



Determination of Physical and Mechanical Properties of Lunar Cabbage

Mani Ghanbari^{1*}, Masoud Dehghani Soufi²

¹Faculty Member, Department of Agricultural Engineering, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran.

²Assistant Professor, Department of Agrotechnology, College of Abouraihan, University of Tehran, Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

Received: 11.29.2020

Revised: 01.08.2021

Accepted: 02.12.2021

Keyword:

Physical properties

Gravity properties

Mechanical properties

Lunar cabbage

*Corresponding Author:

Mani Ghanbari

Email: manighanbari@tvu.ac.ir

ABSTRACT

In this study, some physical, gravitational and mechanical properties of a type of lunar cabbage called Ghonabid were measured and evaluated. The results of the physical properties showed that the averages of large diameter, middle diameter, small diameter, arithmetic mean diameter, mean geometric diameter, surface area and spherical coefficient of lunar cabbage were 87 mm, 82.57 mm, 72.71 mm, 80.76 mm, 80.45 mm, 8.34 cm², 0.922, respectively. The results of gravity properties showed that the averages of mass density, real density and porosity were 280.33 kg/m³, 928.76 kg/m³ and 69%, respectively. The mechanical properties evaluation tests showed that the averages of fracture stress, fracture strain, elasticity coefficient, degree of toughness, rolling friction coefficient and sliding friction coefficient of this plant were 1.12 MPa, 0.25, 4.24 MPa, 0.658 mj/mm², 0.05 and 0.64 in the order mentioned. Findings of this research can be widely applied in the design of machinery used in harvest, transfer, separation, grading, washing, quality inspection, maintenance, processing and food packing operations.





شاپای الکترونیکی: ۲۵۳۸-۴۴۳۰

شاپای چاپی: ۲۳۸۲-۹۷۹۶

مقاله پژوهشی

تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی کلم قمری

مانی قنبری*^۱ (id)، مسعود دهقانی صوفی^۲ (id)

۱- عضو هیئت علمی، گروه مهندسی کشاورزی، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران.

۲- استادیار، گروه فناوری کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

چکیده

اطلاعات مقاله

در این پژوهش، برخی از خواص فیزیکی، ثقلی و مکانیکی نوعی از کلم قمری به نام قنبد، اندازه‌گیری و بررسی شد. نتایج خواص فیزیکی نشان داد که میانگین‌های قطر بزرگ، قطر میانی، قطر کوچک، میانگین حسابی قطر، میانگین قطر هندسی، سطح و ضریب کرویت در کلم قمری (قنبد) به ترتیب ۸۷ mm، ۸۲/۵۷ mm، ۷۲/۷۱ mm، ۸۰/۷۶ mm، ۸۰/۴۵ mm، ۸/۳۴ cm²، ۰/۹۲۲ هستند. نتایج خواص ثقلی نشان داد که میانگین‌های چگالی توده، چگالی واقعی و تخلخل، به ترتیب $\frac{kg}{m^3}$ ۲۸۰/۳۳، ۹۲۸/۷۶ و ۶۹٪ به دست آمدند. آزمایش‌های خواص مکانیکی نشان داد که میانگین‌های تنش گسیختگی، کرنش گسیختگی، ضریب الاستیسیته، میزان چقرمگی، ضریب اصطکاک غلتشی و ضریب اصطکاک لغزشی این گیاه به ترتیب برابر ۰/۱۱۲ MPa، ۰/۲۵، ۴/۲۴ MPa، ۰/۶۵۸ MJ/mm²، ۰/۰۵ و ۰/۶۴ هستند. نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند در طراحی ماشین‌آلات مورد استفاده در عملیات برداشت، انتقال، جداسازی، درجه‌بندی، شستشو، کیفیت‌سنجی، نگهداری، فراوری و بسته‌بندی مواد غذایی کاربرد فراوانی داشته باشد.

دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۹/۰۹

بازنگری مقاله: ۱۳۹۹/۱۰/۱۹

پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۱/۲۴

کلید واژگان:

خواص فیزیکی

خواص ثقلی

خواص مکانیکی

کلم قمری

*نویسنده مسئول: مانی قنبری

پست الکترونیکی:

manighanbari@tvu.ac.ir



مقدمه

اهمیت در اختیار داشتن اطلاعات و داده‌های دقیق علمی در زمینه خصوصیات فیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی با کاربرد صنعتی، امری کاملاً بدیهی است. نیاز روزافزون بخش صنعت و کشاورزی در راستای طراحی و ساخت ماشین‌آلات موردنیاز در این زمینه از یک سو و کمبود داده‌های خواص فیزیکی و مکانیکی موردنیاز محصولات در طراحی فرایندها در صنایع تبدیلی از سوی دیگر، تأکیدی بر ضرورت پژوهش در زمینه مذکور دارد.

