

تعیین بعضی خواص فیزیکی و مکانیکی بادام درختی

جواد خزایی و علی محمد برقی*

منصور راسخ**

چکیده

در این تحقیق ابتدا تأثیر سرعت بارگذاری، اندازه بادام و جهت بارگذاری بر نیرو، انرژی و توان مورد نیاز برای شکستن بادام درختی رقم تکزاس باغات ساوه مطالعه شد. همچنین با قرار دادن نمونه‌هایی از مغز بادام در داخل آب، فرایند جذب رطوبت مغز بادام مطالعه و مدل‌های ریاضی آن تدوین شد. ضمناً مدل‌های ریاضی رابطه بین ابعاد سه گانه بادام و مغز تعیین شد. نتایج نشان داد که محدوده تغییرات نیرو، انرژی و توان مورد نیاز برای شکستن بادام‌ها به ترتیب ۱۳۹-۱۵۲۶ نیوتن، ۷۰-۲۰۹۳ میلی ژول و ۰/۱۵-۵/۱۲۱ وات بود. سرعت بارگذاری تأثیر معنی داری بر نیرو و توان لازم برای شکستن بادام در سطح ۱٪ داشت ولی بر انرژی مصرفی معنی دار نبود. اندازه بادام و جهت بارگذاری تأثیر معنی داری بر نیرو، انرژی و توان لازم برای شکستن بادام نشان دادند. نتایج نشان داد که یک ساعت پس از قرار دادن مغز بادام‌ها در داخل آب، درصد رطوبت از ۶/۴۶ به ۲۰/۲۴٪ (بر مبنای خشک)، افزایش یافت و پس از ۱۸ ساعت این مقدار به ۵۸٪ رسید. داده‌های ضخامت بادام، بیشترین ضریب کشیدگی^۱ و کمترین ضریب چولگی^۲ را داشتند که مقادیر میانگین آنها به ترتیب ۱/۷۱ و ۰/۰۴۵ بود. برای ابعاد مغز بادام نیز، داده‌های عرض بیشترین ضریب کشیدگی با میانگین ۴/۴ و کمترین ضریب چولگی با میانگین ۰/۲۸ را داشتند.

کلمات کلیدی: بادام، نیرو، انرژی، توان، خواص فیزیکی و مکانیکی، شکستن.

*- به ترتیب دانشجوی دوره دکترا و استاد گروه ماشین‌های دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران

** - عضو هیات علمی گروه ماشین‌های کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی

تاریخ دریافت مقاله ۸۰/۵/۹، تاریخ دریافت نسخه نهایی ۸۲/۱/۳۰

1- Kurtosis

2- Skewness

مقدمه و هدف

بادام از محصولات با ارزشی است که تولید سالانه آن در ایران معادل ۸۰/۰۰۰ تن است (۱). عملیات پس از برداشت این محصول عمدتاً شامل سه مرحله شکستن بادام، خلال کردن مغز و بسته بندی است. در ایران این عملیات اغلب در کارگاه‌های کوچک و به صورت دستی انجام می‌گیرد. بنابراین برای طراحی ماشین‌های فرآوری بادام تعیین بعضی خواص فیزیکی و مکانیکی آن ضروری است. در غیر این صورت، عدم تطابق ماشین با محصول سبب افزایش تلفات مغز و کاهش کیفیت محصول نهایی می‌شود. اصول کار بادام شکن‌ها عمدتاً بر اساس فشردن بادام در فاصله بین دو صفحه است. بنابراین برای تعیین توان لازم برای این ماشین و نیز امکان طراحی دقیق اجزای آن، دانستن نیرو، انرژی و توان مورد نیاز برای شکستن بادام ضروری است.

به دلیل یکسان نبودن ابعاد بادام‌ها، دستگاه بادام شکن باید قابلیت تنظیم برای بادام‌ها با اندازه‌های مختلف را داشته باشد. بنابراین برای تعیین حدود تنظیمات دستگاه، دانستن میانگین هر یک از ابعاد سه گانه بادام و سایر پارامترهای تمایل به مرکز آنها مهم است. ضمناً برای طراحی ماشین‌های خلال کن و نیز دستگاه‌های درجه بندی مغز بادام، تعیین میانگین ابعاد سه گانه مغز و سایر پارامترهای تمایل به مرکز آن ضروری است. در این ارتباط تعیین ضریب چولگی^۱ و کشیدگی^۲ داده‌ها برای تخمین چگونگی پراکنش آنها در اطراف میانگین مهم است. هر چه مقدار ضریب کشیدگی بیشتر و ضریب چولگی کوچکتر باشد، پراکندگی داده‌ها در اطراف میانگین کمتر است که این مطلب در طراحی ماشین‌های بادام شکن و خلال کن بادام و انتخاب محدوده مناسب برای کار آنها بسیار مؤثر است. در این تحقیق آنالیز واریانس داده‌ها توسط نرم‌افزار SAS انجام گرفت.

در مراکز تهیه خلال بادام، ابتدا مغزها بطور تجربی بین ۹-۱۳ ساعت در داخل آب قرار می‌گیرند که پس از خیس خوردن ضمن جدا کردن پوست نازک روی آنها خلال می‌شوند. پس از این مرحله خالهای خیس بادام را با پهن کردن در محلی سایه خشک می‌کنند. استفاده از این روش خشک کردن علاوه بر غیر بهداشتی بودن احتیاج به زمان زیادی دارد. برای مکانیزه کردن این عملیات و همچنین انتخاب طرح مناسب برای خشک کن خلال بادام، دانستن درصد رطوبت خلال و نیز مقدار آب قابل جذب آن ضروری است. هیچ منبعی درخصوص تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی بادام درختی یافت نشد و لذا در زیر نتیجه تحقیقاتی که روی بعضی محصولات مشابه انجام گرفته بررسی و ارائه شده است.

اولوسو^۳ و همکاران (۱۹۹۳)، نیرو و انرژی لازم برای شکستن بادام زمینی رقم کاشیو^۴ و همچنین مقدار تغییر شکل آن در حین بارگذاری را مطالعه کردند (۹). آنها در این آزمایش‌های اثرات جهت بارگذاری، در سه سطح (عمود

1- Skewness

2- Kurtosis

3- Oloso

4- Cashew

بر سطح محدب، موازی با امتداد طولی بادام و عمود بر سطح پهلویی بادام) و رطوبت بادام (در محدوده رطوبت های ۷/۳ تا ۱۵/۵٪ بر مبنای تر) را مطالعه کردند. سرعت بارگذاری در کلیه آزمایش‌ها ثابت و مساوی ۵۰ mm/min بود. آنها دریافتند که تأثیر جهت بارگذاری بر نیرو و انرژی مصرفی برای شکستن بادام معنی دار بود. در کلیه آزمایش‌ها، نیروی شکستن بادام در بارگذاری عمود بر سطح محدب نسبت به بارگذاری عمود بر سطح پهلویی بیشتر بود. ضمناً انرژی مصرفی برای شکستن بادام‌ها در بارگذاری در جهت عمود بر سطح محدب بیشترین مقدار و تغییرات آن بین ۲/۷۵-۱/۲۵ ژول و در بارگذاری عمود بر پهلو کمترین و تغییرات آن بین ۱/۲۵-۰/۳۵ ژول محاسبه گردید.

سیلبرستین و رآو^۱ (۱۹۷۷) حداکثر نیرو و انرژی مورد نیاز برای شکستن بادام رقم فلورونر^۲ و مقدار تغییر شکل آن در حین بارگذاری را تعیین کردند. برای انجام آزمایش‌ها از دستگاه آزمون کشش و فشار اینستران استفاده شد (۱۰). در کلیه آزمایش‌ها جهت بارگذاری عمود بر امتداد طولی دانه انتخاب گردید. سرعت بارگذاری در کلیه آزمایش‌ها ثابت و معادل ۵۰/۸ mm/min بود.

