمونه خرمای رقم گیوونی است.

یکی از اهداف در پرورش خرما، تولید میوه‌های بزرگتر و دارای خصوصیات جذاب میوه‌ای از جمله نسبت گوشت میوه به هسته، مزه، رنگ و غیره است. نسبت وزن گوشت میوه به هسته متوسط، با استفاده از رابطه ۳، ۹/۹ تعیین شد. این مقدار برای خرمای رقم گیوونی ۷/۴ و برای رقم حاج قنبری ۸/۲ است (۸). ارقام نشان می‌دهد که نسبت گوشت به هسته رقم کبکاب نسبت به رقم گیوونی و حاج قنبری بیشتر است.

مقایسهٔ مقادیر متوسط ابعاد اصلی خرما رقم کبکاب مورد مطالعه (جدول ۱) با ابعاد خرمای رقم گیوونی نشان می‌دهد که

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1393.4.13.18.6]



شکل ۳. منحنی توزیع فراوانی اندازهٔ ابعاد میوه و هستهٔ خرمای رقم کبکاب (سه قطر اصلی)

از نظر طول رقم کبکاب با طولی به اندازه ۳۶/۸۹ میلی‌متر نسبت به رقم گیوونی با طول ۳۰/۶۸ میلی‌متر بزرگ‌تر است. عرض (پهنا) رقم کبکاب با عرض ۱۸/۶۸ نسبت به رقم گیوونی با عرض ۱۸/۶۳ برابری می‌کند. چگالی حقیقی (میوه) و چگالی توده خرمای رقم کبکاب به‌ترتیب ۰/۹۶، ۰/۵۱ گرم بر سانتی‌مترمکعب تعیین شده ولی برای رقم گیوونی چگالی حقیقی و توده به‌ترتیب ۱/۱۱ و ۰/۵۴ گرم بر سانتی‌مترمکعب گزارش شده است. چگالی متوسط تودهٔ کم‌تر رقم کبکاب نسبت به رقم گیوونی می‌تواند به‌دلیل بالاتر بودن نسبت گوشت میوه به هسته باشد که برای رقم کبکاب هسته با بافت چوبی سخت و فشرده درصد کوچک‌تری از کل میوه را تشکیل داده است.

نتایج مقادیر قطر متوسط هندسی (میلی‌متر)، حجم (میلی‌مترمکعب)، نسبت طول به پهنا (L/W)، مساحت سطح رویه (میلی‌مترمربع)، مساحت سطح مقطع (میلی‌مترمربع) که توسط روابط مربوطه محاسبه شده‌اند در جدول ۱ ارائه شده‌اند.

با تعیین و مقایسهٔ خواص فیزیکی رقم کبکاب با ارقام مختلف خرما مطالعه شده و نیز با توجه به بررسی‌های محلی، معلوم شد که تنوع ویژگی‌های فیزیکی ارقام مختلف نسبتاً زیاد است. از این رو نیاز خواهد بود که برای انتخاب انواع خرمای مناطق مختلف به منظور بسته‌بندی خرما، درجه‌بندی و سورتینگ، طراحی دستگاه‌های هسته‌گیری، طراحی تجهیزات انتقال، فرآوری خرما به خواص فیزیکی ارقام مختلف توجه شود.

توزیع فرواوانی ویژگی‌های ابعادی

شکل ۳ منحنی توزیع فراوانی اندازهٔ ابعاد اصلی میوه و هستهٔ خرمای کبکاب را نشان می‌دهد. از منحنی‌ها پیداست که توزیع فراوانی ابعاد میوه و هستهٔ خرمای روندی متمایل به توزیع نرمال دارد. در نمونهٔ آزمایشی، طول ۸۴ درصد میوه‌ها دارای طولی در محدودهٔ ۴۰-۳۵ میلی‌متر است و ۸ درصد میوه‌ها کوچک‌تر و ۸ درصد نیز بزرگ‌تر از این اندازه را دارند. ۷۰ درصد میوه‌ها دارای پهنایی در محدودهٔ ۲۰-۱۸ میلی‌متر و حدود ۶۵ درصد میوه‌ها دارای ضخامت در محدودهٔ ۲۵-۲۳ میلی‌متر قرار دارند. در مورد هستهٔ خرمای کبکاب، طول ۸۶ درصد نمونه‌ها در محدودهٔ ۲۵-۲۲ میلی‌متر، عرض ۹۸ درصد نمونه در محدودهٔ ۹-۸ میلی‌متر و ضخامت بیش از ۹۳ درصد نمونه در محدودهٔ ۷-۶ میلی‌متر قرار داشت.