نوعی از کلم‌قمری معروف به قنبید^۱، گیاهی از خانواده کلم‌ها و یک‌ساله است. بخش مصرفی این گیاه، قسمتی از ساقه آن می‌باشد که به صورت کروی شکل و گوشتی در روی خاک قرار می‌گیرد. البته اصلاً شبیه کلم‌پرگ یا گل کلم نیست؛ از خانواده کلم‌هاست و بیشتر شبیه سیب‌زمینی و چغندر قند می‌باشد. قنبید یکی از گیاهان بومی ایران است که به علت شرایط اقلیمی ویژه، در قم بیشتر از نقاط دیگر کشت می‌شود و مردم قم آن را در غذای‌های خود بیشتر استفاده می‌کنند. از این محصول به صورت خام نیز در سالادهای مختلف استفاده می‌کنند. مصرف این محصول در شهرهای دیگر نیز رونق پیدا کرده و حتی موجب صادرات این محصول و افزایش کاشت آن شده است. انواع دیگری از کلم‌قمری‌ها که در کشور متداول هستند در استان‌های شمال‌غربی کشور نیز رشد می‌کنند. سطح زیرکشت این محصول حدود ۱۲۰۰۰ هکتار در کشور می‌باشد [۱]. این گیاه در میان محصولات کشاورزی، میوه‌ها و سبزی‌ها به‌عنوان یکی از ارکان اصلی تأمین احتیاجات غذایی بشر، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد و بشر از همان ابتدای پیدایش، برای تأمین قسمتی از غذای خود از آنها استفاده کرده است. از نظر غذایی، بسیار زودهضم و دارای مواد لازم برای بدن به‌ویژه مواد معدنی و ویتامین‌ها هستند [۲].

خصوصیات فیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی، مهم‌ترین پارامترها در طراحی و ساخت ماشین‌ها و ادوات کشاورزی، سیستم‌های درجه‌بندی، انتقال، فراوری و بسته‌بندی می‌باشند که محققان مختلف برای بسیاری از محصولات کشاورزی تعیین کرده‌اند [۳؛ ۴]. از جمله این تحقیقات، به خواص فیزیکی مکانیکی بادام [۵]، خواص محصول آلو [۶] و خواص شیمیایی، فیزیکی و مکانیکی برخی از واریته‌های زردآلوهای ترکیه [۷] می‌توان اشاره کرد. در مطالعه دیگری، برخی از خواص فیزیکی مکانیکی کدو مسمایی برای فرایند سرزنی تعیین گردید [۸]. در تحقیقی با هدف کاهش تلفات محصول و افزایش بهره‌وری عملیات مختلف برای فرایند فرآوری گیاه کنگر، خواص فیزیکی، مکانیکی و هیدرودینامیکی این گیاه بررسی شد [۹].

بررسی و تعیین اندازه، شکل و دیگر خواص فیزیکی و مکانیکی کلم‌قمری (قنبید) برای طراحی و ساخت ماشین‌آلات کشاورزی مختلف نظیر ماشین‌های برداشت، بسته‌بندی، تجهیزات انتقال، خطوط فراوری، خشک‌کن‌ها و در راستای کاهش ضایعات و نیز افزایش کیفیت محصول تولیدی، ضروری است. با توجه به محدود بودن اطلاعات در مورد این گیاه محلی و میل به افزایش تولید آن در کشور و خواص بسیار مفید و گستره استفاده از آن در غذاها می‌توان با انجام پژوهش‌هایی در مورد خواص مختلف این گیاه در راستای گسترش تولید و توسعه بازار آن، اقدامات بسیار مفیدی را انجام داد. از جمله این خصوصیات شامل اطلاعات خواص هندسی، ثقلی، فیزیکی و مکانیکی می‌باشد که در روند مکانیزه کردن تولید، برداشت، بسته‌بندی و فرایندهای دیگر پس از برداشت این محصول می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد. در مورد قنبید، پژوهش‌های چندانی انجام نگرفته است. در تحقیقی که در مورد انواع مختلف کلم‌قمری‌ها انجام شده بود به این نتیجه دست یافتند که بهترین انواع کلم‌قمری بین ۵ تا ۷/۵ سانتی‌متر قطر میانی دارند [۱۰]. در مطالعه‌ای، فرایند پخت کلم‌قمری با حرارت‌دهی مقاومتی در مقایسه با مایکروویو و روش متداول بررسی شد [۱۱]. در تحقیقی، ارزیابی فیزیکی، مکانیکی و هیدرودینامیکی خواص طالبی در کاهش تلفات پس از برداشت آن مورد استفاده قرار گرفت [۱۲]. در یک

^۱ نام علمی گیاه: *Brassica oleracea var. gongylodes*

مطالعه، خواص مکانیکی میوه موز تحت بارگذاری شبه‌استاتیک در فشار، خمش و آزمون‌های برش، بررسی و نتیجه‌گیری شد که برای به‌حداقل‌رساندن آسیب مکانیکی، نیروهای فشار ناشی از انتقال محصول باید به حداقل نرخ ممکن کاهش یابد [۱۳]. در تحقیق دیگری، تعیین خصوصیات فیزیکی و مکانیکی یک سیب‌زمینی به‌منظور استفاده در مکانیزه کردن عملیات برداشت و پس از برداشت محصول استفاده شد [۱۴]. ارزیابی خواص مهندسی گوجه‌فرنگی به‌منظور کنترل ضایعات این محصول طی عملیات برداشت و پس از برداشت انجام شد [۱۵].