تانگ^۳ و همکاران (۱۹۸۴)، معتقدند که کیفیت مغزهای حاصل از عملیات گردوشکنی وابسته به رطوبت گردو و مقدار نیروی اعمال شده داشت (۱۳). آنها در این تحقیق تأثیر رطوبت و اندازه گردو بر مقدار تغییر شکل گردو و مغز آن در حین بارگذاری را مطالعه و در نهایت رطوبت مناسب برای گردوشکنی را تعیین کردند. آنها همچنین رابطه بین قطر گردو و مغز آن را به صورت زیر تدوین کردند.

$$Z_k = -0/3649 + 0/9637Z_s \quad (1)$$

که در آن:

$$Z_k = \text{قطر مغز گردو، cm}$$

$$Z_s = \text{قطر گردو، cm}$$

برقعی و همکاران (۲۰۰۰)، ضمن مطالعه تأثیر اندازه گردو و جهت بارگذاری بر نیروی شکستن گردو و مقدار تغییر شکل آن در حین بارگذاری، حدود تغییرات نیروی شکستن گردو را ۸۰-۱۱۰ نیوتن و مقدار تغییر شکل نسبی^۴ آنها را بین ۰/۰۴۵-۰/۰۱ گزارش کردند (۴). با افزایش اندازه گردو، نیروی شکستن و مقدار تغییر شکل آن افزایش یافت. آنها دریافتند که نیروی شکستن گردو در بارگذاری در جهت طولی کمترین و از پهلو بیشترین مقدار بود.

سینق و کولشرست‌ها^۵ (۱۹۸۷)، ضمن مطالعه خواص جذب رطوبت دانه‌های سویا دریافتند که مدل ریاضی مناسب برای تحلیل تغییرات درصد رطوبت دانه‌های سویا با زمان به صورت زیر است (۱۲):

1- Silberstein & Rao

2- Florunner

3- Tung

۴- مقدار تغییر شکل گردو تقسیم بر اندازه گردو در امتداد بارگذاری

5- Singh and Kulshrestha

$$\frac{M_e - M}{M_e - M_0} = \frac{1}{kt - 1} \quad (2)$$

که در آن، M_e ، M_0 و K به ترتیب درصد رطوبت اولیه، درصد رطوبت تعادلی و ضریب ثابت رطوبت هستند. مدل دیگری که توسط آنها استفاده شد به شرح زیر است:

$$\frac{M - M_0}{M_e - M_0} = \frac{Kt}{Kt + 1} \quad r = 0.99 \quad (3)$$

آنها دریافتند که با جدا کردن پوست روی دانه سویا نرخ جذب رطوبت افزایش می‌یابد ولی مقدار آب جذب شده کم می‌شود. ضمناً تأثیر درجه حرارت بر مقدار آب جذب شده معنی دار گزارش شد. ورساول^۱ و مویر (۱۹۸۸) نیز برای مطالعه فرایند جذب رطوبت دانه و خوشه گندم، نمونه‌هایی را به مدت ۵ ساعت در داخل آب قرار دادند و هر ۲۰ دقیقه یکبار تغییرات وزن آنها را اندازه‌گیری کردند (۱۴). آنها نتیجه گرفتند که خوشه‌های با رطوبت ۹٪ (بر مبنای خشک)، پس از ۵ ساعت به رطوبت تعادلی ۱۲۳/۶٪ (بر مبنای خشک) رسیدند. ضمناً میانگین نرخ جذب رطوبت در لحظات اولیه پس از قرار دادن خوشه‌ها در داخل آب معادل ۸/۷ بود که پس از ۵ ساعت این مقدار به ۰/۱۴۲ کاهش یافت. برای دانه‌های گندم با رطوبت اولیه ۱۸/۲٪ (بر مبنای خشک)، نرخ جذب رطوبت در لحظات اولیه ۵/۶ بود و پس از ۵ ساعت مقدار آن به ۰/۱۶۱ رسید.

تحقیقات زیادی برای تعیین رابطه بین ابعاد سه گانه دانه محصولات مختلف صورت گرفته است. اولاجید و آد-اومووی^۲ (۱۹۹۹) با اندازه‌گیری طول، عرض و ضخامت ۱۰۰ عدد بذر افاقیا، میانگین هندسی، حجم و سطح رویه آنها را تعیین کردند (۸). آویارا^۳ و همکاران (۱۹۹۹) با اندازه‌گیری ابعاد سه گانه ۱۰۰ عدد بذر که به صورت تصادفی از توده بذرها انتخاب شدند، میانگین ابعاد و سطح رویه بذر را محاسبه کردند (۳). چنداسکار و ویسواناتان^۴ (۱۹۹۹) نیز رابطه بین ابعاد دانه قهوه را با اندازه‌گیری ابعاد ۲۵ عدد بذر به دست آوردند (۶).

با توجه به عدم اطلاعات کافی در خصوص خواص فیزیکی بادام درختی ضرورت تعیین این خواص احساس می‌شود. بنابراین در مجموع اهداف این تحقیق عبارتند از تعیین:

- ۱- نیرو، انرژی و توان مورد نیاز برای شکستن بادام.
- ۲- رابطه بین ابعاد سه گانه بادام و مغز آن و تعیین پارامترهای آماری آنها.

1- Versavel & Muir

2- Olajide & Ade-Omowaye

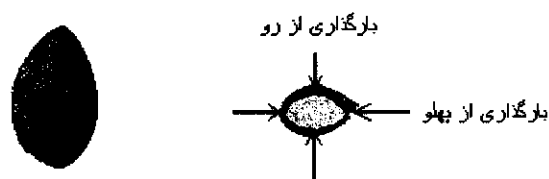
3- Aviara

4- Chandrasekar & Viswanathan

۳- مدل‌های ریاضی تغییرات رطوبت و نرخ تغییرات آب جذب شده توسط مغز بادام‌های غوطه‌ور در آب بر حسب زمان.

مواد و روشها

در این تحقیق آزمایش‌ها روی بادام رقم تک‌زاش منطقه ساوه انجام شدند. اندازه‌گیری نیروی شکستن بادام توسط دستگاه آزمون کشش - فشار اینستران مدل ۱۱۸۶ آزمایشگاه صنایع چوب موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع که دارای نیروسنجی به ظرفیت ۱ KN و با دقت $0/1 N$ است انجام گرفت. نیروی شکست بادام در دو جهت بارگذاری (از رو و از پهلو) تعیین شد (شکل ۱). آزمایش‌ها به صورت فاکتورین در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۱۵ تکرار انجام و اثرات سرعت بارگذاری در چهار سطح (۵، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ میلیمتر بر دقیقه)، جهت بارگذاری در دو سطح (از رو و پهلو) و اندازه دانه در سه سطح (کوچک، متوسط و بزرگ) بر نیروی انرژی و توان لازم برای شکستن بادام مطالعه شد.



شکل ۱- جهت‌های بارگذاری در آزمون تعیین نیروی شکستن بادام

دسته بندی بادام‌ها به سه دسته بزرگ، متوسط و کوچک بر اساس ضخامت آنها صورت گرفت که مقادیر میانگین آنها به ترتیب $16/5$ ، $13/5$ و $11/5$ میلیمتر بود. ضخامت بادام‌ها میانگین دامنه‌ای بودند که در جدول ۱ داده شده است.

