

# مطالعه‌ی خواص فیزیکی و مکانیکی بادام درختی رقم مامایی

مهرداد سلیمی بنی<sup>1</sup>، محمد غلامی پرشکوهی<sup>2\*</sup>، احسان عبدالعلی زاده<sup>1</sup>

<sup>1</sup> دانش آموخته‌ی کارشناسی ارشد، گروه ماشین‌های کشاورزی، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران

<sup>2</sup> گروه ماشین‌های کشاورزی، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران

تاریخ پذیرش: 1392/11/22

تاریخ دریافت: 1392/4/3

## چکیده

در این تحقیق، مشخصه‌های فیزیکی (شامل ابعاد، جرم، میانگین قطر هندسی، کرویت، سطح رویه، حجم و بازآپوشی) و خواص مکانیکی (شامل نیرو، تغییر شکل، انرژی و توان لازم برای شکست) بادام درختی رقم مامائی اندازه‌گیری و محاسبه شد. نتایج نشان داد که میانگین قطر متوسط هندسی برای بادام مامایی 23/66 میلی‌متر و برای مغز آن 14/34 میلی‌متر بود. میانگین کرویت برای بادام 0/639 درصد و برای مغز آن 0/523 درصد بود. با قرار دادن نمونه‌هایی از مغز بادام در آب، بازآپوشی مغز بادام مطالعه و مدل‌های ریاضی آن تدوین شد. از فاصله‌ی زمانی بین 9-13 ساعت پس از قرار دادن نمونه‌های مغز بادام در آب کل افزایش وزن آن‌ها نسبت به وزن اولیه 45 تا 52 درصد بود که این مقدار پس از 18 ساعت به 56 درصد افزایش یافت. تخمین جرم بادام براساس ابعاد و حجم مورد بررسی قرار گرفت و مدل جرم بر اساس ضخامت به عنوان بهترین گزینه به منظور استفاده صنعتی و اقتصادی پیشنهاد شد. بررسی اثر رطوبت بر ضریب اصطکاک استاتیک بادام نشان داد که با افزایش رطوبت این ضریب افزایش می‌یابد و جنس سطوح تاثیر معناداری در سطح احتمال 1 درصد بر ضریب اصطکاک استاتیک بادام دارد. در بررسی خواص مکانیکی نتایج بدست آمده نشان داد که تاثیر سرعت بارگذاری، جهت بارگذاری و اندازه بادام بر نیروی شکست بادام، انرژی شکست و توان لازم برای شکست بادام در سطح 1 درصد معنی‌دار بود. با افزایش سرعت بارگذاری نیروی شکست کاهش و تغییر شکل در نقطه‌ی شکست افزایش یافت. کمترین نیروی شکست بادام در بارگذاری در جهت محور ضخامت (Z) بود.

**واژه‌های کلیدی:** بادام رقم مامایی، خواص فیزیکی، خواص مکانیکی، ضریب اصطکاک استاتیک.

## 1- مقدمه

بادام با نام علمی (*Prunus amygdalus*) متعلق به خانواده ی (*Rosaceae*) و زیر خانواده (*Pronoideae*) می باشد. تولید جهانی بادام در سال 2010 میلادی توسط سازمان بین المللی غذا و کشاورزی، 1675284 تن گزارش شده است که سهم ایران در این تولید 158800 تن بود. که این میزان تولید، ایران را در مقام سوم تولید جهانی قرار داده است (1). سطح زیر کشت بادام در ایران در سال 1388 معادل 43357 هکتار نهال بادام (غیر بارور) و 12619 هکتار درخت بادام بارور بوده است. از نظر سطح زیر کشت، استان خراسان رضوی بیشترین و استان گلستان کمترین مقدار را به خود اختصاص داده اند. از نظر میزان تولید استان فارس و آذربایجان شرقی با 2547 و 1474 تن مقام اول و دوم را دارا می باشند. صادرات بادام نیز مانند صادرات بسیاری از محصولات کشاورزی هنوز با مشکلات متعددی در زمینه مسائل مربوط به حمل و نقل محصول، مقررات دست و پاگیر اداری، آشنا نبودن باغداران و صادرکنندگان با روش های علمی باعث شده که لطمات زیادی به صادرات این محصول وارد کند. این درحالی است که می توان با بررسی بازارهای هدف، استفاده از روش های علمی برای توسعه کشت ارقام مختلف این محصول، توجه به استانداردهای کشورهای وارد کننده و آشنایی صادرکنندگان با بازارهای این محصول زمینه گسترش صادرات بادام را فراهم کرد (1).

شناخت خواص فیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی و مواد غذایی همواره مورد توجه و علاقه متخصصان کشاورزی و صنایع غذایی بوده است. این مسئله بویژه در رابطه با ماشین های کشاورزی، از لحاظ تاثیری که در بخش های مختلف ماشین در مراحل برداشت، حمل و نقل، ذخیره سازی و فرآوری بر محصول ایجاد می کند حائز اهمیت است. در این خصوص خزایی و همکاران (2002)، به منظور مطالعه ی تغییرات نیروی شکست، انرژی مصرفی و قدرت مورد نیاز برای شکست بادام آزمایش های را با دستگاه اینسترون انجام دادند. نتایج نشان داد که افزایش سرعت بارگذاری در هر دو جهت کنار و روبرو، نیروی شکست را کاهش می دهد. میانگین نیروی شکست برای بارگذاری در جهت کنار و روبرو به ترتیب 644 و 555 نیوتن بدست آمد. افزایش اندازه ی بادام، نیروی لازم برای شکست و انرژی مصرفی را افزایش می دهد. مقدار انرژی مصرفی در

بارگذاری کناری با مقدار متوسط 568 میلی ژول، بیشتر از بارگذاری از جهت روبرو با مقدار متوسط 424 میلی ژول می باشد. آیدین<sup>1</sup> (2003)، خواص فیزیکی بادام و مغز آن را مورد مطالعه قرار داد و ضریب اصطکاک استاتیکی را روی سطوح چوب چندلا، لاستیک و آهن گالوانیزه بررسی کرد و دریافت که این ضرایب روی چوب چند لا بیشترین و آهن گالوانیزه کمترین مقدار بود. همچنین دریافت که با افزایش رطوبت مغز بادام، نیروی شکست کاهش پیدا می کند و بیشترین نیروی شکست در جهت محور طولی بادام، محور X اتفاق افتاد.