در این پژوهش، برخی خواص فیزیکی گیاه قنبید (کلم‌قمری سفید) نظیر خصوصیات هندسی (طول، عرض، ضخامت، قطر میانگین هندسی و حسابی، ضریب کرویت و سطح) خصوصیات ثقلی (چگالی توده و واقعی) همچنین خصوصیات مکانیکی گیاه قنبید (ضریب الاستیسیته، تنش و کرنش گسیختگی، چقرمگی و ضریب اصطکاک غلتشی و لغزشی) مطالعه شد. با توجه به مطالعات محدود و نبود اطلاعات کافی در مورد خواص فیزیکی و مکانیکی این نوع از کلم‌قمری که یکی از گیاهان بومی مناطق مرکزی ایران است و نیاز به تعیین ویژگی‌های هندسی، ثقلی و مکانیکی این گیاه به‌منظور طراحی و ساخت دستگاه‌ها و ماشین‌های موردنیاز برای مکانیزه کردن عملیات برداشت و پس از برداشت از جمله انتقال، درجه‌بندی، جداسازی، نگهداری، فراوری، بسته‌بندی و دیگر عملیات این پارامترها اندازه‌گیری شد.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه، تعدادی کلم‌قمری سفید (قنبید) از شهر قم پس از برداشت به‌صورت دستی تمیز و در اندازه‌های مختلف به‌طور تصادفی انتخاب شدند. سپس در یخچالی با دمای حدود ۴ درجه سانتی‌گراد تا دو ساعت قبل از انجام آزمایش‌ها نگهداری شدند. تمام آزمایش‌ها روی ۵۰ عدد نمونه انجام شد. برای تعیین میزان رطوبت محصول، از روش استاندارد هوای گرم آون (ممرت آلمان) استفاده گردید. طبق این استاندارد، کلم‌قمری‌های وزن شده، در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت نیم ساعت قرار گرفتند. سپس به مدت ۱۰ دقیقه در دسیکاتور سرد شدند. سپس با ترازو دیجیتال وزن شدند. رطوبت، طبق معادله ۱ محاسبه گردید. در این معادله U_w رطوبت کلم‌قمری، G_{dm} وزن نمونه خشک شده و G_w وزن رطوبت از دست رفته می‌باشد [۱۶؛ ۱۷].

$$U_w = \frac{G_w}{G_w + G_{dm}} \quad (1)$$

شکل ۱ گیاه کلم‌قمری همراه با برگ آن را نشان می‌دهد. البته آزمایش‌ها فقط روی قسمت خوراکی گیاه انجام گرفته است.



شکل ۱. کلم‌قمری (قنبید)

خواص هندسی

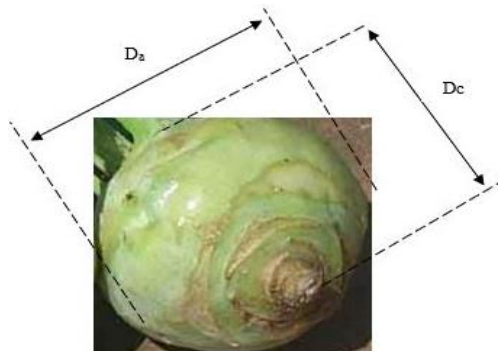
خواص هندسی محصولات کشاورزی، نقش مهمی در طراحی مکانیکی و مدیریت الکترونیکی ماشین‌ها و دستگاه‌های برداشت، انتقال، جداسازی و درجه‌بندی دارد. ضریب کرویت، یکی از روش‌هایی است که برای نشان دادن اختلاف در شکل محصولات کشاورزی استفاده می‌شود. در واقع، این ضریب، یکی از شاخص‌های تعیین شکل جسم است و نشان‌دهنده میزان شباهت یک جسم به کره می‌باشد. در رابطه ضریب کرویت، هر چه عدد نهایی به ۱ نزدیک شود شکل محصول به کره نزدیک‌تر است. از این پارامتر برای طراحی و ساخت ماشین‌آلات و دستگاه‌های برداشت، انتقال، جداسازی، حمل‌ونقل و درجه‌بندی محصول اولیه استفاده می‌شود. برای اندازه‌گیری ابعاد با استفاده از یک کولیس دیجیتال مدل DC515 ساخت کشور تایوان با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر، ابعاد اصلی آن شامل، قطر بزرگ (D_a)، قطر کوچک (D_c) و قطر میانی (D_b) اندازه‌گیری شد (شکل ۲). قطر میانگین هندسی (D_g)، قطر میانگین حسابی (D_h)، ضریب کرویت (φ) [۱۸] و سطح جانبی نمونه‌ها با استفاده از روابط ۲، ۳، ۴ و ۵ محاسبه گردید [۱۹].

$$D_g = (D_a D_b D_c)^{\frac{1}{3}} \quad (۲)$$

$$D_h = \frac{D_a + D_b + D_c}{3} \quad (۳)$$

$$\varphi = \frac{(D_a D_b D_c)^{\frac{1}{3}}}{D_a} \times 100 \quad (۴)$$

$$S = \pi \frac{D_g^2}{4} \quad (۵)$$



شکل ۲. ابعاد هندسی کلم‌قمری

خواص ثقلی

برای اندازه‌گیری چگالی توده تعدادی نمونه در داخل جعبه‌هایی با حجم مشخص قرار داده شد. این کار در سه تکرار انجام گردید. به این ترتیب که نمونه‌ها درون جعبه طوری قرار می‌گرفتند که بیشترین حجم داخل جعبه را پر کنند.