جدول ۱- بعضی از مشخصه‌های فیزیکی بادام‌های مورد استفاده در این تحقیق

اندازه بادام	دامنه ضخامت بادام mm	میانگین ضخامت بادام mm
بزرگ	۱۵/۵-۱۷/۵	۱۶/۵
متوسط	۱۲/۵-۱۴/۵	۱۳/۵
کوچک	۱۰/۵-۱۲/۵	۱۱/۵

برای تعیین نیروی شکستن بادام، هر دانه به صورت جداگانه در فاصله بین فک‌های ثابت و متحرک دستگاه آزمون قرار گرفت و با حرکت فک متحرک فشرده می‌شد. همزمان با عملیات بارگذاری، نمودار تغییرات نیرو - تغییر شکل بادام تا لحظه شکست ترسیم می‌شد (ش ۲). از روی این نمودار حداکثر نیروی شکستن بادام و مقدار تغییر شکل آن تا لحظه شکست به دست آمد. همچنین با محاسبه سطح زیر این منحنی، انرژی مصرفی برای شکستن بادام بر حسب ژول محاسبه شد. توان لازم برای شکستن بادام نیز طبق رابطه زیر محاسبه گردید:

$$P = \frac{E \times V}{60000\Delta} \quad (۴)$$

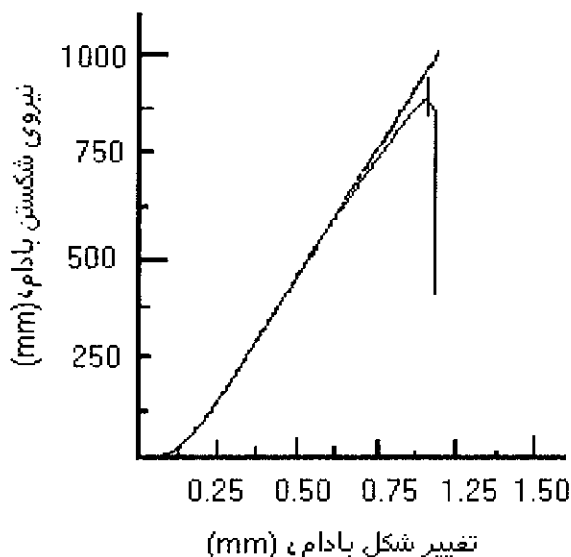
که در آن:

P = توان لازم برای شکستن بادام، وات

E = انرژی مصرفی برای شکستن بادام، میلی ژول

V = سرعت بار گذاری، میلیمتر بر دقیقه

ΔL = حداکثر تغییر شکل دانه تا لحظه شکست، میلیمتر



شکل ۲- نمودار نیرو - تغییر شکل بادام در آزمون تعیین نیروی شکست.

برای تعیین منحنی جذب رطوبت مغز بادام، سه نمونه ۱۰ گرمی مغز بادام تهیه و به مدت ۱۸ ساعت در داخل آب با دمای 24°C قرار داده شدند. در این مدت هر یک ساعت یکبار نمونه‌ها از داخل آب خارج و پس از خشک کردن آب اضافه چسبیده شده به اطراف سطوح آنها، وزن می‌شدند. بنابراین با معلوم بودن درصد رطوبت و وزن خشک نمونه‌های اولیه، درصد رطوبت مغز پس از هر ساعت غوطه‌وری در آب طبق رابطه زیر محاسبه شد:

$$MC_t = \frac{m_t - m_o}{m_t} \times 100 \quad (5)$$

که در آن :

MC_t = درصد رطوبت در زمان t ، بر مبنای خشک

m_o = وزن خشک نمونه ۱۰ گرمی اولیه، گرم

m_t = وزن تر نمونه، پس از t ساعت قرار گرفتن در آب، گرم

بر اساس نتایج حاصله مدل ریاضی رابطه بین تغییرات درصد رطوبت مغز بادام با زمان تدوین شد. برای تعیین وزن خشک نمونه‌های اولیه بادام (m_o)، دو نمونه ۱۰ گرمی از مغز بادام تهیه و در داخل آون در دمای 75°C به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند که وزن خشک آنها پس از این زمان معادل $9/393$ گرم شد. بر این اساس و طبق رابطه ۵، درصد رطوبت نمونه‌های خشک بادام معادل $6/46\%$ (MC_o) (بر مبنای خشک) تعیین شد.

در هر فاصله زمانی یک ساعته، مقدار افزایش وزن نمونه اندازه‌گیری و با تقسیم کردن آن به وزن اولیه نمونه، نرخ تغییرات آب جذب شده توسط مغز بادام‌ها محاسبه گردید. مدل پیشنهادی برای تحلیل این تغییرات به صورت زیر تدوین شد:

$$\frac{dm}{dt} = ae^{-kt} \quad (6)$$

که در آن:

$$\frac{dm}{dt} = \text{نرخ تغییرات مقدار آب جذب شده، \%}$$

$$a, k = \text{ضرایب ثابت معادله}$$

برای تعیین رابطه بین ابعاد بادام و مغز آن، تعداد ۱۲۴ عدد بادام به صورت تصادفی از توده بادام‌ها انتخاب و توسط کولیس دقیقی با دقت $0/05$ میلیمتر، طول، عرض و ضخامت هر بادام اندازه‌گیری و سپس با شکستن آن و خارج کردن مغز، طول، عرض و ضخامت مغز نیز اندازه‌گیری شد. سپس توسط نرم‌افزار SPSS مدل‌های ریاضی رابطه بین ابعاد سه گانه بادام و مغز تدوین شدند. همچنین رابطه بین طول، عرض و ضخامت بادام با ابعاد متناظرش برای مغز تعیین شد.

در ادامه منحنی‌های فراوانی نسبی داده‌های مربوط به ابعاد بادام و مغز ترسیم و ضمناً پارامترهای آماری تمایل بمرکز شامل میانگین، میانه، مد، کمترین و بیشترین مقدار و انحراف معیار داده‌های هر یک از ابعاد محاسبه شد. در ادامه مقدار چولگی و کشیدگی منحنی‌های فراوانی مربوطه نسبت به منحنی توزیع نرمال استاندارد محاسبه گردید. ضریب چولگی از رابطه زیر که به رابطه دوم پیرسون معروف است به دست آمد (۲):

$$b_2 = \frac{3(\mu - m)}{s} \quad (۷)$$

که در آن:

μ = میانگین داده‌ها، میلی‌متر

m = مد داده‌ها، میلی‌متر

s = انحراف معیارها داده‌ها، میلی‌متر

در این رابطه بر حسب اینکه مقدار b_2 مثبت یا منفی باشد منحنی فراوانی نسبت به منحنی نرمال استاندارد به ترتیب چوله به راست یا چوله به چپ خواهد بود. صفر بودن مقدار b_2 به معنای صفر بودن مقدار چولگی داده هاست.

ضریب کشیدگی یا پخی منحنی فراوانی داده‌ها نیز طبق رابطه زیر محاسبه شد (۲):

$$k = \frac{m_4}{s^4} - 3 \quad (۸)$$

که در آن:

s = انحراف معیار داده ها

M_4 = گشتاور چهارم داده‌ها که طبق رابطه زیر محاسبه شد (۲):

$$m_4 = \frac{\sum_{i=1}^n f_i(x_i - \mu)^4}{n} \quad (۹)$$

که در آن:

$x_i - \mu$ = انحراف هر داده از میانگین

n = تعداد داده‌ها

f_i = فراوانی هر داده

بر حسب آنکه مقدار k مثبت یا منفی باشد، منحنی فراوانی نسبت به منحنی توزیع نرمال استاندارد به ترتیب کشیده یا پخ خواهد بود.

نتایج و بحث

تعیین نیرو، انرژی و توان مورد نیاز برای شکستن بادام

در جدول ۲ مقادیر میانگین، انحراف معیار، بیشترین و کمترین مقدار نیرو، انرژی و توان لازم برای شکستن بادام ارائه گردیده است. پیداست که میانگین نیرو، انرژی و توان لازم برای شکستن بادام‌ها به ترتیب ۶۰۰ N، ۴۹۶ mJ و ۰/۸۶۴ W و حدود تغییرات آنها نیز به ترتیب بین ۱۳۹ N - ۱۵۲۶، ۷۰ mJ - ۲۰۹۳ و ۰/۱۵ W - ۵/۱۲ به دست آمد. در جدول ۳ نیز نتایج آنالیز واریانس داده‌های نیرو، انرژی و توان مصرفی برای شکستن بادام ارائه شده است.

پیداست که تأثیر سرعت بارگذاری بر نیروی شکستن بادام در سطح ۱٪ معنی دار بود. از شکل‌های ۳ و ۴ نیز پیداست که با افزایش سرعت بارگذاری، نیروی شکستن بادام بطور معنی‌داری کاهش یافت. نتایج آزمون دانکن (جدول ۴) نشان می‌دهد که بین میانگین نیروی شکست بادام در سرعت ۵ mm/min و سه سطح دیگر تفاوت معنی‌داری در سطح ۱٪ مشاهده شد ولی تفاوت بین سطوح ۱۰۰ و ۲۰۰ میلیمتر بر دقیقه معنی دار نبود. بیشترین نیروی شکست بادام مربوط به سرعت ۵ mm/min که با میانگین ۷۷۸ N به اندازه ۷۴٪ بیشتر از آن برای سرعت ۵۰۰ mm/min بود.