ارسلان و ورساوس<sup>2</sup> (2006)، خواص فیزیکی و مکانیکی سه رقم بادام به نام های فرگنس، فرادول و گورا را مورد مطالعه قرار دادند. آنان دریافتند که (با توجه به بارگذاری انجام شده) برای شکست آسان بادام، شرایط رطوبتی یک ضرورت به حساب می آید.

گازر و همکاران (2002)، در تحقیقی روی وارینه خاصی از هسته ی زردآلو (هکی هالیوگلو) دریافتند که با افزایش محتوای رطوبتی هسته و مغز زردآلو، نیروی شکست کاهش پیدا می کند. ضمناً ماکزیمم نیروی شکست برای هسته ی زردآلو در جهت محور طولی، 656/2 نیوتن و برای مغز آن در جهت ضخامت، 118/8 نیوتن بدست آمد.

هدف این تحقیق اندازه گیری ویژگی های فیزیکی بادام و مغز بادام رقم مامایی شامل ابعاد، جرم، حجم و مطالعه ی فرآیند جذب رطوبت مغز بادام و تعیین برخی ویژگی های مکانیکی آن شامل ضریب اصطکاک استاتیک، تغییر شکل، نیرو، انرژی و توان مورد نیاز برای شکستن بادام بود.

## 2- مواد و روش ها

## 2-1 مواد

نمونه های بادام رقم مامایی از باغ طوبی بن تهیه گردید. این باغ دارای وسعت تقریبی 680 هکتار بوده و در 50 درجه و 45 دقیقه طول شرقی و 32 درجه و 32 دقیقه عرض شمالی و در شهر بن در استان چهارمحال و بختیاری واقع شده است. نمونه ها پس از تمیز کردن و جدا کردن از پوست سبز، بسته بندی شد (کیسه های نایلونی). بسته بندی های حاوی نمونه درون یخچال در دمای حدود

1- Aydin

2- Arsalan and Versavs

در تماس نباشد. این کار توسط یک سیم فلزی نازک انجام شد. در این حالت، در ابتدا وزن بشر حاوی آب و نمونه غوطه‌ور تعیین گردید. تفاوت ایجاد شده در وزن ناشی از نیروی ارشمیدس است و حجم را می‌توان با تقسیم نیروی ارشمیدس بر چگالی آب بدست آورد.

$$V = \frac{M_{bws} - M_{bw}}{r_w} \quad (2)$$

که در آن  $M_{bws}$  جرم ظرف حاوی آب و نمونه غوطه‌ور (گرم)،  $M_{bw}$  جرم ظرف حاوی آب (گرم)،  $r_w$  چگالی آب (گرم بر سانتی متر مکعب) و  $V$  حجم نمونه (سانتی متر مکعب) بودند (10). اندازه‌گیری حجم بر روی 270 عدد بادام و مغز آن انجام گرفت. قطر متوسط حسابی و هندسی، کرویت و مساحت سطح رویه بادام و مغز پارامترهایی هستند که با استفاده از اندازه‌گیری ابعاد اصلی (طول، عرض و ضخامت) و روابط ارائه شده در زیر محاسبه می‌شوند. کلیه پارامترهای ذکر شده با استفاده از روابط (3 تا 6) محاسبه گردید (10).

$$D_g = (LWH)^{\frac{1}{3}} \quad (3)$$

$$D_a = \frac{L+W+H}{3} \quad (4)$$

$$j = \frac{(LWH)^{\frac{1}{3}}}{L} \times 100 \quad (5)$$

$$S = pD_g^2 \quad (6)$$

که در روابط فوق  $D_g$  و  $D_a$  میانگین قطر حسابی و هندسی (میلی متر)،  $f$  کرویت (درصد)،  $S$  مساحت سطح رویه (میلی متر مربع)،  $L$  طول (میلی متر)،  $W$  عرض (میلی متر) و  $H$  ضخامت (میلی متر) می‌باشد.

ضریب اصطکاک استاتیک روی پنج سطح آهن گالوانیزه، تخته سه‌لا، لاستیک، برزنت و شیشه و در سه سطح رطوبتی 3-4، 10-9، 15-16 درصد (خشک پایه) تعیین گردید. نمونه‌ها در یک سطح شیب‌دار قرار گرفته و با بالا رفتن یکنواخت سطح شیب‌دار، تا نژانت زاویه این سطح با افق در لحظه‌ی شروع به حرکت نمونه‌ها، ضریب اصطکاک استاتیک (رابطه 7) بود.

$$m = \tan j \quad (7)$$

که در آن  $m$  ضریب اصطکاک استاتیک و  $j$  زاویه سطح شیب‌دار (درجه) می‌باشد (11).