سپس با یک ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۱ گرم وزن قنبیده‌های درون ظرف در هر مرتبه اندازه‌گیری شد. در نهایت، چگالی توده با استفاده از رابطه ۶ محاسبه شد [۲۰].

$$\rho_{\text{bulk}} = \frac{M}{V} \quad (6)$$

برای اندازه‌گیری چگالی واقعی، از روش جابه‌جایی مایع استفاده گردید. در هر مرتبه، ابتدا کلم‌قمری وزن شد و سپس توسط نخ آویزان گردید و داخل بورت مخصوص که درون آن آب با دمای ۲۰ درجه وجود داشت، قرار داده شد. میزان جابه‌جایی خوانده شده مایع از روی ستون مدرج بورت، معادل حجم واقعی کلم‌قمری‌ها است (V_{true}). چگالی واقعی از رابطه ۷ به‌دست آمد:

$$\rho_{\text{true}} = \frac{M}{V_{\text{true}}} \quad (7)$$

برای اندازه‌گیری میزان تخلخل بین محصول از رابطه ۸ استفاده شده است. در این فرمول ϵ ، میزان تخلخل و ρ_{bulk} چگالی توده و ρ_{true} چگالی واقعی می‌باشد.

$$\epsilon = 1 - \frac{\rho_{\text{bulk}}}{\rho_{\text{true}}} \quad (8)$$

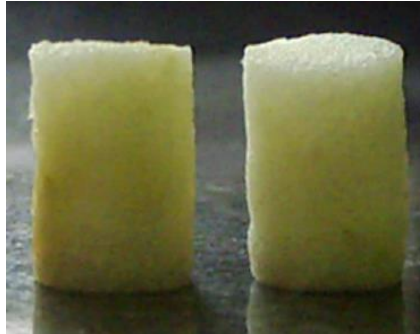
خواص مکانیکی

برای اندازه‌گیری خواص مکانیکی از دستگاه Hounsfield که در شکل ۳ قابل مشاهده است تحت شرایط استاندارد در دمای اتاق استفاده شد. با توجه به این که نتایج برخی از آزمایش‌های مکانیکی به‌منظور طراحی و ساخت دستگاه‌ها و ماشین‌آلات است؛ پس از عملیات برداشت و انبارداری محصول و برای انجام عملیات‌هایی مانند انتقال، درجه‌بندی، جداسازی، فراوری، بسته‌بندی نهایی، حمل‌ونقل و دیگر عملیات پس از برداشت محصولات فراوری شده و صنعت بسته‌بندی قابل استفاده باشد. براساس روش باجما و همکاران^۱ [۲۱] که به‌طور معمول برای بررسی میزان تنش محصولات کشاورزی در پژوهش‌ها استفاده می‌شود مطابق شکل ۴ از بافت کلم‌قمری‌ها سه نمونه به شکل استوانه با قطر ۱۰ میلی‌متر و ارتفاع ۱۵ میلی‌متر تهیه شد. نمونه‌ها در دستگاه آزمون بین صفحات تخت مخصوص قرار گرفتند و بارگذاری بر روی آنها انجام شد و هم‌زمان نمودار نیرو و تغییر شکل در نرم‌افزار رایانه‌ای مربوطه رسم گردید. براساس استاندارد ASTM D 790-03 [۲۲] و پژوهش‌های معتبر پیشین در مورد خواص مکانیکی محصولات کشاورزی، آزمایش تنش در دمای اتاق با سرعت بارگذاری ۲۰ میلی‌متر بر دقیقه انجام شد و بارگذاری تا گسیختن نمونه‌ها ادامه داشت. آزمایش‌های مکانیکی کلم‌قمری‌ها در روز دوم، انجام آزمایش‌ها و در شرایطی که ۲۴ ساعت محصول در دمای محیطی آزمایشگاه قرار داشتند صورت گرفت.

¹ Bajema et al.