جدول ۲- مقادیر میانگین، انحراف معیار، بیشترین و کمترین نیرو، انرژی و توان لازم برای شکستن بادام

میانگین	بیشترین	کمترین	انحراف معیار
۶۰۰	۱۵۲۶	۱۳۹	۲۵۱
نیروی شکستن بادام، (N)			
۴۹۶	۲۰۹۳	۷۰	۲۸۳
انرژی مصرفی برای شکستن بادام، (mJ)			
۰/۸۶۴	۵/۱۲۱	۰/۱۵	۰/۸۰۹
توان مورد نیاز برای شکستن بادام، (W)			

تأثیر اندازه بادام بر نیروی شکستن نیز در سطح ۱٪ معنی دار بود. طبق نتایج آزمون دانکن (جدول ۵)، بیشترین و کمترین نیروی شکستن بادام‌ها به ترتیب مربوط به بادام‌های بزرگ با میانگین ۶۷۴ N و بادام‌های کوچک با میانگین ۵۳۳ N بود که اختلافی معادل ۲۶٪ را نشان دادند. زیاد بودن مقاومت مکانیکی بادام‌های بزرگ ممکن است به دلیل ضخامت بیشتر پوست سخت آنها باشد. از همین جدول پیداست که اختلاف بین نیروی شکستن بادام‌های کوچک و متوسط معنی‌داری نبود ولی بادام‌های بزرگ با هر دو آنها تفاوت معنی‌داری نشان داد.

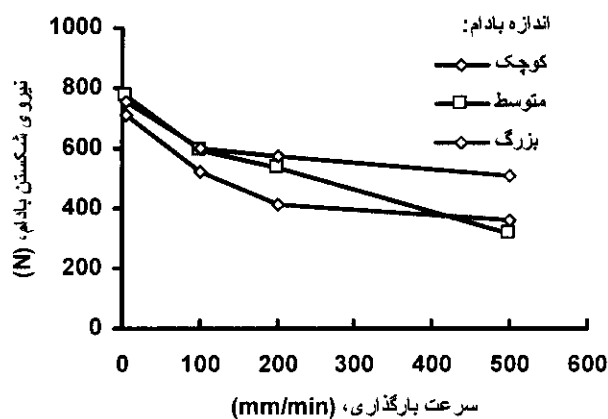
طبق نتایج آنالیز واریانس داده‌ها، تأثیر جهت بارگذاری بر نیروی شکست بادام نیز در سطح ۱٪ معنی دار بود. نیروی شکست بادام در بارگذاری از پهلو با میانگین ۶۴۴ N به اندازه ۲۴٪ بیشتر از آن برای بارگذاری از رو با میانگین ۵۵۵ N بود.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (مجموع مربعات) داده‌ها نیرو، انرژی و توان لازم برای شکستن بادام

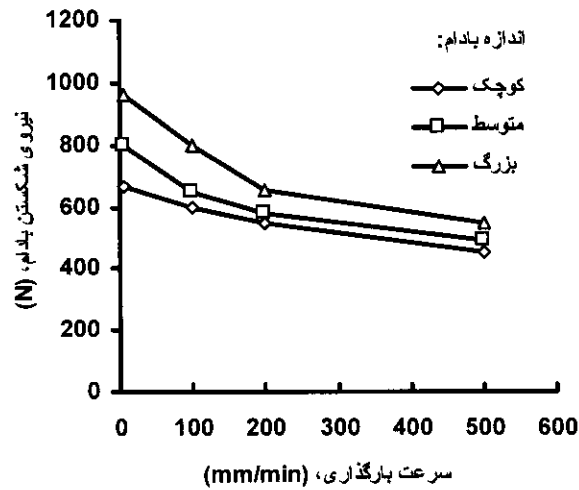
منبع تغییرات	درجه آزادی	نیروی شکستن بادام	انرژی مصرفی برای شکستن بادام	توان لازم برای شکستن بادام
تیمار	۲۳	۷۷۵۷۳۶۰ **	۸۷۷۲۴۳۴ **	۱۳۲ **
سرعت بارگذاری	۳	۵۲۸۷۹۰۵ **	۴۱۱۷۴۱ ^{ns}	۱۰۰ **
اندازه بادام	۲	۱۲۱۶۱۶۳ **	۴۸۶۰۵۱۱ **	۱۴/۴ **
جهت بارگذاری	۱	۷۰۷۵۶۰ **	۱۸۵۵۴۵۵ **	۴/۶۶ **
جهت × اندازه	۲	۷۱۷۹۱ ^{ns}	۱۰۵۱۱۶۳ **	۱/۹ °
جهت × سرعت	۳	۲۶۸۱۵ ^{ns}	۱۳۴۹۶۶ ^{ns}	۳/۵ °
اندازه × سرعت	۶	۹۲۳۲۱ ^{ns}	۳۴۶۹۳۳ ^{ns}	۶/۸ **
جهت × اندازه × سرعت	۶	۳۵۴۸۰۳ ^{ns}	۱۱۱۶۶۱ ^{ns}	۰/۶۸
خطا	۳۳۶	۱۴۹۵۱۴۹۲	۲۰۱۷۸۰۵۰	۱۰۲/۵

^{ns} معنی دار نیست

*, ** به ترتیب معنی داری در سطح ۱٪ و ۵٪



شکل ۳- تأثیر سرعت بارگذاری و اندازه بادام بر نیروی شکستن آن در بارگذاری از رو



شکل ۴- تأثیر سرعت بارگذاری و اندازه بادام بر نیروی شکستن آن در بارگذاری از پهلو

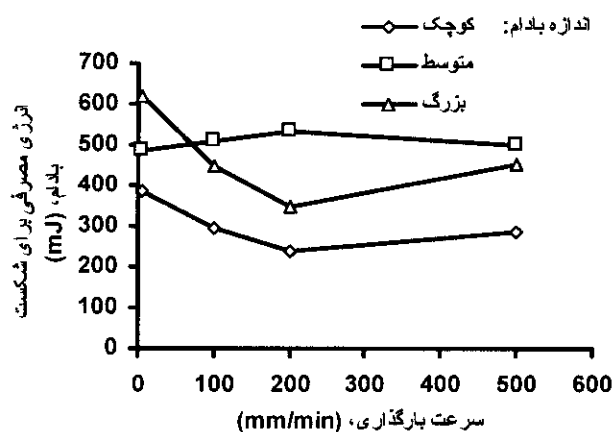
جدول ۴- آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای مقایسه میانگین نیرو و انرژی مصرفی برای شکستن بادام در سرعت‌های مختلف بارگذاری

سرعت بارگذاری (mm/min)	نیروی شکست بادام (N)	انرژی لازم برای شکستن بادام (mJ)	توان لازم برای شکستن بادام (W)
۵	۷۷۸ ^a	۵۴۰ ^a	۰/۰۴۱ ^d
۱۰۰	۶۲۶ ^b	۴۸۲ ^a	۰/۸۰۶ ^c
۲۰۰	۵۴۹ ^b	۴۵۰ ^a	۱/۱۴۸ ^b
۵۰۰	۴۴۶ ^c	۵۱۴ ^a	۱/۴۵۹ ^a

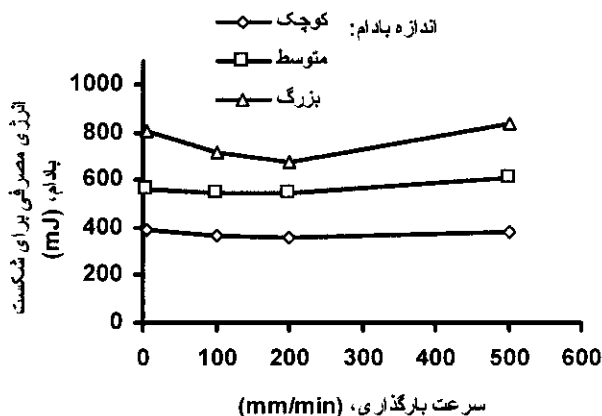
جدول ۵- آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای مقایسه میانگین نیرو و انرژی مصرفی برای شکستن بادام در سطوح مختلف اندازه بادام