برای انجام آزمایش از سطحی شیب‌دار مطابق شکل (1) استفاده شد. برای بدست آوردن ضریب اصطکاک استاتیک بادام و مغز آن از یک استوانه دوسر باز به قطر 80 میلی متر و ارتفاع 50 میلی

+5 درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند تا شرایط رطوبتی حفظ شده و برای انجام آزمایش‌ها نگهداری شوند.

## 2-2- خواص فیزیکی

مشخصه‌های فیزیکی شامل ابعاد، جرم، حجم، ضریب اصطکاک استاتیک، میزان رطوبت بر روی بادام و مغز آن اندازه‌گیری و مقادیر میانگین، انحراف معیار، کمینه و بیشینه داده‌ها تعیین شد. پارامترهای محاسباتی شامل کرویت و قطر متوسط هندسی نیز با استفاده از روابط موجود بین پارامترهای اندازه‌گیری شده، محاسبه گردیدند.

رطوبت اولیه با استفاده از روش آون در دمای  $103 \pm 2$  درجه سانتی‌گراد و تا رسیدن به وزن ثابت تعیین شد (8). برای به دست آوردن نمونه‌هایی با رطوبت بیشتر، مقدار آب مقطر محاسبه شده طبق رابطه (1) به آن اضافه شد. سپس نمونه‌ها در ظروف پلاستیکی در بسته قرار گرفتند و در دمای 5 درجه سلسیوس به مدت 10 روز در یخچال نگهداری شدند تا رطوبت به طور یکنواخت در محصول پخش شود (8). پیش از شروع آزمایش نمونه‌های مورد نیاز برای هم دما شدن با محیط حداقل 2 ساعت در دمای محیط قرار گرفتند (5).

$$w_2 = w_1 \times \left[ \frac{M_2 - M_1}{100 - M_2} \right] \quad (1)$$

که در آن  $w_2$  وزن آب اضافه شده (گرم)،  $w_1$  وزن نمونه (گرم)،  $M_2$  رطوبت نهایی (درصد ترپایه) و  $M_1$  رطوبت اولیه (درصد ترپایه) بودند.

برای تعیین ابعاد بادام و مغز آن سه محور عمود بر هم تعریف شد. بزرگترین بعد به عنوان طول ( $L$ ) در نظر گرفته شد. بزرگترین بعد عمود بر محور طول، عرض نمونه‌ها ( $W$ ) و بعد عمود بر طول و عرض، ضخامت ( $T$ ) تعریف شد. ابعاد در سه جهت تعریف شده توسط کولیس دیجیتال با دقت 0/01 میلی‌متر و بر روی 270 نمونه بادام و مغز آن از هر رقم اندازه‌گیری شدند. اندازه‌گیری جرم بادام و مغز آن توسط یک ترازوی دیجیتالی با دقت 0/1 گرم بر روی 270 عدد انجام شد.

برای تعیین حجم بادام و مغز آن از روش جابجایی مایع و با استفاده از ترازوی سکودار استفاده شد. در این روش ابتدا یک بشر حاوی مقداری آب مقطر بر روی ترازوی سکودار به دقت 0/1 گرم قرار گرفته، جرم آن محاسبه شد. سپس نمونه بطور کامل در آب غوطه‌ور می‌شود بطوری که با کناره‌ها و کف بشر

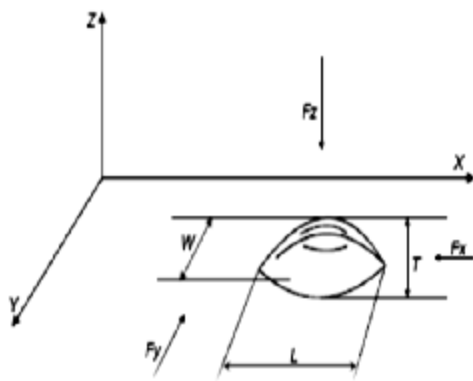
$(z, y, x)$  (شکل 2) و اندازه دانه در دو سطح (بزرگ: 16-18/5 و کوچک: 13-15/5 میلی متر) بر نیروی شکست، تغییر شکل، انرژی مصرفی و توان مطالعه گردید. کلیه آزمایشها بر روی بادام در ده تکرار انجام شد. مقدار رطوبت نمونهها در زمان آزمایش 9 درصد (خشک پایه) بود.

پس از اینکه منحنی نیرو- تغییر شکل هر نمونه در آزمایش بارگذاری فشاری تک محوری استخراج گردید، خواص مکانیکی تعیین شد. با محاسبه سطح زیر نمودار منحنی نیرو- تغییر شکل تا نقطه شکست، انرژی و توان لازم برای شکست بادام از روابط 9 و 10 محاسبه گردید.

$$E_a = \frac{F_r D_r}{2} \quad (9)$$

$$P_1 = \frac{E_a V_1}{6000 D_r} \quad (10)$$

که در آن  $E_a$  انرژی شکست (میلی ژول)،  $F_r$  نیروی شکست (نیوتن)،  $D_r$  تغییر شکل تا نقطه شکست (میلی متر)،  $P_1$  توان (وات) و  $V_1$  سرعت بارگذاری (میلی متر بر دقیقه) بودند.



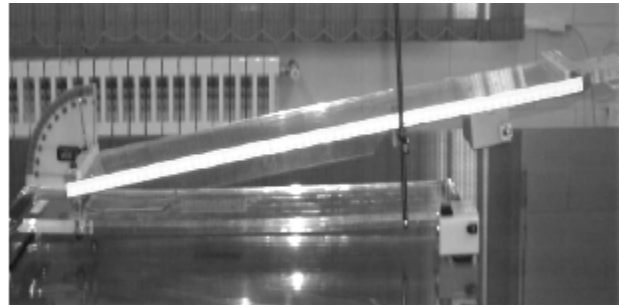
محور X، محور طولی در راستای بعد بزرگتر (طول)؛ محور Y، محور عرضی در راستای بعد میانی (عرض)؛ محور Z، محور درازا در راستای بعد کوچکتر (ضخامت).