ضریب اصطکاک ایستایی

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان می‌دهد که نوع سطح اصطکاکی اثر معنی‌داری (در سطح احتمال ۱%) بر ضریب اصطکاک ایستایی میوهٔ خرما روی سطوح مختلف اصطکاکی داشت. مقایسهٔ مقادیر میانگین ضریب اصطکاک ایستایی (شکل ۴) نشان می‌دهد که سطح چوبی بزرگ‌ترین مقدار و برای سطوح ورق استیل و شیشه‌ای کمترین مقادیر را داشت. مقادیر میانگین ضریب اصطکاک ایستایی خرما روی سطوح

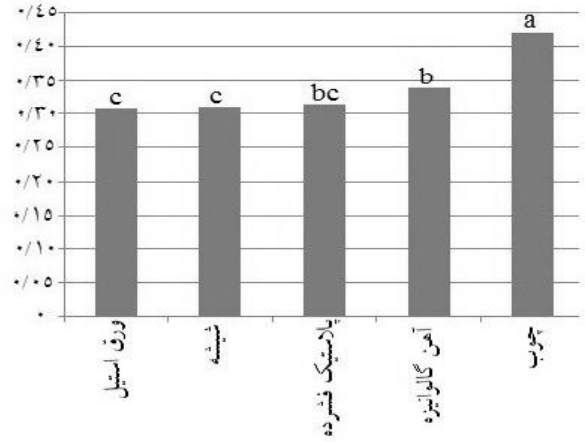
[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1393.4.13.18.6]

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس ضریب اصطکاک ایستایی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)
تکرار	۴	۰/۰۰۰
نوع سطح اصطکاکی	۴	۰/۰۱۲**
خطا	۸	۰/۰۰۰
ضریب تغییرات (درصد)	%۵/۷	

**: نشانه معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۱%



شکل ۴. نمودار مقایسهٔ میانگین ضریب اصطکاک ایستایی میوهٔ خرما روی سطوح مختلف (حروف متفاوت روی ستون‌ها نشان‌دهندهٔ وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵% است).

ورق آهن گالوانیزه، ورق استیل، پلاستیک فشرده، شیشه و چوب به‌ترتیب ۰/۳۴، ۰/۳۰، ۰/۳۱، ۰/۳۱ و ۰/۴۲ به‌دست آمد.

نتایج خواص مکانیکی

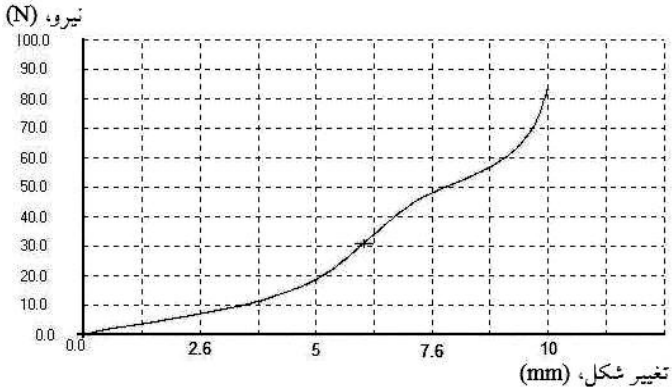
شکل ۵ نمونه‌ای از منحنی نیرو- تغییر شکل برای بارگذاری فشاری خرمای رقم کبکاب را نشان می‌دهد. بررسی این نمودار با در نظر قراردادن مشاهدات بصری حین آزمایش‌های بارگذاری فشاری نشان می‌دهد که در دامنهٔ تغییر شکل ۱۰ میلی‌متری مورد بررسی نشانه‌های له‌شدگی میوه به‌وجود می‌آمد و به‌ندرت پارگی پوست میوه ایجاد می‌شد.

نتایج تجزیه واریانس داده‌های نیرو، انرژی و چغرمگی میوه خرما رقم کبکاب تا تغییر شکل به میزان ۱۵%، ۳۰% و ۴۵% ضخامت میوه نشان داد که اثر سرعت بارگذاری تقریباً بر تمام آنها معنی‌دار بوده است (جدول ۳).