اندازه بادام	نیروی شکستن بادام (N)	انرژی لازم برای شکستن بادام (mJ)	توان لازم برای شکستن بادام (W)
بزرگ	۶۷۴ ^a	۶۱۳ ^a	۱/۰۷۳ ^a
متوسط	۵۹۲ ^b	۵۳۸ ^a	۰/۹۲۵ ^a
کوچک	۵۳۳ ^b	۳۳۸ ^b	۰/۵۹۳ ^b

از جدول ۳ پیداست که اثرات متقابل جهت بارگذاری در سرعت بارگذاری و جهت بارگذاری در اندازه بادام در سطح ۵٪ معنی دار بودند ولی اثر متقابل سرعت بارگذاری در اندازه دانه در سطح ۱٪ معنی دار شد. در شکل‌های ۵ و ۶ نمودارهایی برای بررسی تأثیر اندازه بادام و سرعت بارگذاری بر انرژی مصرفی برای شکستن بادام ارائه گردیده است. پیداست که در بیشتر آزمایش‌ها، با افزایش سرعت بارگذاری از ۵ به ۲۰۰ میلی‌متر بر دقیقه، انرژی مصرفی کاهش و با افزایش بیشتر سرعت روند افزایش به خود می‌گرفت. البته مطابق نتایج آنالیز واریانس داده‌ها تأثیر سرعت بارگذاری بر انرژی لازم برای شکستن بادام در سطح ۱٪ معنی دار نبود. از نتایج آزمون دانکن نیز پیداست که بیشترین و کمترین انرژی مصرفی به ترتیب مربوط به سرعت‌های ۵ و ۲۰۰ میلی‌متر بر دقیقه بود که مقادیر میانگین آنها اختلاف معادل ۲۰٪ را نشان دادند.



شکل ۵- تأثیر سرعت بارگذاری و اندازه بادام بر انرژی لازم برای شکستن آن در بارگذاری از رو



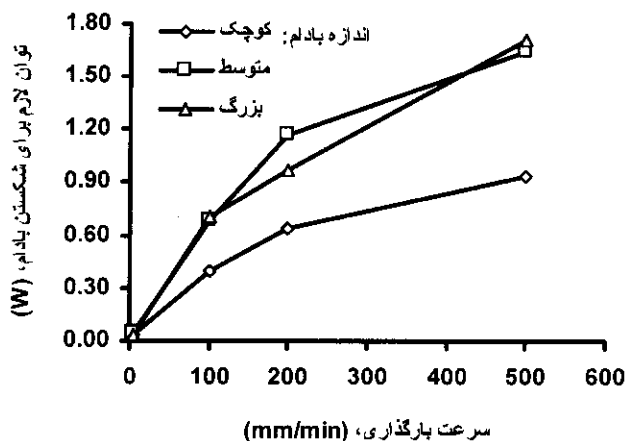
شکل ۶- تأثیر اندازه دانه و جهت بارگذاری بر انرژی مصرفی برای شکستن بادام در بارگذاری از پهلو.

تأثیر اندازه بادام و جهت بارگذاری بر انرژی مصرفی در سطح ۱٪ معنی دار بود. طبق نتایج آزمون دانکن، اختلاف بین انرژی مصرفی برای شکستن بادام‌های بزرگ و متوسط معنی دار نبود ولی بادام‌های کوچک با هر دو آنها تفاوت معنی داری نشان داد. انرژی مصرفی برای شکستن بادام‌های بزرگ ۸۱٪ بیشتر از مقدار آن برای بادام‌های کوچک بود. انرژی مصرفی برای شکستن بادام تحت تأثیر دو عامل مقدار نیرو و تغییر شکل بادام در حین بارگذاری است. چون نیروی شکستن و مقدار تغییر شکل بادام‌های کوچک در حین بارگذاری نسبت به بادام‌های بزرگ بطور معنی داری کمتر بود، بنابراین اختلاف بین انرژی مصرفی برای شکستن آنها منطقی به نظر می‌رسد.

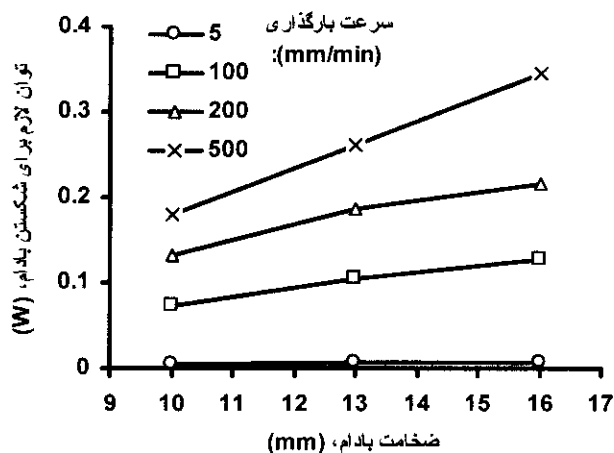
ضمناً نتایج آزمون مقایسه میانگین‌ها نشان داد که انرژی مصرفی برداشت بادام در بارگذاری از رو با میانگین ۴۲۴ mJ به اندازه ۲۵٪ کمتر از آن در بارگذاری از پهلو با میانگین ۵۶۸ mJ بود. این موضوع در طراحی اجزای ماشین بادام شکن و انتخاب طرح مناسب آن مؤثر خواهد بود.

طبق نتایج آنالیز واریانس داده‌ها، هر سه فاکتور سرعت بارگذاری، اندازه بادام و جهت بارگذاری تأثیر معنی داری بر توان لازم برای شکستن بادام داشتند. از شکل‌های ۷ و ۸ پیداست که تأثیر سرعت بارگذاری بر توان مصرفی افزایش یافته بود. آزمون مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴) نشان داد که برای این صفت اختلاف بین هر چهار سطح سرعت در سطح ۱٪ معنی دار بود. بیشترین و کمترین توان لازم برای شکستن بادام به ترتیب مربوط به سرعت‌های ۵۰۰ و ۵ میلی‌متر بر دقیقه بود. توان لازم برای شکستن بادام در سرعت ۵۰۰ mm/min، ۳۵/۶ برابر مقدار آن در سرعت ۵ mm/min بود. توان لازم برای شکستن بادام رابطه مستقیم با دو عامل انرژی مصرفی برای شکستن بادام و سرعت بارگذاری و رابطه معکوس با مقدار تغییر شکل بادام تا لحظه شکست دارد. بنابراین به دلیل بیشتر بودن نرخ تغییرات سرعت نسبت به تغییرات دو عامل انرژی و تغییر شکل بادام سبب شد که با افزایش سرعت بارگذاری، توان لازم برای شکستن بادام افزایش یابد.

تأثیر اندازه بادام بر توان لازم برای شکست آن افزایش یافته بود (شکل‌های ۷ و ۸) که مطابق نتایج آنالیز واریانس داده‌ها، تغییراتش در سطح ۱٪ معنی دار بوده است. توان لازم برای شکستن بادام‌های بزرگ با میانگین $1/0.73$ W معادل $1/81$ برابر مقدار آن برای بادام‌های کوچک بود. در این آزمایش‌ها اختلاف بین توان لازم برای شکستن بادام‌های بزرگ و متوسط معنی دار نشد.