شکل 2- نمایش محور بارگذاری و سه بعد عمود در بادام

#### 4-2 تجزیه و تحلیل آماری

نمودارها توسط نرم افزار Excel ترسیم گردید. تحلیل آماری دادهها شامل تجزیه واریانس و آزمون چند دامنه ای دانکن در طرح فاکتوریل کاملا تصادفی توسط نرم افزار SPSS20 انجام گرفت و روابط رگرسیونی به کمک نرم افزار MiniTab تعیین گردید.

متر استفاده شد. استوانه را بر روی سطح شیبدار قرار داده و نمونهها درون آن پر شد سپس استوانه مقدار خیلی کم نسبت به سطح بالا آورده شد، به صورتی که تماس آن با سطح قطع شد و فقط نمونهها با سطح در تماس بودند. شیب مایل با جنس مورد نظر به تدریج افزایش داده شد تا هنگامی که نمونهها شروع به لغزش کند و با توجه به مقیاس بندی انجام شده روی دستگاه زاویه شیب خوانده شد.



شکل 1- ابزار اندازه گیری زاویه اصطکاک استاتیکی

برای تعیین بازآبوشی بادام، سه نمونه 10 گرمی مغز بادام تهیه و به مدت 18 ساعت درون آب با دمای بین 23-25 قرار داده شدند. در این مدت هر یک ساعت یکبار نمونهها از آب خارج و پس از خشک کردن آب اضافه چسبیده شده به اطراف سطوح آنها (توسط دستمال کاغذی)، وزن می شدند. با معلوم بودن درصد رطوبت و وزن خشک نمونههای اولیه، درصد رطوبت مغز پس از هر ساعت غوطه وری در آب طبق رابطه 8 محاسبه شد.

$$MC_t = \frac{M_t - M_0}{M_0} \quad (8)$$

که در آن  $MC_t$  رطوبت در زمان  $t$  (درصد خشک پایه)،  $M_0$  وزن خشک نمونه 10 گرمی اولیه (گرم) و  $M_t$  وزن تر نمونه، پس از  $t$  ساعت قرار گرفتن در آب (گرم) بود.

#### 3-2 آزمایش مربوط به خواص مکانیکی

در این تحقیق خواص مکانیکی شامل نیروی شکست، تغییر شکل تا نقطه شکست، توان و انرژی شکست اندازه گیری و محاسبه شد. برای این کار از ماشین کشش و فشار (اینسترون سری STM-20 ساخت ایران) استفاده شد.

در این تحقیق با انجام آزمون آماری فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی، اثرات سرعت بارگذاری در سه سطح بارگذاری (50، 200، 400 میلی متر بر دقیقه)، جهت بارگذاری در سه سطح

### 3- نتایج و بحث

#### 1-3 ویژگی های فیزیکی

ویژگی های فیزیکی اندازه گیری شده بادام و مغز آن در جدول-3 های (1) و (2) آمده است. میانگین طول، عرض و ضخامت برای بادام به ترتیب 37/02، 21/53 و 16/67 میلی متر و برای مغز آن 27/48، 13/49 و 8/17 میلی متر بود. ترکان (2007)، میانگین طول، عرض و ضخامت را برای بادام رقم گلکان 101-23 به ترتیب 35/58، 18/71 و 11/05 میلی متر و برای رقم ناپاریل 28/98، 17/04 و 9/89 میلی متر بدست آورد.

میانگین وزن بادام 4/9 گرم و برای مغز آن 1/36 گرم بود. ترکان (2007)، میانگین وزن را برای بادام رقم گلکان 101-23، 2/08 گرم و برای بادام رقم ناپاریل 1/01 گرم بدست آوردند.

میانگین سطح رویه بادام 1767/16 میلی متر مربع و برای مغز آن 652/7 میلی متر مربع بود. سطح رویه در رقم گلکان 101-23 و ناپاریل به ترتیب 1191/54 و 889/4 میلی متر مربع گزارش شده است (11).

میانگین کرویت و قطر هندسی به ترتیب 0/639 درصد و 23/66 میلی متر برای بادام و 0/523 درصد و 14/34 میلی متر برای مغز بود. ترکان، موارد فوق را برای بادام رقم گلکان به ترتیب 0/54 درصد

و 19/48 میلی متر و برای بادام رقم ناپاریل به ترتیب 0/58 درصد و 16/83 میلی متر بدست آورد.