مقایسه میانگین مقادیر نیرو و انرژی (جدول ۴) نشان می‌دهد که با افزایش سرعت بارگذاری مقدار نیروی مورد نیاز برای تغییر شکل‌های یکسان افزایش می‌یابد. تأثیرپذیری خواص مکانیکی نمونه‌ها از سرعت بارگذاری برای تغییر شکل‌های به اندازهٔ ۱۵ و ۳۰ درصد، به نوعی غالب بودن اثر ویسکوز را در پاسخ به نیروی وارده نشان می‌دهد. در خرمای کبکاب اثر عامل الاستیک ناچیز است و عامل ویسکوز سهم بیشتری را در پاسخ نهایی دارد. از این‌رو، می‌توان در یک سیستم فشرده‌سازی میوهٔ خرما برای کاهش توان مصرفی از سرعت بارگذاری کم‌تر استفاده نمود. این نکته در طراحی بهینهٔ سیستم‌های فرآوری که میوه فشرده می‌شود مانند دستگاه تهیه قالب‌های فشرده خرما اهمیت می‌یابد. مقادیر نیروی مورد نیاز

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1393.4.13.18.6]



شکل ۵. نمونه‌ای از منحنی‌های نیرو تغییرشکل میوه خرما رقم کبکاب در آزمون فشاری در راستای ضخامت میوه

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس مقادیر نیرو(F)، انرژی(E) و چغرمگی(T) میوه خرمای رقم کبکاب

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)								
		F%۱۵	F%۳۰	F%۴۵	E%۱۵	E%۳۰	E%۴۵	T%۱۵	T%۳۰	T%۴۵
تکرار	۴	۰/۱۱۶	۰/۱۱۱	۰/۲۰۱	۰/۱۴۹	۰/۱۰۸	۰/۱۲۵	۰/۱۴۴	۰/۱۰۴	۰/۱۲۱
سرعت بارگذاری	۲	۰/۴۹۱*	۰/۷۴۱*	۰/۵۸۴^{ns}	۰/۳۶۴**	۰/۵۰۲*	۰/۵۸۸*	۰/۴۲۸**	۰/۵۵۶*	۰/۶۴۴*
خطا	۸	۰/۰۴۲	۰/۰۹۴	۰/۲۰۵	۰/۳۳	۰/۰۶۱	۰/۱	۰/۰۳۲	۰/۰۵۶	۰/۰۹۷
ضریب تغییرات	-	%۱۱/۹۸	%۱۰/۵۳	%۱۲/۲۰	%۸/۳۳	%۶/۵۱	%۶/۴۲	%۲/۶	%۴/۵۵	%۷/۶۲

ns، * و **: به‌ترتیب نشانهٔ معنی‌دار نبودن، وجود اثر معنی‌دار در سطوح ۵ و ۱ درصد است.

اندیس‌های ۱۵، ۳۰ و ۴۵ در هر دو جدول نشان‌دهندهٔ میزان درصد تغییرشکل قطر اولیه نمونه‌ها در راستای بارگذاری می‌باشد.

جدول ۴. مقایسه میانگین مقادیر نیرو، انرژی و چغرمگی میوه خرمای رقم کبکاب

تیمار		F مقدار نیروی (نیوتن)			E انرژی لازم برای تغییرشکل (میلی ژول)			T انرژی لازم بر واحد حجم (میلی ژول بر میلی‌مترمکعب)		
		F%۱۵	F%۳۰	F%۴۵	E%۱۵	E%۳۰	E%۴۵	T%۱۵	T%۳۰	T%۴۵
سرعت (mm/min)	۵	۴/۲۳ ^{b}	۱۳/۲۳ ^{b}	۳۲/۳۵ ^{b}	۶/۹۸ ^{b}	۳۳/۶۹ ^{b}	۱۰۱/۵۳ ^{b}	۰/۰۰۰۸ ^{a}	۰/۰۰۴۱ ^{a}	۰/۰۱۲۶ ^{a}
	۱۵	۵/۶۳ ^{b}	۱۸/۷۳ ^{ab}	۴۷/۲۴ ^{b}	۸/۸۷ ^{b}	۴۷/۰۵ ^{ab}	۱۴۵/۶۳ ^{ab}	۰/۰۰۱ ^{b}	۰/۰۰۵۴ ^{a}	۰/۰۱۶۷ ^{ab}
	۲۵	۷/۸۷ ^{a}	۲۸/۲۵ ^{a}	۵۸/۴۹ ^{a}	۱۱/۸۲ ^{a}	۶۳/۰۵ ^{a}	۱۹۸/۹۰ ^{a}	۰/۰۰۱۵^{b}	۰/۰۰۸ ^{b}	۰/۰۲۵ ^{b}

حروف لاتین متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین صفات است.

برای تغییر شکل به‌دست آمده به‌طور منطقی با نتایج تحقیق منصوری و مینایی (۱۲) مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

اطلاعات خواص فیزیکی اندازه‌گیری و محاسبه شده رقم خرمای کبکاب در توسعه و بهبود تجهیزات سیستم‌های مختلف فرآوری، نگهداری و بسته‌بندی این محصول کاربرد خواهد داشت.