شکل ۷- تأثیر سرعت بارگذاری و اندازه بادام بر توان لازم برای شکستن آن در بارگذاری از رو

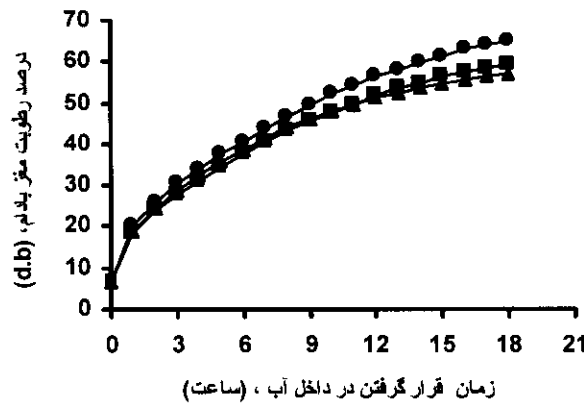


شکل ۸- تأثیر اندازه بادام و سرعت بارگذاری بر توان لازم برای شکستن بادام در بارگذاری از پهلو

تعیین مدل ریاضی جذب رطوبت مغز بادام

در شکل ۹ نمودار تغییرات درصد رطوبت مغز بادام با زمان دیده می‌شود. پیداست که در یک ساعت اول پس از قرار گرفتن نمونه‌ها در داخل آب به دلیل قابلیت بالای جذب رطوبت آنها، درصد رطوبت از ۶/۴۶٪ به ۱۸/۵٪ افزایش یافت. در صورتی که با گذشت زمان، روند افزایش درصد رطوبت مغز بادام‌ها کندتر شد. میانگین درصد رطوبت مغز بادام‌ها در محدوده ۹-۱۳ ساعت پس از قرار گرفتن

در داخل آب بین ۴۵/۸-۵۲/۷٪ (بر مبنای خشک) بود که این مقدار پس از ۱۸ ساعت به ۵۸٪ رسید. کاهش در جذب رطوبت از ساعت دوم به بعد به صورت واضحتری از نمودار شکل ۱۰ قابل درک است. پیداست که در یک ساعت اول پس از قرار گرفتن نمونه‌ها در داخل آب، مقدار افزایش وزن آنها نسبت به وزن اولیه معادل ۱۱/۱۸٪ بود. در صورتی که پس از دو ساعت این مقدار به ۵/۲٪ پس از ۱۳ ساعت به ۱/۴٪ کاهش یافت. با گذشت زمان روند نزولی نرخ جذب رطوبت ادامه یافت و متناسب با آن درصد رطوبت نمونه‌ها به سمت ثابتی میل کرد. مشابه همین نتایج توسط ورساول و مویر گزارش شده است (۱۴). آنها دریافتند که در لحظات اولیه پس از قراردادن خوشه‌های گندم در داخل آب درصد رطوبت از ۹٪ به حدود ۴۰/۷٪ (بر مبنای خشک) افزایش یافت و با گذشت زمان به مقدار ثابتی نزدیک شد.



شکل ۹- تغییرات درصد رطوبت مغز بادام‌های غوطه ور در آب با زمان

بر اساس نتایج حاصله، معادله رگرسیونی رابطه بین تغییرات درصد رطوبت مغز بادام با زمان به صورت زیر تدوین گردید:

$$MC_t = 14.942Lnt + 13.561 \quad R^2 = 0.99 \quad (10)$$

MC_t = درصد رطوبت مغز بادام در زمان t ، بر مبنای خشک

t = زمان قرار دادن نمونه در آب، ساعت

با توجه به شکل ۱۰ مدل ریاضی مناسب برای پیشگویی نرخ تغییرات افزایش وزن نمونه‌های مغز بادام با زمان به صورت زیر تدوین شد:

$$\frac{dm}{dt} = 11.231t^{-0.8049} \quad R^2 = 0.94 \quad (11)$$

که در آن:

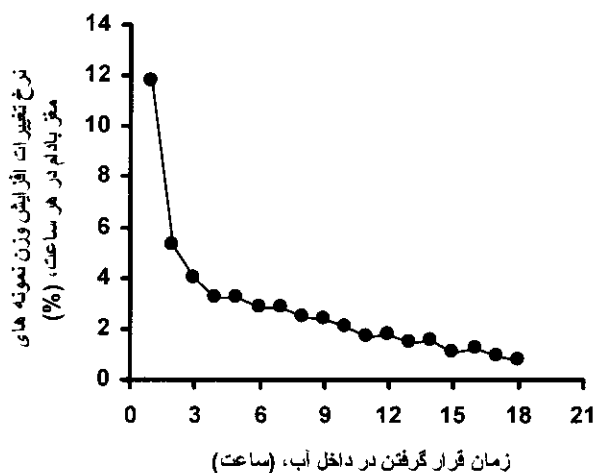
$$\frac{dm}{dt} = \text{نرخ تغییرات افزایش وزن نمونه نسبت به وزن اولیه آن، \%}$$

در فاصله زمانی بین ۹-۱۳ ساعت پس از قرار دادن نمونه‌ها در داخل آب کل افزایش وزن آنها نسبت به وزن اولیه بین ۴۰/۵٪ - ۴۶/۸٪ بود که این مقدار پس از ۱۸ ساعت به ۵۵٪ افزایش یافت. مدل ریاضی مناسب برای پیشگویی کل افزایش وزن مغز بادام‌ها نسبت به وزن اولیه آنها، از ابتدای غوطه وری ($t=0$) تا زمان ($t=t_i$) به شرح زیر تدوین شد:

$$m_{ii} = 12141 \times t_i^{0.509} \quad R^2 = 0.99 \quad (12)$$

که در آن:

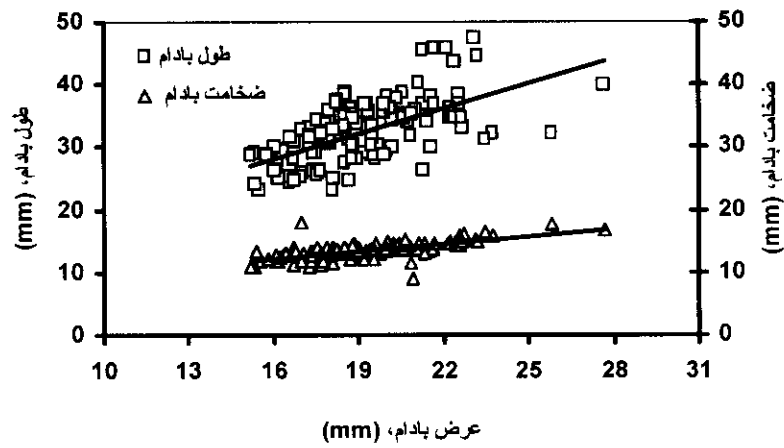
$$m_{ii} = \text{کل افزایش وزن نمونه پس از } t_i \text{ ساعت نسبت به وزن اولیه، \%}$$



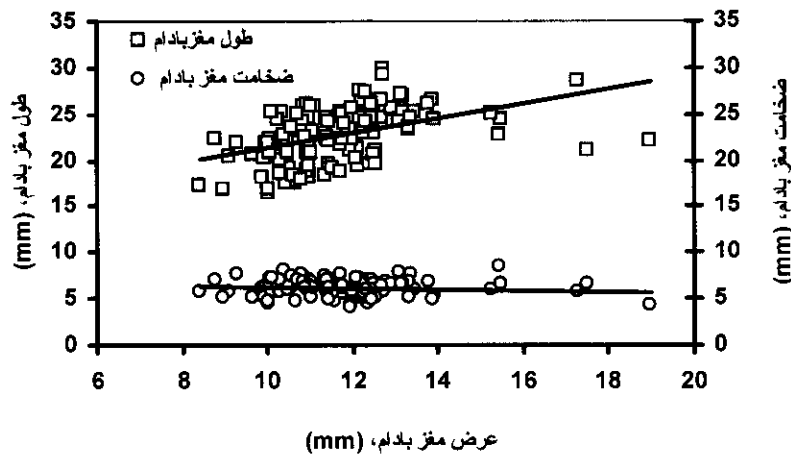
شکل ۱۰- نمودار نرخ تغییرات افزایش وزن نمونه‌های مغز بادام با زمان.

تعیین رابطه بین ابعاد بادام و مغز آن

در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ به ترتیب نمودارهای مربوط به رابطه بین طول، عرض و ضخامت بادام و مغز آن ارائه شده است.