#### 2-3 مدل جرم بادام بر اساس ابعاد

عمل مدل سازی نسبت به طول، عرض و ضخامت انجام شد. مدل کلی برای تخمین جرم بادام مطابق رابطه 11 بود.

$$M = F(L, W, T) \quad (11)$$

که در آن M جرم، L طول، W عرض و T ضخامت بودند. در جدول (3) هفت مدل که جرم را بر اساس ابعاد بادام تخمین می زند آورده شده است. مدل شماره 7 که جرم را بر اساس هر سه بعد عمود برهم مدل می کند، بیشترین ضریب تبیین و کمترین خطای استاندارد رگرسیون را نسبت به مدل های دیگر این دسته دارا بود. این مدل به علت اینکه هر سه بعد باید اندازه گیری شود، به سبب پیچیده و گران شدن ماشین مقرون به صرفه نمی باشد. از میان مدل های 1، 2 و 3 که مدل های یک متغیر می باشند. مدل شماره 3 که جرم را بر اساس ضخامت مدل سازی می کند، بهترین مدل است.

$$M = 0.371T - 1.28 \quad R^2 = 0.75 \quad (12)$$

جدول 1- ویژگی های فیزیکی مربوط به بادام رقم مامایی

خواص فیزیکی	میانگین	کمترین	بیشترین	انحراف معیار
طول (میلی متر)	37/02	30	44/6	3/23
عرض (میلی متر)	21/53	18/04	28	1/797
ضخامت (میلی متر)	16/67	12/1	20/5	1/47
وزن (گرم)	4/9	2/6	7/9	1/115
حجم (میلی متر مکعب)	7034/8	4408/56	11225/6	1447/13
سطح رویه (میلی متر مربع)	1767/16	1299/99	2424/1	240/71
میانگین قطر هندسی (میلی متر)	23/66	20/340	27/78	1/60
کرویت (درصد)	63/9	57	72	3/4

جدول 2- ویژگی های فیزیکی مربوط به مغز بادام رقم مامایی

خواص فیزیکی	میانگین	کمترین	بیشترین	انحراف معیار
طول (میلی متر)	27/48	23/1	34/7	2/37
عرض (میلی متر)	13/49	8/2	18/20	1/77
ضخامت (میلی متر)	8/17	4/30	140	2/037
وزن (گرم)	1/36	0/8	2.1	0/346
حجم (میلی متر مکعب)	1592/5	844/03	2684/7	482/9
سطح رویه (میلی متر مربع)	652/7	431/8	933/9	133/07
میانگین قطر هندسی (میلی متر)	14/34	11/72	17/14	1/471
کرویت (درصد)	52/3	41/7	62/1	4/7

### 3-3 تعیین روابط بین ابعاد بادام با ابعاد متناظر در مغز

مدل های رگرسیون روابط بین طول، عرض و ضخامت بادام مامایی با ابعاد متناظرش برای مغز بصورت رابطه های 13 تا 15 تعیین شد.

(13)

$$L_K = 3.95 + 0.632 L_a \quad R^2 = 0.717$$

(14)

$$W_K = 0.48 + 0.602 W_a \quad R^2 = 0.37$$

(15)

$$T_K = -7.83 + 0.961 T_a \quad R^2 = 0.49$$

که در آن  $L_a$ ،  $W_a$  و  $T_a$  به ترتیب طول، عرض و ضخامت بادام (میلی متر) و  $L_K$ ،  $W_K$  و  $T_K$  به ترتیب طول، عرض و ضخامت مغز بادام (میلی متر) بودند.

### 4-3 تعیین مدل ریاضی بازآپوشی مغز بادام

در یک ساعت اول پس از قرار گرفتن نمونه ها در داخل آب به دلیل قابلیت بالای جذب رطوبت آن، درصد رطوبت مغز بادام مامایی از 5/2 درصد به 21/7 درصد، افزایش یافت. با گذشت زمان، روند افزایش درصد رطوبت مغز بادام ها کندتر شد. میانگین رطوبت مغز بادام مامایی در محدوده 9-13 ساعت پس از قرار گرفتن در آب بین 53/1 درصد تا 60/5 درصد (خشک پایه) بود که این مقدار پس از 18 ساعت به 65 درصد رسید. جذب رطوبت از ساعت دوم به بعد کندتر شد. در یک ساعت اول پس از قرار گرفتن نمونه ها در آب، مقدار افزایش وزن بادام مامایی نسبت به وزن اولیه معادل 8 درصد بوده و با گذشت زمان روند نزولی آهنگ جذب رطوبت ادامه می یابد و متناوب و

متناسب با آن درصد رطوبت نمونه ها به سمت تعادل میل می کند. معادله ی رگرسیون رابطه ی بین تغییرات بازآپوشی مغز بادام رقم مامایی با زمان به صورت معادله ی (16) بود.

$$MC_t = 17.34 \ln(t) + 14.27 \quad R^2 = 0.96 \quad (16)$$

که در آن  $MC_t$  رطوبت مغز بادام در زمان  $t$  (درصد) و  $t$  زمان قرار دادن نمونه در آب (ساعت) بود.

در فاصله ی زمانی بین 9-13 ساعت پس از قرار دادن نمونه های مغز بادام مامایی درون آب کل افزایش وزن آن ها نسبت به وزن اولیه 45 درصد تا 52 درصد بود که این مقدار پس از 18 ساعت 56 درصد افزایش یافت. مدل ریاضی مناسب برای پیشگویی کل افزایش وزن مغز بادام ها نسبت به وزن اولیه آن ها به صورت معادله ی (17) بود.

$$M_{ti} = 17.36 t_i^{0.39} \quad R^2 = 0.98 \quad (17)$$

که در آن  $M_{ti}$  کل افزایش وزن نمونه پس از  $t_i$  ساعت نسبت به وزن اولیه (درصد) بود. مشابه همین نتیجه توسط برقی و همکاران (2000) گزارش شده بود. آن ها دریافتند که در ساعت اول پس از قراردادن نمونه های بادام درون آب و رطوبت از 6/46 درصد به 18/5 افزایش و میانگین درصد رطوبت مغز بادام ها در محدوده 9-13 ساعت پس از قرار گرفتن در آب بین 45/8 درصد تا 52/7 درصد بود که این مقدار پس از 18 ساعت به 58 درصد رسید. خزایی و همکاران (2002) رابطه (18) را برای پیشگویی کل افزایش وزن مغز بادام ها نسبت به وزن اولیه آن ها، به شکل زیر بدست آوردند.

$$M_{ti} = 12.41 t_i^{0.509} \quad R^2 = 0.99 \quad (18)$$

اصطکاک استاتیکی بادام و مغز آن با افزایش رطوبت افزایش یافت. با افزایش رطوبت بادام و مغز، نیروی چسبندگی بین سطح و نمونه افزایش یافته و باعث می‌شود که ضریب اصطکاک افزایش یابد.