شکل ۳. دستگاه آزمایش خواص مکانیکی



شکل ۴. نمونه‌های استوانه‌ای تهیه شده از بافت کلم‌قمری‌ها برای انجام آزمایش‌های مکانیکی (تنش)

نقطه تسلیم در محصولات کشاورزی، نقطه‌ای از نمودار نیرو- تغییر شکل است که در آن با افزایش تغییر شکل، مقدار نیرو کاهش می‌یابد یا تغییر نمی‌کند. با توجه به نتایج آزمایش‌ها و روابط ۹، ۱۰ و ۱۱ تنش و کرنش گسیختگی، ضریب الاستیسیته و میزان چقرمگی محصول در نقطه تسلیم محاسبه و ثبت گردید [۲۰]:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (9)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (10)$$

$$E = \frac{PL}{A\delta} \quad (11)$$

برای محاسبه میزان چقرمگی نمونه‌ها میزان انرژی گسیختگی نمونه‌ها از مساحت زیر نمودارهای مربوطه محاسبه گردید و بر حجم نمونه‌ها تقسیم شد.

برای اندازه‌گیری ضریب اصطکاک لغزشی و غلتشی محصول، از دستگاه مخصوص تحت شرایط استاندارد استفاده شد. با استفاده از زاویه استقرار استاتیکی یک صفحه مایل شونده که می‌توان صفحه‌های متفاوتی روی آن سوار کرد، زاویه استقرار نمونه‌ها محاسبه شد. ضریب اصطکاک استاتیکی لغزشی و غلتشی با زاویه استقرار استاتیکی لغزشی و غلتشی روی سه سطح متفاوت چوب، شیشه و گالوانیزه در سه تکرار تعیین گردید. دلیل انتخاب سه سطح چوب، شیشه و گالوانیزه، ضریب اصطکاک مختلف این مواد و استفاده از آنها در مراجع قبلی برای محاسبه ضریب اصطکاک لغزشی و غلتشی در محدوده مناسبی برای محصول برای استفاده در فرایند طراحی و ساخت ماشین‌آلات می‌باشد.

برای اندازه‌گیری زاویه اصطکاک لغزشی، قطر کوچک (D_c) محصول عمود بر سطح دستگاه قرار گرفت و زاویه دستگاه به تدریج افزایش داده شد تا لحظه‌ای که محصول شروع به لغزیدن کرد. این زاویه به‌عنوان زاویه اصطکاک لغزشی ثبت گردید. زاویه اصطکاک غلتشی نیز بر روی همان دستگاه اندازه‌گیری شد؛ با این تفاوت که در این آزمایش، قطر بزرگ محصول عمود بر سطح دستگاه قرار گرفت و آزمایش نیز مانند قبل انجام شد. از رابطه ۱۲ ضریب اصطکاک لغزشی و غلتشی محصول محاسبه گردید [۲۰]:

$$\mu_s = \tan \alpha \quad (12)$$

نتایج و بحث

خواص هندسی

میانگین و انحراف معیار داده‌های حاصل از بررسی خواص هندسی کلم‌قمری‌ها در جدول ۱ آورده شده است. میانگین قطر هندسی کلم‌قمری‌ها ۸۰/۴۵ میلی‌متر و میانگین حسابی قطر آنها ۸۰/۷۶ میلی‌متر به‌دست آمد. در این پژوهش، میانگین سطح کلم‌قمری‌ها ۸/۳۴ سانتی‌مترمربع و میانگین ضریب کرویت آنها ۰/۹۲۲ محاسبه گردید. نتایج نشان می‌دهد که اختلاف بین قطرهای کلم‌قمری کم می‌باشد و این گیاه دارای ضریب کرویت بالایی است. این نتایج نشان می‌دهد که مقادیر به‌دست‌آمده در طراحی یک ماشین مخصوص در عملیات برداشت مکانیزه و فرایندهای پس از برداشت به‌ویژه انتقال، فراوری و بسته‌بندی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

جدول ۱. خواص فیزیکی کلم هندسی

پارامتر	واحد	مقدار میانگین	مقدار انحراف معیار
قطر بزرگ	Mm	۸۷	۹/۸۹
قطر میانی	Mm	۸۲/۵۷	۹/۸
قطر کوچک	Mm	۷۲/۷۱	۱۳/۴۳
میانگین حسابی	Mm	۸۰/۷۶	۱۰/۸۳
میانگین هندسی	Mm	۸۰/۴۵	۱۱/۰۵
سطح	mm ²	۰/۰۰۰۸۳۴	۰/۰۰۰۲۲۵
ضریب کرویت	Mm	۰/۹۲۲	۰/۰۳۷

خواص ثقلی

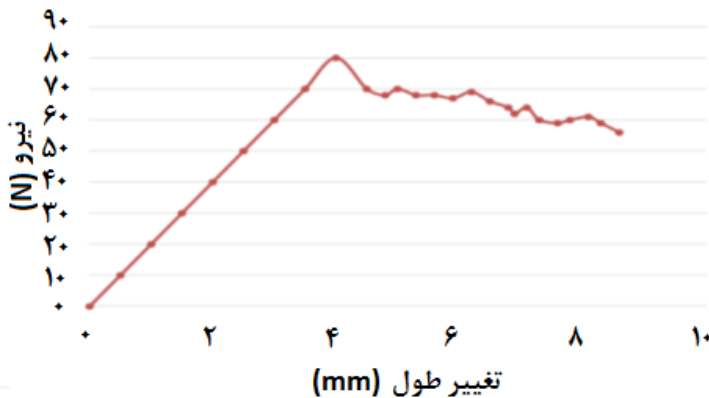
میانگین و انحراف معیار داده‌های اندازه‌گیری شده خواص ثقلی در جدول ۲ قابل مشاهده می‌باشد. میانگین چگالی توده کلم‌قمری‌ها ۲۸۰.۳۳ کیلوگرم بر مترمکعب و میانگین چگالی واقعی آنها ۹۲۸.۷۶ کیلوگرم بر مترمکعب و تخلخل آنها ۰/۶۹ ثبت شده است.

