DOI: 10.22059/ijbse.2018.233572.664946 مهندسی بیوسیستم ایران، دوره ۴۹، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۷ (ص ۵۵۶-۵۴۷)

Design and Development of an Almond Kernel Sizing Unit Using Visual Sizing Function and Biomechanical Properties

DAVOUD GHANBARIAN[1*], ALI GHORBANI[2]

1. Associate Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
2. MSc of Mechanical Engineering of Biosystems, Office of Agricultural Mechanized Technologies, Organization of Chaharmahal and Bakhtiari Province, Shahrekord, Iran

(Received: Dec. 13, 2017- Revised: May. 14, 2018- Accepted: June. 20, 2018)

ABSTRACT

The most important part of the agricultural products sizing machines, is sizing unit. The main purpose of this research was to determination some engineering properties of almond kernel and design and manufacturing of sizing unit for use in a sizing machine. To choose the best sizing mechanism, the concept of visual sizing parameter function was used. The results showed that the thickness and length dimensions, with coefficients of 0.647 and 0.353 respectively, play the most important role in the sizing of almond kernels. In addition, statistical studies showed that the thickness dimension, in terms of having the lowest dispersion and standard deviation of data, is also the best dimension to design the device. To determine design parameters, some physical and mechanical properties of three varieties of almond kernel namely Sefid, Sangi and Mamaei, at three moisture levels (3, 9 and 15%), on three surface textures including polished steel, Teflon and wood were evaluated. The results showed that with increasing levels of humidity, the friction coefficient in all three varieties and on all three surface textures, showing an increasing trend while the force needed to break almond kernels showing a decreasing trend. Based on the obtained results, sizing unit using a pair of diverging polished steel rollers, was chosen as the best option and after determination of other attributes such as appropriate length and diameter for rollers, was used in special device for sizing almond kernels.

Keywords: **Grading**, sorting, dimensional properties, almond, diverging roller

* Corresponding Author's Email: Dghanbarian@yahoo.com

طراحی و ساخت واحد اندازه‌بند مغزبادام با استفاده از تابع اندازه‌بندی چشمی و خواص بیومکانیکی

داود قنبریان[1*]، علی قربانی[2]

۱. دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

۲. کارشناس ارشد مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، اداره فنآوری های مکانیزه، سازمان جهاد کشاورزی استان چهارمحال و بختیاری، شهرکرد، ایران

(تاریخ دریافت: ۲۲/ ۹/ ۱۳۹۶- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۲/۲۴- تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۳/۳۰)

چکیده

مهم‌ترین بخش در ماشین‌های اندازه‌بندی محصولات کشاورزی، واحد اندازه‌بندی آن‌ها است. هدف اصلی این تحقیق، تعیین برخی خواص مهندسی مغزبادام و طراحی و ساخت واحد اندازه‌بند برای استفاده در یک ماشین اندازه‌بندی بود. برای انتخاب بهترین مکانیزم اندازه‌بندی از مفهوم تابع پارامتر اندازه‌بندی چشمی استفاده شد. نتایج نشان داد که ابعاد ضخامت و طول با ضرایب به ترتیب ۰/۶۴۷ و ۰/۳۵۳ مهم‌ترین نقش را در اندازه‌بندی مغزبادام‌ها ایفا می‌کنند. به‌علاوه مطالعات آماری نشان داد که بعد ضخامت به لحاظ دارا بودن کم‌ترین مقدار پراکندگی و انحراف معیار داده‌ها نیز بهترین بعد برای طراحی دستگاه موردنظر محسوب می‌شود. برای تعیین پارامترهای طراحی، برخی از خواص فیزیکی و مکانیکی سه رقم مغزبادام به نام‌های سفید، سنگی و مامایی، در سه سطح رطوبت (۳، ۹ و ۱۵ درصد)، بر روی سه جنس سطح فولاد پرداخت‌شده، تفلون و چوب مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از آزمایش‌ها نشان داد که با افزایش سطح رطوبت، ضریب اصطکاک در هر سه رقم و روی تمام سطوح مورد آزمایش، روندی افزایشی و نیروی لازم برای شکست مغزبادام روندی کاهشی را طی می‌کند. بر اساس نتایج به دست آمده، واحد اندازه‌بندی با استفاده از یک جفت غلتک واگرا از جنس فولاد پرداخت‌شده، به عنوان بهترین گزینه انتخاب و پس از تعیین سایر ویژگی‌ها از جمله طول و قطر مناسب برای غلتک‌ها در یک دستگاه مخصوص برای درجه‌بندی مغزبادام مورد استفاده قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: درجه‌بندی، سورتینگ، ویژگی‌های ابعادی، بادام، غلتکی واگرا

مقدمه

بادام درختی با نام علمی (*Prunus amygdalus*) یکی از شاخص‌ترین محصولات تولیدی کشاورزی ایران است. به روایت آمار و گزارش‌های سالانه سازمان خواروبار جهانی، ایران سومین تولیدکننده عمده این محصول پس از امریکا و اسپانیا در جهان است (FAO, 2010). استان چهارمحال و بختیاری با سطح زیر کشت ۱۶۳۲۰ هکتار و میزان تولید حدود ۲۲۲۰۰ تن در سال به عنوان یکی از قطب‌های اصلی تولید بادام کشور محسوب می‌شود (Iran's Agricultural Statistics, 2011). ارقام اصلی کاشته شده در این استان شامل ارقام مامایی، سنگی و سفید است که بخش مهمی از تولید آن به کشورهای مختلف جهان صادر می‌شود. مغزبادام، پیش از بسته‌بندی بایستی به‌طور صحیحی از نظر اندازه درجه‌بندی شود. به‌طور کلی از عمده دستگاه‌هایی که برای اندازه‌بندی محصولات مختلف کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند می‌توان به اندازه بندهایی با مکانیزم استوانه دوار، تسمه و تخته، گریفا، غلتکی، ارتعاشی، تسمه واگرا و غیره اشاره نمود (Kolchin, 1982; Peleg, 1985; Ghanbarian *et al*., 2008).