احمدی و همکاران (2008)، ضریب اصطکاک استاتیک میوه، هسته و مغز زردآلوی واریه تیزه را بر روی چهار سطح چوب، شیشه، ورق فولادی گالوانیزه و فایبرگلاس اندازه‌گیری کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که ضریب اصطکاک استاتیک میوه بر روی سطح ورق فولادی گالوانیزه دارای بیشترین مقدار 0/62 درصد و کمترین مقدار ضریب اصطکاک به مقدار 0/49 درصد روی سطح شیشه بود. برای ضریب اصطکاک استاتیک هسته و مغز بیشترین و کمترین سطح اصطکاکی به ترتیب مربوط به سطح چوب و سطح شیشه بود.

### 3-6 خواص مکانیکی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، تاثیر سرعت بارگذاری، جهت بارگذاری و اندازه بادام بر نیروی شکست بادام، انرژی شکست و توان در سطح 1 درصد معنی‌دار بود. تاثیر سرعت بارگذاری نیز روی تغییر شکل معنی‌دار ولی جهت بارگذاری و اندازه بادام تاثیر معنی‌داری روی تغییر شکل نداشتند. در جدول (5) مقادیر میانگین و انحراف معیار نیروی شکست، تغییر شکل، انرژی شکست و توان در سرعت بارگذاری مختلف، در سه جهت بارگذاری و در دو اندازه بادام آورده شده است.

شکل (3) نشان می‌دهد با افزایش سرعت بارگذاری، نیروی شکست بادام، به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. نیروی شکست بادام در بارگذاری در جهت محور طولی (X)، بیشتر از بارگذاری در جهت عرضی (Y) و آن هم بیشتر از بارگذاری در جهت محور ضخامت (Z) بود.

خزایی (1382)، تاثیر سرعت بارگذاری، جهت بارگذاری و اندازه بادام بر نیرو، انرژی و توان مورد نیاز برای شکستن بادام درختی رقم تگزاس را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها دریافتند که با افزایش سرعت بارگذاری، نیروی شکست بادام به طور معنی‌داری کاهش یافت. تاثیر سرعت بارگذاری، اندازه بادام و جهت بارگذاری بر نیروی شکست بادام نیز در سطح 1 درصد معنی‌دار بود. نیروی شکست بادام در بارگذاری عرضی با میانگین 644 نیوتن به اندازه‌ی 24 درصد بیشتر از آن برای

جدول 3- مدل سازی جرم بادام رقم مامایی بر اساس ابعاد آن

ردیف	مدل	R <sup>2</sup>	R.S.E
1	M=aL+b	0/71	0/38
2	M=aW+b	0/54	0/6
3	M=aT + b	0/75	0/21
4	M=aL+bW+c	0/68	0/36
5	M=aL+bT+c	0/82	0/37
6	M=aW+bT+c	0/73	0/46
7	M= aL+bW+cT+d	0/85	0/33

### 3-5 ضریب اصطکاک استاتیک بادام و مغز آن

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تاثیر رطوبت، جنس و اثرات متقابل آن دو بر ضریب اصطکاک استاتیکی بادام و مغز آن در سطح 1 درصد معنی‌دار بود. ضرایب اصطکاک استاتیک بادام رقم مامایی و مغز آن در سه سطح رطوبت و 5 سطح با جنس‌های شیشه، آهن، گالوانیزه، تخته سه‌لا، برزنت و لاستیک در جدول (4) نشان داده شده است.

جدول 4- ضرائب اصطکاک استاتیک بادام و مغز آن در سه سطح

#### رطوبتی با جنس‌های مختلف

رطوبت	محصول	جنس سطح			
		شیشه	آهن گالوانیزه	تخته سه لا	برزنت لاستیک
بادام	0/14	0/21	0/29	0/61	0/58
3-4 بادام	0/26	0/26	0/31	0/82	0/63
بادام	0/29	0/28	0/33	0/65	0/69
10-9 بادام	0/44	0/34	0/38	0/98	0/71
بادام	0/3	0/36	0/36	0/70	0/75
16-15 بادام	0/48	0/42	0/45	1/2	0/8

بررسی تاثیر جنس سطوح مورد استفاده نشان داد که ضریب اصطکاک استاتیک بادام روی لاستیک بیشترین و برای شیشه کمترین مقدار را دارد، این نتیجه می‌تواند به دلیل خصوصیات جنس لاستیک (چسبندگی بیشتر) نسبت به بقیه سطوح باشد. ضریب اصطکاک استاتیک مغز بادام روی برزنت بیشترین (زبری بیشتر) و برای آهن گالوانیزه کمترین مقدار را دارد. ضریب