جدول ۲. خواص ثقلی کلم قمری

پارامتر	مقدار میانگین	مقدار انحراف معیار
چگالی توده (kg/m^3)	۲۸۰/۳۳	۳۹/۷
چگالی واقعی (kg/m^3)	۹۲۸/۷۶	۵۱/۵۲
درصد تخلخل	۰/۶۹	۰/۰۳۰

خواص مکانیکی

نمودار نیرو - تغییر طول مربوط به اندازه‌گیری خواص مکانیکی قنبید در شکل ۵ ارائه شده است. این شکل نشان می‌دهد که بیشترین نیرو اعمال شده در کلم قمری حدود ۸۰ نیوتن می‌باشد و در طراحی و اعمال نیرو در ماشین‌های مرتبط در عملیات برداشت و فناوری پس از برداشت مانند انتقال، فراوری، جداسازی، بسته‌بندی و سایر عملیات باید به این نکته توجه کرد. مقدار میانگین و انحراف معیار نتایج حاصل از آزمایش‌های خواص مکانیکی کلم‌قمری‌ها در جدول ۳ ارائه شده است.



شکل ۵. نمودار نیرو- تغییر شکل قنبید با سرعت بارگذاری ۲۰ میلی‌متر بر دقیقه

جدول ۳. خواص مکانیکی کلم قمری

پارامتر	مقدار میانگین	مقدار انحراف معیار
تنش گسیختگی (Mpa)	۱/۱۲	۰/۳۰۲
کرنش گسیختگی (Mpa)	۰/۲۵	۰/۱۴۱

پارامتر	مقدار میانگین	مقدار انحراف معیار
ضریب الاستیسیته	۴/۲۴	۰/۳۳۷
انرژی گسیختگی (mj)	۵۱/۶۶	۲/۴۹۳
چقرمگی (mj/mm^2)	۰/۶۵۸	۰/۰۳
ضریب اصطکاک لغزشی	۰/۶۴	۰/۰۲۱
ضریب اصطکاک غلتشی	۰/۰۵	۰/۰۱۶

در این پژوهش، میانگین تنش گسیختگی کلم قمری‌ها ۱/۱۲ مگاپاسکال و میانگین کرنش گسیختگی آنها ۰/۲۵ محاسبه شدند. میانگین ضریب الاستیسیته محصول ۴/۲۴ مگاپاسکال و میانگین میزان چقرمگی محصول ۰/۶۵۸ میلی‌ژول بر میلی‌مترمربع محاسبه و ثبت گردید. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که میانگین ضریب اصطکاک لغزشی کلم قمری‌ها در سطح چوبی، شیشه‌ای و گالوانیزه‌ای به ترتیب ۰/۶۲، ۰/۶۵ و ۰/۶۷ و میانگین ضریب اصطکاک غلتشی آنها بر روی سطوح چوب، شیشه و گالوانیزه به ترتیب ۰/۰۳، ۰/۰۵ و ۰/۰۷ می‌باشند.

با توجه به نتایج خواص مکانیکی، کلم قمری در برابر تنش فشاری از خود مقاومت خوبی در مقایسه با برخی از محصولات کشاورزی نشان می‌دهد. این نتایج می‌تواند در طراحی و ساخت ماشین‌های بسته‌بندی، شستشو، جداسازی و جلوگیری از لهیدگی در زمان انبارداری استفاده کرد.