شکل ۱۱- رابطه بین طول، عرض و ضخامت بادام



شکل ۱۲- رابطه بین طول، عرض و ضخامت مغز بادام

طبق نتایج، آنالیز رگرسیون داده‌ها، مدل‌های ریاضی رابطه بین ابعاد سه گانه بادام و مغز آن به

ترتیب عبارتند از:

$$W_A = 0.172 L_A + 0.839 T_A + 2.258 \quad R^2 = 0.75$$

$$W_K = 0.206 L_K - 0.198 T_K + 8.282 \quad R^2 = 0.40$$

که در این روابط:

$$T_A, L_A, W_A = \text{به ترتیب عرض، طول و ضخامت بادام، mm}$$

$$T_k, L_k, W_k = \text{به ترتیب عرض، طول و ضخامت مغز بادام، mm}$$

مدل‌های رگرسیونی رابطه بین طول، عرض و ضخامت بادام با ابعاد متناظرش برای مغز عبارتند

از:

$$L_K = 0.537 L_A + 5.214 \quad R^2 = 90\%$$

$$W_K = 0.529 W_A + 1.535 \quad R^2 = 79\%$$

$$T_K = 0.183 T_A + 3.658 \quad R^2 = 28\%$$

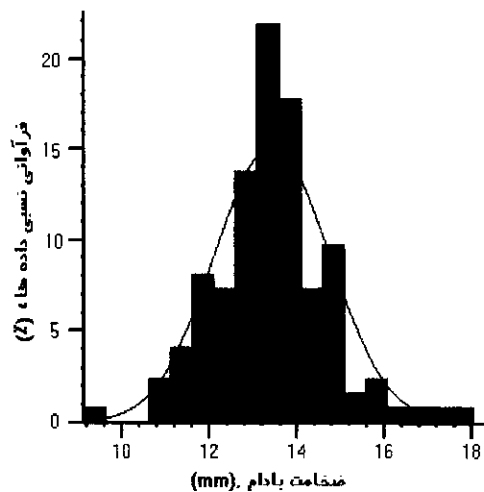
در جدول ۶ مقادیر میانگین، میانه، مد، کمترین، بیشترین، انحراف معیار، ضریب چولگی و ضریب کشیدگی داده‌های مربوط به هر بعد بادام و مغز آن تعیین و ارائه شده است. پیداست که میانگین عرض، ضخامت و طول بادام‌ها به ترتیب ۱۹/۱۱، ۱۳/۴۴ و ۳۲/۴۳ میلی‌متر بود. تحلیل منحنی‌ها و جداول توزیع فراوانی داده‌ها نشان داد که پراکنش داده‌های عرض، ضخامت و طول بادام‌ها در اطراف میانگین و در شعاعی به فاصله یک انحراف معیار به ترتیب ۶۷٪، ۷۲/۶٪ و ۷۱٪ محاسبه شد. برای مغز بادام‌ها نیز میانگین ابعاد عرض، ضخامت و طول آنها به ترتیب ۱۱/۷۲، ۶/۱۲ و ۲۲/۶۱ میلی‌متر و پراکنش داده‌های آنها در اطراف میانگین و در شعاعی به فاصله یک انحراف معیار به ترتیب ۷۸/۲٪، ۶۵/۴٪ و ۶۲/۹٪ بود.

جدول ۶- پارامترهای تمایل به مرکز داده‌های مربوط به ابعاد سه گانه بادام و مغز آن

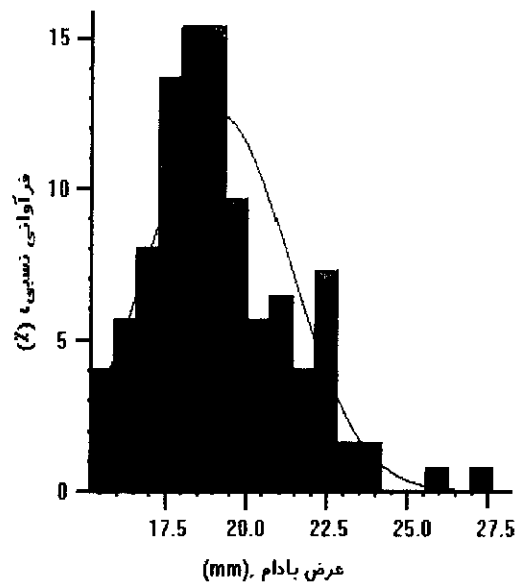
میانگین	میانه	مد	کمترین	بیشترین	انحراف معیار	ضریب چولگی	ضریب کشیدگی	
mm	mm	mm	mm	mm	معیار	چولگی	کشیدگی	
۱۹/۱۱	۱۸/۷۷	۱۸/۸۵	۱۵/۲۰	۲۷/۶۵	۲/۲۱	۰/۴۶	۱/۰۵	عرض
۱۳/۴۴	۱۳/۴۲	۱۳/۶	۹/۱۵	۱۸/۰۵	۱/۳۱	۰/۰۴۵	۱/۷۱	ضخامت
۳۲/۴۳	۳۲/۵۰	۳۲/۵	۲۲/۸۵	۴۷/۱۵	۵	۰/۰۴۲	۰/۳۱	طول
۱۱/۷۲	۱۱/۵۷	۱۱	۸/۴۵	۱۹	۱/۶۰	۰/۲۸	۴/۴	عرض
۶/۱۲	۶/۲	۶/۴	۳/۹۵	۸/۳۵	۰/۸۷	-۰/۲۷	-۰/۴۳	ضخامت
۲۲/۶۱	۲۳	۲۴/۴۵	۱۵/۲۰	۲۹/۷۰	۲/۹۹	-۰/۳۹	-۰/۷۹	طول

از جدول (۶) پیداست که برای بادام کمترین ضریب چولگی با میانگین $0/042$ مربوط به طول بادام بود که این نشانگر تقارن زیاد منحنی فراوانی این داده‌ها و چولگی جزئی آنها به سمت راست است. ضریب چولگی داده‌های ضخامت نیز مساوی $0/045$ بود که تفاوت چندانی با مقدار آن برای بعد طول نداشت. این مطلب از روی شکل ۱۳ و ۱۵ قابل تأیید است. البته چون ضریب کشیدگی داده‌های ضخامت با میانگین $1/71$ ، $5/6$ برابر بزرگتر از آن برای بعد طول با میانگین $0/305$ بود. بنابراین همانطور که از شکل‌های ۱۳ و ۱۴ پیداست می‌توان نتیجه گرفت که تراکم داده‌ها در اطراف میانگین برای بعد ضخامت بیشتر از آن برای بعد طول باشد.

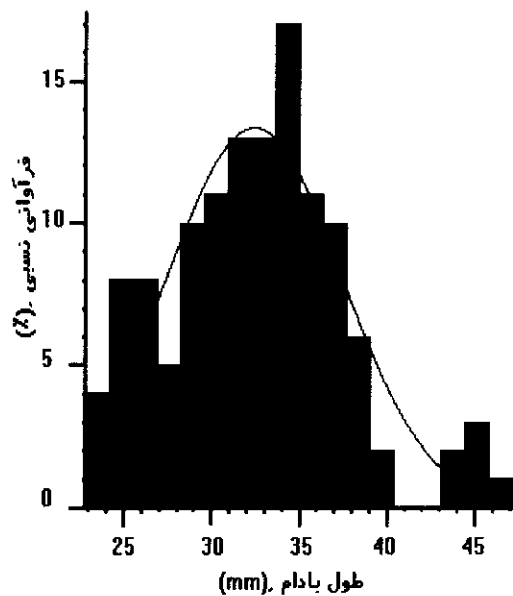
از شکل ۱۵ نیز پیداست که برای بعد طول به دلیل پخ بودن منحنی توزیع نرمال، درصد فراوانی داده‌ها تا فاصله زیادی از میانگین تفاوت چندانی با هم ندارند که این مطلب از نقطه نظر طراحی چندان مطلوب نیست. برای مغز بادام کمترین ضریب چولگی مربوط به داده‌های ضخامت و عرض بود که مقادیر آنها به ترتیب معادل $0/27$ و $0/28$ محاسبه شد. مقادیر کوچک ضریب چولگی نشانگر تقارن خوب منحنی‌ها فراوانی داده‌ها است (شکل‌های ۱۶ و ۱۷). بیشترین ضریب چولگی مربوط به بعد طول است که از شکل ۱۸ نیز این موضوع قابل درک است. بیشترین ضریب کشیدگی داده‌های مغز بادام نیز مربوط به داده‌های عرض بود که مقدار آن مساوی $4/4$ بود. از شکل ۱۶ نیز پیداست که منحنی فراوانی داده‌های عرض تا حدی نسبت به منحنی نرمال کشیده‌تر است و لذا تجمع داده‌ها در اطراف میانگین زیاد و در فاصله‌ای پس از آن سریع کاهش می‌یافت. در صورتی که ضریب کشیدگی داده‌های طول و ضخامت عددی منفی بود که نشانگر پخ بودن منحنی فراوانی داده‌ها است. بنابراین از شکل‌های ۱۷ و ۱۸ پیداست که تا فاصله دورتری از میانگین داده‌ها همچنان دارای فراوانی بالایی هستند. بر این اساس می‌توان دریافت که عرض مغز بادام بهترین بعد از نقطه نظر طراحی محسوب می‌شود.