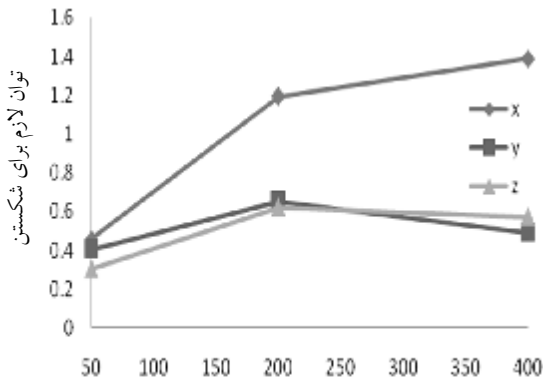
نتایج این تحقیق با تحقیق سایر محققان مطابقت داشت (7 و 9). بارگذاری در جهت ضخامت (Z)، کمترین بود. این موضوع در طراحی اجزای ماشین بادامشکن و انتخاب طرح مناسب آن مؤثر خواهد بود. توان مصرفی در جهت ضخامت و عرضی (Y و Z) با افزایش سرعت از 50 به 200 میلی متر بر دقیقه ابتدا افزایش و با افزایش بیشتر سرعت تا 400 میلی متر بر دقیقه، کاهش یافت. برای بارگذاری در جهت طولی (X) با افزایش سرعت از 50 به 400

بارگذاری از طولی با میانگین 555 نیوتن بود. با افزایش سرعت بارگذاری از 50 به 200 میلی متر بر دقیقه، تغییر شکل بادام در نقطه ی شکست افزایش پیدا می کند و با افزایش بیشتر سرعت روند افزایش به خود گرفته است (شکل 4). انرژی مصرفی برای شکست در سه جهت بارگذاری طولی، عرضی و ضخامت (Z, Y, X)، با افزایش سرعت بارگذاری از 50 به 400 میلی متر بر دقیقه، کاهش می یابد (شکل 5). انرژی مصرفی برای شکست بادام در میلی متر بر دقیقه افزایش یافت (شکل 6).

جدول 5- میانگین و انحراف معیار نیرو، تغییر شکل، انرژی و توان شکست بادام رقم مامایی در نقطه ی گسیختگی

توان شکست (وات)	انرژی شکست (میلی ژول)	تغییر شکل (میلی متر)	نیروی شکست (نیوتن)	اندازه بادام	جهت	سرعت (میلی متر بر دقیقه)
0/550 ± 0/084	1099/4 ± 244/4	1/71 ± 0/51	1321/66 ± 201/7	بزرگ	X	50
0/282 ± 0/032	451/07 ± 214/6	1/31 ± 0/48	679/35 ± 78/98	کوچک	X	
0/491 ± 0/053	919/64 ± 289/5	1/69 ± 0/62	1106/52 ± 126/9	بزرگ	Y	
0/351 ± 0/041	815/71 ± 247/9	1/69 ± 0/62	841/1 ± 98/4	کوچک	Y	
0/356 ± 0/071	655/71 ± 244/4	1/48 ± 0/41	854/41 ± 185	بزرگ	Z	
0/227 ± 0/035	416/8 ± 150/3	1/43 ± 85/71	545/4 ± 85/71	کوچک	Z	
1/26 ± 0/314	829/1 ± 284/84	2/29 ± 0/68	760/56 ± 188/52	بزرگ	X	200
0/536 ± 0/131	514/08 ± 4/08	3/2 ± 0/601	321/3 ± 78/009	کوچک	X	
0/682 ± 0/115	486/99 ± 175/3	2/45 ± 0/998	409/55 ± 69/16	بزرگ	Y	
0/540 ± 0/003	371/40 ± 96/38	2/29 ± 0/57	324 ± 2/12	کوچک	Y	
0/699 ± 0/097	551/6 ± 275/74	2/618 ± 1/23	419/9 ± 58/68	بزرگ	Z	
0/439 ± 0/135	252/7 ± 156/85	1/8 ± 0/684	263/96 ± 81/3	کوچک	Z	
1/557 ± 0/342	603/3 ± 337/17	2/503 ± 1/090	467/15 ± 102/8	بزرگ	X	400
0/717 ± 0/080	267/84 ± 7/39	2/5 ± 0/212	215 ± 24/1	کوچک	X	
0/519 ± 0/124	203/11 ± 85/38	2/56 ± 0/683	155/85 ± 37/47	بزرگ	Y	
0/368 ± 0/076	140/19 ± 88/50	2/31 ± 1/067	115/8 ± 23/05	کوچک	Y	
0/654 ± 0/128	257/38 ± 83/33	2/704 ± 0/933	196/49 ± 38/41	بزرگ	Z	
0/376 ± 0/040	149/23 ± 31/10	2/633 ± 0/378	112/8 ± 12/14	کوچک	Z	





سرعت بار گذاری (میلی متر بر دقیقه)

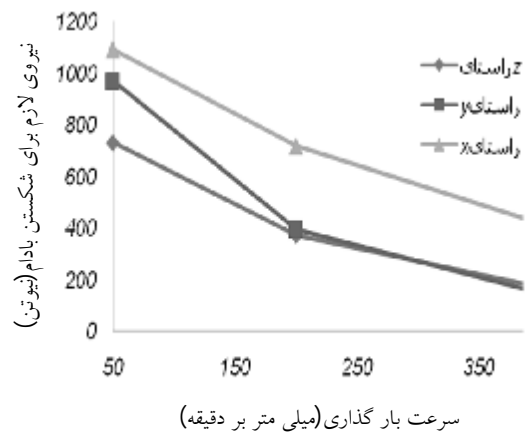
شکل 6- تاثیر سرعت بارگذاری و جهت بارگذاری بر توان لازم برای شکست بادام رقم مامایی