با توجه به اندازه‌گیری‌های انجام شده در این مطالعه، کوچک‌ترین و بزرگ‌ترین قطر اندازه‌گیری شده در این نمونه از کلم قمری‌ها به ترتیب ۵۴/۱۵ و ۱۰۰ میلی‌متر به دست آمدند. کم‌ترین و بیشترین سطح گیاه ۵/۳۱ و ۱۰/۸۰ سانتی‌مترمربع اندازه‌گیری شد. پایین‌ترین ضریب کرویت این محصول ۸۷ درصد و بالاترین ضریب کرویت آن ۹۶ درصد محاسبه گردید. کمترین چگالی توده کلم قمری‌ها ۲۴۳/۶۷ و ماکزیمم آن ۳۳۵/۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب است. کم‌ترین و بیشترین چگالی واقعی این محصول به ترتیب ۸۵۷/۳۰ و ۹۷۵ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. کم‌ترین و بیشترین میزان تخلخل نمونه‌ها به ترتیب ۶۵ و ۷۲ درصد محاسبه شده است. با توجه به شرایط آزمایش‌های مکانیکی انجام شده، حداقل و حداکثر تنش گسیختگی در این محصول ۰/۹۹ و ۱/۲۲ مگاپاسکال ثبت گردید. با توجه به شرایط آزمایش‌های مکانیکی انجام شده حداقل کرنش گسیختگی در این نمونه‌ها ۰/۱۱ و حداکثر این پارامتر ۰/۴۵ محاسبه گردید. کمترین ضریب الاستیسیته محاسبه شده برای کلم قمری‌ها ۳/۸۲ مگاپاسکال و بیشترین این پارامتر ۴/۶۵ مگاپاسکال تعیین گردید. کمترین میزان انرژی گسیختگی و چقرمگی محاسبه شده برای این نمونه از کلم قمری‌ها به ترتیب ۴۹/۰۱ میلی‌ژول و ۰/۶۲۴ میلی‌ژول بر میلی‌مترمکعب تعیین شد و بیشترین میزان انرژی گسیختگی و چقرمگی برای آنها به ترتیب ۵۵ میلی‌ژول و ۰/۷ میلی‌ژول بر میلی‌متر مکعب محاسبه گردید. با توجه به شرایط آزمایش‌های انجام شده حداقل ضریب اصطکاک لغزشی نمونه‌ها بر روی سطح چوب به اندازه ۰/۶۲ و حداکثر ضریب اصطکاک لغزشی آنها بر روی سطح گالوانیزه به اندازه ۰/۶۷، همچنین کمترین ضریب اصطکاک غلتشی این نمونه از کلم قمری‌ها بر روی سطح چوب به اندازه ۰/۰۳ و بیشترین ضریب اصطکاک غلتشی آنها بر روی سطح گالوانیزه به اندازه ۰/۰۷ محاسبه و تعیین گردید.

نتیجه‌گیری

نتایج این مقاله را می‌توان در دو دیدگاه مورد استفاده قرار داد: از نظر متخصصان صنایع غذایی در راستای کنترل و بهینه‌سازی کیفیت محصول و فراوری آن و از دیدگاه مهندسی ماشین‌های کشاورزی نتایج خواص این گیاه در طراحی و ساخت ماشین‌های برداشت و پس از برداشت مربوطه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۱- در این پژوهش برخی از خواص فیزیکی (قطر بزرگ، قطر میانی، قطر کوچک، میانگین حسابی قطر، میانگین قطر هندسی، سطح و ضریب کرویت) گیاه کلم قمری اندازه‌گیری شد که ارزیابی آنها نشان می‌دهد که اختلاف

- بین قطره‌های این محصول کم می‌باشد و این محصول دارای ضریب کرویت بالایی (۰/۹۲۲) است که در طراحی طراحی دستگاه‌ها و سیستم‌های انتقال، جابه‌جایی و درجه‌بندی باید مدنظر قرار گیرد.
- ۲- خواص ثقلی (چگالی توده و چگالی واقعی و تخلخل) این محصول اندازه‌گیری شد و با بررسی آنها میزان تخلخل این محصول ۰/۶۹ به‌دست آمد. از این خواص می‌توان در طراحی ماشین‌های برداشت، جمع‌آوری و انبارداری محصول اولیه استفاده کرد.
- ۳- خواص مکانیکی (ضریب الاستیسیته، تنش و کرنش گسیختگی، چقرمگی و ضریب اصطکاک غلتشی و لغزشی) گیاه کلم‌قمری اندازه‌گیری و ارزیابی شد. میانگین ضریب الاستیسیته محصول $4/24$ Mpa است که از آن می‌توان در طراحی و ساخت دستگاه‌ها و ماشین‌های پس از برداشت مانند انتقال، درجه‌بندی، جداسازی، فراوری، حمل‌ونقل، بسته‌بندی نهایی و دیگر عملیات پس از برداشت محصولات فراوری شده استفاده کرد.
- ۴- به‌طور کلی میانگین ضریب اصطکاک لغزشی نمونه‌ها ۰/۶۴ و میانگین ضریب اصطکاک غلتشی آنها ۰/۰۵ محاسبه و تعیین گردید که نشان‌دهنده مقاومت کم در برابر غلتش به دلیل داشتن شکل کروی می‌باشد. از این خواص می‌توان در طراحی سیستم‌های انتقال‌دهنده و جابه‌جایی محصول اولیه استفاده شود.
- ۵- به‌طور کلی با استفاده از اطلاعات این پژوهش می‌توان به‌منظور طراحی و ساخت ماشین‌های برداشت، حمل‌ونقل، مکانیزم‌های پس از برداشت، دستگاه‌ها و ماشین‌های صنایع غذایی استفاده کرد.