در بررسی خواص مکانیکی میوه خرمای رقم کبکاب مشخص شد که سرعت بارگذاری بر نیرو و انرژی تغییر شکل

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1393.4.13.18.6]

آن معنی‌دار بود. با افزایش سرعت بارگذاری مقادیر این خواص افزایش می‌یافت که ناشی از غالب بودن اثر ویسکوز میوهٔ خرما بود. از این‌رو، توصیه می‌شود که در یک سیستم فشرده‌سازی میوهٔ خرما برای کاهش توان مصرفی از سرعت بارگذاری کم‌تر استفاده شود.

منابع مورد استفاده

1. Amin, M. N., M. Hossain and K. C. Roy. 2004. Effects of moisture content on some physical properties of lentil seeds. *Journal of Food Engineering* 65: 83–87.
2. Aydin, C. 2003. Physical properties of almond nut and kernel. *Journal of Food Engineering* 60: 315–320.
3. Demir, F. and I. Hakki Kalyoncu. 2003. Some nutritional, pomological and physical properties of cornelian cherry (*Cornus mas* L.). *Journal of Food Engineering* 60: 335–341.
4. Imanmehr, A., B. Ghobadian, S. Minaei and J. Faradmal. 2006. Determination of some physical properties of canola seed (Licord cultivar). *Journal of Agricultural Engineering Research* 7(2): 119-128. (In Farsi).
5. Jafarian, M., H. Aghel and M. H. Agh-kani. 2011. Some physical properties of Zahedi Date. The first Conference on Optimization of Processing, Distribution and Consumption in the Food Industrial, 10-11 May 2011, Gorgan, Iran. (In Farsi).
6. Jannatizadeh, A., M. Naderi Boldaji, R. Fatahi, M. Ghasemi Varnamkhasti and A. Tabatabaeefar. 2008. Some post harvest physical properties of Iranian apricot (*Prunus armeniaca* L.) fruit. *International Agrophysics* 22: 125-131
7. Kashaninejad, M., A. Mortazavi, A. Safekordi and L. G. Tabil. 2006. Some physical properties of pistachio (*Pistacia vera* L.) nut and its kernel. *Journal of Food Engineering* 72: 30–38.
8. Keramat Jahroomi, M., SH. Rahimi, A. Jafari and R. Mirasheh. 2007. Measuring of some physical properties of Giuonei Date. 3th Student Conference on Agric. Machin. Eng. and Mechanization, 18-19 April 2007, College of Agricultural, Shiraz University, Shiraz, Iran. (In Farsi).
9. Kermani, A. |M., H. R. Gazor and A. Sadeghi. 2010. Physical properties of Cornelian cherry (*Cornus mas* L.) fruits**.** *Journal of Agricultural Engineering Research* 11(2): 85-94. (In Farsi).
10. Kermani, A. M., T. Tavakoli-hashjin, S. Minaee and M. H. Khoshtaghaza. 2007. Mechanical properties of rice kernel under compressive loading as affected by deformation rates. *Iraninan Journal of Food Science and Technology* 3(4): 1-9. (In Farsi).
11. Konak, M., K. Carman and C. Aydin. 2002. Physical properties of chickpea seeds. *Biosystems Engineering* 82(1): 73–78.
12. Mansori, Y. and S. Minaee. 2004. Application of quasi-static loading method for determining of mechanical properties of two varieties date of Khozestan Province. The 3th National Cong. on Agric. Machin. Eng. and Mechanization, 29-31 August, Shahid Bahonar Univ., Kerman, Iran. (In Farsi).
13. Mohsenin, N. N. 1986. Physical Properties of Plant and Animal Materials. 2nd ed., Gordon and Breach Science Pub., New York.
14. Naderiboldaji, M., A. Khadivi-khub, A. Tabatabaeefar, M. Ghasemi Varnamkhasti and Z. Zamani. 2008. Some physical properties of sweet cherry (*Prunus avium* L.) Fruit. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences* 3(4): 513-520.
15. Nimkar, P. M. and P. K. Chattopadhyay. 2001. Some physical properties of green gram. *Journal of Agricultural Engineering Research* 80(2): 183-189.
16. Sitkei, G. 1986. Mechanics of Agricultural Materials. Elsevier Science Pub., Amsterdam.
17. Stroshine, R. and D. Hamann. 1994. Physical Properties of Agricultural Materials and Food Products. Course Manual, Purdue Univ. Press, West Lafayette, Indiana.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1393.4.13.18.6]