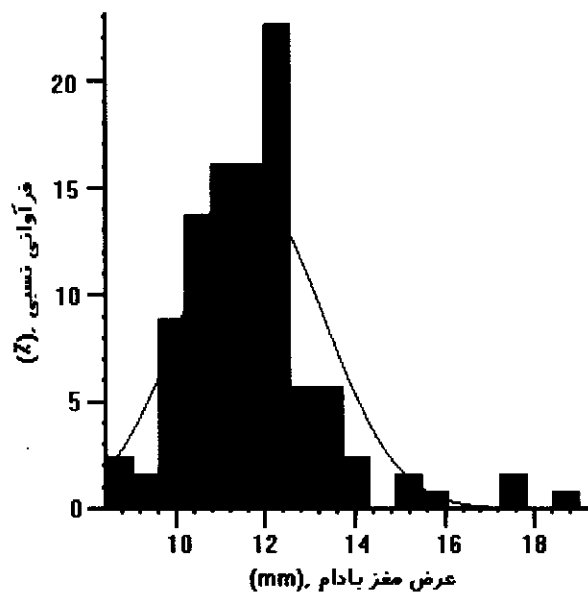
شکل ۱۳- منحنی فراوانی نسبی داده‌های مربوط به ضخامت بادام‌ها



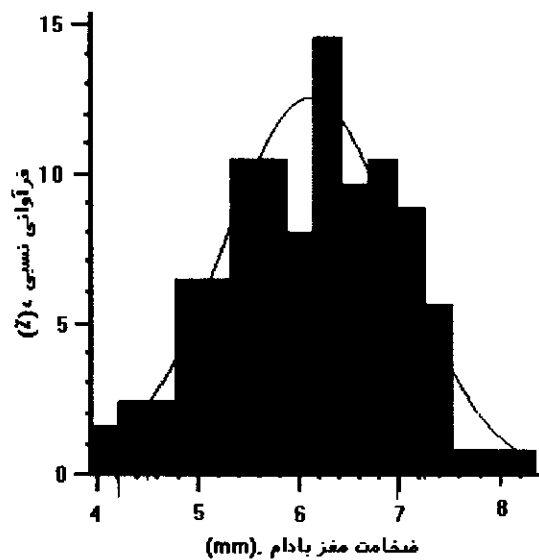
شکل ۱۴- منحنی فراوانی نسبی داده‌های مربوط به عرض بادام‌ها



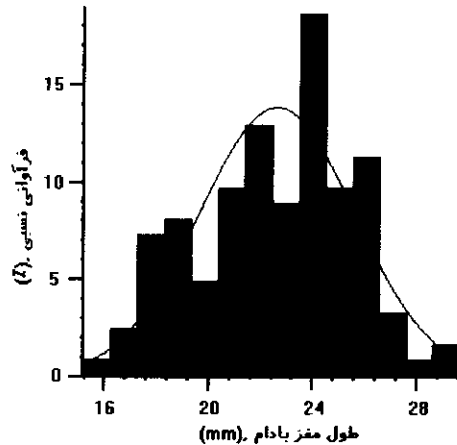
شکل ۱۵- منحنی فراوانی نسبی داده‌های مربوط به طول بادام‌ها



شکل ۱۶- منحنی فراوانی نسبی داده‌های مربوط به عرض مغز بادام‌ها



شکل ۱۷- منحنی فراوانی نسبی داده‌های مربوط به ضخامت مغز بادام‌ها



شکل ۱۸- منحنی فراوانی نسبی داده‌های مربوط به طول مغز بادام‌ها

نتیجه‌گیری

- ۱- تغییرات نیرو، انرژی و توان مورد نیاز برای شکستن بادام‌ها به ترتیب ۱۳۹-۱۵۲۶ نیوتن، ۷۰-۲۰۹۳ میلی ژول و ۵/۱۲۱-۰/۱۵۱ وات بود. هر سه فاکتور سرعت بارگذاری، اندازه بادام و جهت بارگذاری تأثیر معنی داری بر نیرو، انرژی و توان لازم برای شکستن بادام داشتند.
- ۲- در یک ساعت اول پس از قرار دادن نمونه‌های مغز بادام در آب به دلیل قابلیت بالای جذب رطوبت آنها، درصد رطوبت از ۶/۴۶٪ به ۱۸/۵٪ افزایش یافت. تغییرات درصد رطوبت مغز بادام در محدوده ۹-۱۳ ساعت پس از قرار دادن در آب بین ۵۲/۷٪-۴۵/۸٪ (بر مبنای خشک) بود که این مقدار پس از ۱۸ ساعت به ۵۸٪ رسید.
- ۳- تحلیل آماری داده‌های مربوط به ابعاد سه گانه بادام نشان داد که داده‌های ضخامت نسبت به دو بعد دیگر دارای پراکندگی کمتری بودند و لذا تمایل به مرکز بودن آنها در اطراف میانگین بیشتر است. بنابراین از نقطه نظر طراحی بهترین بعد بادام، ضخامت آن است. در صورتی که داده‌های مربوط به عرض مغز بادام، به دلیل ضریب چولگی کوچک و ضریب کشیدگی بزرگی که داشتند، بهترین بعد برای طراحی محسوب می‌شوند.

منابع و مآخذ

- ۱- اداره کل آمار و اطلاعات، معاونت برنامه‌ریزی و پشتیبانی، وزارت جهاد کشاورزی. ۱۳۷۶. بانک اطلاعات کشاورزی ایران. نشریه شماره ۷۶/۰۱.

- ۲- بهبودیان، ج. ۱۳۶۸. آمار و احتمال مقدماتی. انتشارات آستان قدس رضوی. ۳۶۸ صفحه.
- 3- Aviara. N. A, M. I. Gwandzang and M. A. Hague. 1999. Physical properties of guna seeds. *J. Agric. Engng Res.* 73:105-111.
 - 4- Borghei, A. M, T. Tavakoli and J. Khazaei. 2000. Design, construction and testing of walnut cracker. *EurAgEng 2000 Conference*. Paper No: 00-PH-029, Warwick, England.
 - 5- Brusewitz. G. H. 1975. Density of rewetted high moisture grains. *Trans.of the ASAE.* 18(3): 935-938.
 - 6- Chandrasekar. V and R. Viswanathan. 1999. Physical and thermal properties of coffee. *J. Agric. Engng Res.* 73:227-234.
 - 7- Hsu. K. H, C. J. Kim and L. A. Wilson. 1983. Factors affecting water uptake of soybeans during soaking. *Cereal Chem.* 60(3): 208-211.
 - 8- Olajide. J. O and B. I. O. Ade-Omowaye. 1999. Some physical properties of locust bean seed. *J. Agric. Engng Res.* 74:213-215.
 - 9- Oloso. A.O and B. Clarke. 1993. Some aspect of strength properties of cashew nuts. *J.Agric. Engng Res.* 55:27-43.
 - 10- Silberestain. D.A and V.N.M. Rao. 1977. Mechanical properties of peanuts at various tempretures and relative humidities. *Trans. of the ASAE.* 20(3): 746-748.
 - 11- Singh.B.P.n.1989. Model for absorption of liquid water by grains. *Trans. of the ASAE.* 32(6): 2067-2071.
 - 12- Singh. B.P.N and S.P.Kulshrestha. 1987. Kinetice of water sorption by soybean and Pigeonpea grains. *J.Food Sci.* 1538-1544.
 - 13- Tung Liang, L.C and J. B.Mitchell. 1984. Modelling moisture influence on macadamia nut kernel recovery. *Trans. of the ASAE.* 28(5): 1538-1541.
 - 14- Versavel. P.A and W.E.Muir. 1988. Moisture absorbtion by wheat spikes. *Trans.of the ASAE,* 31(4): 1255-1259.