References

- [1] Adiban, M. (2013). *Growing vegetables*. Publication of Seravan.
- [2] Sheibani, H. (1988). *Gardening: Vegetables Part I* (Vol. 2). Sepehr.
- [3] Ahmadi, E., & Barikloo, H. (2016). Mechanical property evaluation of apricot fruits under quasi-static and dynamic loading. *Journal of Agricultural Machinery*, 6(1), 139-152. <https://doi.org/10.22067/jam.v6i1.29489>
- [4] Sitkei, G. (2004). *Mechanics of Agricultural Materials* (T. Tavakoli Hashtjin, Trans.). Seekers Cultural Services Center. <http://fipak.areeo.ac.ir/site/catalogue/18466996>
- [5] Aydin, C., & Özcan, M. (2002). Some physico-mechanic properties of terebinth (*Pistacia terebinthus* L.) fruits. *Journal of Food Engineering*, 53(1), 97-101. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00145-5](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00145-5)
- [6] Çalırsır, S., Haciseferoğulları, H., Özcan, M., & Arslan, D. (2005). Some nutritional and technological properties of wild plum (*Prunus* spp.) fruits in Turkey. *Journal of Food Engineering*, 66(2), 233-237. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.03.013>
- [7] Haciseferoğulları, H., Gezer, İ., Özcan, M. M., & MuratAsma, B. (2007). Post-harvest chemical and physical-mechanical properties of some apricot varieties cultivated in Turkey. *Journal of Food Engineering*, 79(1), 364-373. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.02.003>
- [8] Tahmasebi, M., Khoshtaghaza, M., & Tavakoli, H., T. (2011). Determination of Some Physical and Mechanical Properties of squash for cutting head. *Journal of Food Science and Technology of Iran*, 8(1), 73-79. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?ID=124964>
- [9] Jahanbakhshi, A., Yeganeh, A. R., & S, A. (2017). Determination of physical, mechanical and hydrodynamic properties of *Scolymus*. *Journal of Food Processing and Preservation*, 8(1), 125-141. <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?ID=569847>
- [10] Behdad, I. (2006). *Phytopathology and important plant diseases*. Atre Etrat. <https://www.adinehbook.com/gp/product/9647941269>

- [11] Kamali, E., Farahnaki, A., Majzobi, M., & Niakousari, M. (2013, October 29-31). *Investigation of cooking process of kale with resistance heater and evaluation of product characteristics*. 21st National Congress of Food Science and Technology of Iran, Shiraz University, Shiraz, Fars, Iran. <https://civilica.com/doc/235435>
- [12] Jahanbakhshi, A., Abbaspour-Gilandeh, Y., Ghamari, B., & Heidarbeigi, K. (2019). Assessment of physical, mechanical, and hydrodynamic properties in reducing postharvest losses of cantaloupe (*Cucumis melo* var. *Cantaloupensis*). *Journal of Food Process Engineering*, 42(5), e13091. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13091>
- [13] Jahanbakhshi, A., Yeganeh, R., & Shahgoli, G. (2019). Determination of Mechanical Properties of Banana Fruit under Quasi-Static Loading in Pressure, Bending, and Shearing Tests. *International Journal of Fruit Science*, 20(2), 1-9. <https://doi.org/10.1080/15538362.2019.1633723>
- [14] Ahangarnezhad, N., Najafi, G., & Jahanbakhshi, A. (2019). Determination of the physical and mechanical properties of a potato (the Agria variety) in order to mechanise the harvesting and post-harvesting operations. *Research in Agricultural Engineering*, 65(2), 33-39. <https://doi.org/10.17221/122/2017-RAE>
- [15] Kaveh, M., Jahanbakhshi, A., Abbaspour-Gilandeh, Y., Taghinezhad, E., & Moghimi, M. (2018). The effect of ultrasound pre-treatment on quality, drying, and thermodynamic attributes of almond kernel under convective dryer using ANNs and ANFIS network. *Journal of Food Process Engineering*, 41(7), e12868. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12868>
- [16] Aghbashlo, M., Kianmehr, M., & Hassan-Beygi, R. (2008). Specific Heat and Thermal Conductivity of Berberis Fruit (*Berberis vulgaris*). *American Journal of Agricultural and Biological Science*, 3(1), 330-336. <https://doi.org/10.3844/ajabssp.2008.330.336>
- [17] Yeganeh, R., & Trystram, G. (2013). Intensification of pistachio by deep frying. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 5(2), 131-139. https://doi.org/10.3920/OA_S2012.0144
- [18] Mohsenin, N. N. (1970). *Physical Properties of Plant and Animal Materials: Structure, physical characteristics, and mechanical properties*. Gordon and Breach. <https://books.google.com/books?id=-lAvVRVmExEC>
- [19] Razavi, S. M. A., & Akbari, R. (2006). *Biophysical properties of agricultural products and food*. Mashhad Ferdowsi University. <https://www.adinehbook.com/gp/product/9643861260>
- [20] Strohshine, R., & Hamann, D. (1995). *Physical properties of Agriculture Materials and food Products*. Department of Agriculture Engineering Purdur University.
- [21] Bajema, R., Hyde, G. M., & Peterson, K. (1998). Instrumentation design for dynamic axial compression of cylindrical tissue samples. *Transactions of the ASAE*, 41(3), 747754. <https://doi.org/10.13031/2013.17203>
- [22] ASTM International. (1997). ASTM D790- Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials, Annual book of ASTM Standards. In: ASTM International.