#### 4- نتیجه گیری

میانگین طول، عرض و ضخامت برای بادام به ترتیب 37/02، 21/53 و 16/67 میلی‌متر و برای مغز آن 27/48، 13/49 و 8/17 میلی‌متر بود. میانگین وزن بادام 4/9 گرم و برای مغز آن 1/36 گرم بود. میانگین کرویت و میانگین قطر هندسی به ترتیب 63/9 درصد و 23/66 میلی‌متر برای بادام و 520/3 درصد و 14/34 میلی‌متر برای مغز بود. میانگین وزن بادام 4/9 گرم و برای مغز آن 1/36 گرم بود. میانگین سطح رویه بادام 1767/16 میلی‌متر مربع و برای مغز آن 652/7 میلی‌متر مربع بود. رابطه تغییرات بازآپوشی مغز بادام با زمان به صورت  $MC_t = 17.34 \ln(t) + 14.27$  بود. ضریب اصطکاک استاتیک بادام روی لاستیک بیشترین و برای شیشه کمترین بود. ضریب اصطکاک استاتیک مغز بادام روی برزنت بیشترین و برای آهن گالوانیزه کمترین مقدار بود. ضریب اصطکاک استاتیکی بادام و مغز آن با افزایش رطوبت افزایش یافت. نیروی شکست بادام در بارگذاری در جهت محور طولی بیشتر از بارگذاری در جهت عرضی (Y) و بیشتر از بارگذاری در جهت محور ضخامت (Z) بود.

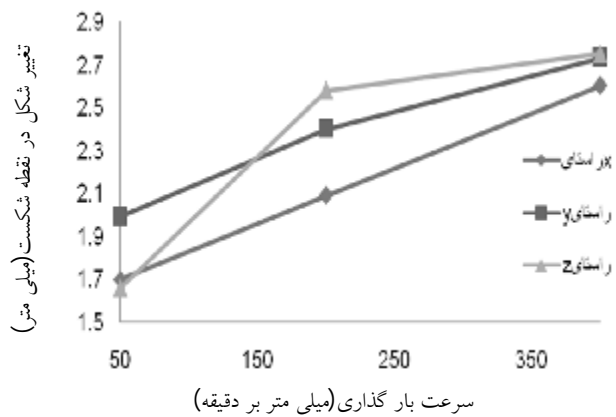
#### 5- منابع

1- بی‌نام، آمارنامه کشاورزی در سال زراعی 1389. انتشارات سازمان جهاد کشاورزی استان چهار محال و بختیاری.



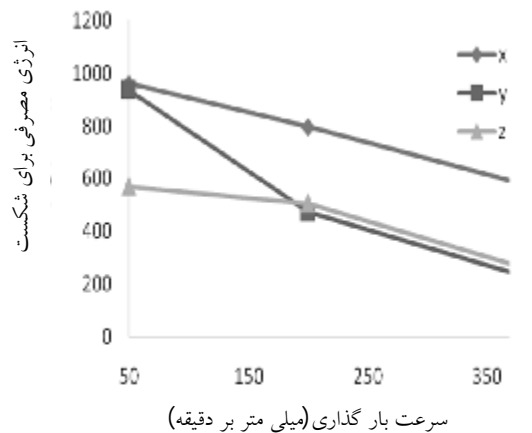
سرعت بار گذاری (میلی متر بر دقیقه)

شکل 3- تاثیر سرعت بارگذاری و جهت بارگذاری بر نیروی شکست بادام رقم مامایی



سرعت بار گذاری (میلی متر بر دقیقه)

شکل 4- تاثیر سرعت بارگذاری و جهت بارگذاری بر تغییر شکل بادام رقم مامایی



سرعت بار گذاری (میلی متر بر دقیقه)

شکل 5- تاثیر سرعت بارگذاری و جهت بارگذاری بر انرژی مصرفی برای شکست بادام رقم مامایی

2- خزائی، ج. 1382. تعیین نیروی چیدن غلاف نخود و مقاومت مکانیکی آن به کوبیدن. رساله دکتری مکانیک ماشین-های کشاورزی. دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران.

3-Ahmadi, H., Fathollahizadeh, H. and MObli, H. 2008. Some Physical and Mechanical Properties of Apricot Fruits, Pits and kernels (cv. tabarzeh). *American e. Journal Agric. & Environ.* 3(5):703-707.

4- Aydin, C.2003. Physical properties of Almond nut and kernel. *Journal of Food Engineering*, 60: 315-320 .

5- Aydin, C. 2002. Physical properties of Hazel nuts. *Bio - Systems Engineering*, 82: 297-303.

6- Arslans, M. and vursavus, K. 2006. Determination of Some Necessary Physical and mechanical properties to design of an Almond process equipment. *J. Agric. Machinery SCI.* 2(3): 245-255.

7- Broghei, A.M., khazaei, j. and tavakoli, t. 2000. Design, construction and testing of walnut cracker. International conference on agricultural engineering, university of Warwick, UK. July 2-7, 2000. Paper no: 00-ph -029.

8- Kashaninejad, M., Mortazavi, A., Safekordi, A., & Tabil, L. G. 2006. Some physical properties of pistachio (*Pistacia vera L.*) nut and its kernel. *Journal of Food Engineering*, 72, 30-38.

9- Khazaei, J., Rasekh, M. and Borghei A.M. 2002. Physical and Mechanical Properties of Almond and Its Kernel Related To Cracking and Peeling. Proceedings of ASAE Annual International Meeting. Chicago, Illinois, USA.

10- Mohsenin N. N. 1986. Physical properties of plant and animal materials. New York: Gordon & Breach Science Publishers.

11- Turkan, A., Polat, R. and Atay, U. 2007. Comparison of mechanical properties of some select almond cultivars with hard and soft shell under compression loading. *Journal of Food Engineering*. 30, 733-789.