مطالعات میدانی انجام‌شده در کارگاه‌های تولید و بسته‌بندی مغزبادام در استان چهارمحال و بختیاری و سایر استان‌های بادام خیز کشور مانند همدان و فارس، نشان می‌دهد که بخش عمده مغز بادامی که برای مصرف در داخل کشور تولید می‌شود اصولا بدون اندازه‌بندی مورد مصرف قرار گرفته و بخشی نیز که برای صادرات در نظر گرفته می‌شود به وسیله دستگاه‌های ارتعاشی مجهز به الک‌های مشبک مورد اندازه‌بندی قرار می‌گیرد (شکل ۱). قیمت اولیه بالا، حجم زیاد، تولید سروصدا، دقت متوسط و مصرف بالای انرژی از مشکلات مربوط به این دستگاه‌ها محسوب می‌شود. لذا ضرورت طراحی و ساخت دستگاهی جدید که بر مبنای اصول و مفاهیم علمی مربوط به مفاهیم اندازه‌بندی بتواند بر مشکلات مربوط به اندازه‌بندی مغزبادام غلبه کند کاملا احساس می‌شود. قسمت اصلی هر دستگاه اندازه‌بندی "واحد اندازه‌بندی" است که برای طراحی و ساخت آن، انتخاب مکانیسم مناسب و تعیین ویژگی‌های

*نویسنده مسئول: Dghanbarian@yahoo.com

مهندسی از جمله ابعاد و جنس بخش‌های تشکیل دهنده ضروری است.

به‌طور کلی برای طراحی و ساخت و یا بهینه‌سازی ماشین‌های فرآوری هر یک از محصولات کشاورزی شناخت کافی از خواص فیزیکی و مکانیکی محصول موردنظر ضروری است. با این حال مرور تحقیقات انجام شده و بررسی‌های میدانی نشان می‌دهد علی‌رغم پژوهش‌های متعددی که طی سال‌های اخیر برای تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی انجام شده است عملا تولیدکنندگان داخلی تجهیزات و ماشین‌های درجه‌بندی محصولات کشاورزی از نتایج این تحقیقات بهره چندانی نمی‌برند. علت این موضوع را می‌توان از یک طرف در رویکرد غیرعلمی تولیدکنندگان برای طراحی و ساخت تجهیزات و از طرف دیگر در رویکرد گاهاً غیرکاربردی تحقیقات انجام شده دانست.

خواص فیزیکی یک رقم بادام درختی و مغز آن شامل خصوصیات هندسی، ثقلی، اصطکاکی و نیز سرعت حد دانه به عنوان تابعی از محتوی رطوبت بررسی گردید. نتایج نشان داد که با افزایش محتوی رطوبت، نیروی شکست دانه بادام کاهش می‌یابد (Aydin, 2003).

شکل ۱. اندازه‌بند ارتعاشی مغزبادام

در پژوهش دیگری بررسی تأثیر سرعت بارگذاری، اندازه بادام و جهت بارگذاری بر نیرو، انرژی و توان مورد نیاز برای شکستن بادام درختی رقم تگزاس نشان داد که اندازه بادام و جهت بارگذاری، تأثیر معناداری بر نیرو، انرژی و توان لازم برای شکست بادام دارد (Khazaei *et al.*, 2002).

بررسی خواص مکانیکی چند نوع بادام تحت اثر سرعت و محورهای مختلف بارگذاری نشان داد که بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین نیروی شکست، در همه رقم‌ها، به ترتیب در راستای طول و پهنای بادام‌ها اتفاق می‌افتد. نتایج هم‌چنین نشان داد که خواص مکانیکی، تا حد قابل توجهی وابسته به خواص فیزیکی و مکانیکی ارقام مختلف است (Altuntas *et al.*, 2010). در مطالعه دیگری بررسی خواص فیزیکی دو رقم بادام و مغز آن‌ها نشان داد که با افزایش رطوبت، ضریب اصطکاک استاتیکی افزایش می‌یابد. همچنین نتیجه این مطالعه نشان داد که جنس سطوح مختلف تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک‌درصد بر روی ضریب اصطکاک بادام دارد (Mohammadi, 2009).

مرور تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد با وجود تلاش‌های ذکر شده متأسفانه هنوز تحقیق جامعی به صورت ویژه و با رویکرد انتخاب و طراحی بهترین مکانیسم برای واحد اندازه‌بندی مغزبادام گزارش نشده است. لذا هدف اصلی از این تحقیق عبارت است از طراحی و ساخت "واحد اندازه‌بند" مناسب برای استفاده در ماشین اندازه‌بندی مغزبادام.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از سه رقم بادام سفید، مامایی و سنگی که از باغ‌های منطقه سامان واقع در استان چهارمحال و بختیاری تهیه شده بودند استفاده شد (شکل ۲). نمونه‌های مورد آزمایش به صورت تصادفی از چندین درخت کاشته شده در یک باغ برداشت شده و پس از جدا کردن پوست سبز از نمونه‌ها و خشک کردن آن‌ها به مدت یک هفته زیر نور آفتاب، پوست چوبی آن‌ها با استفاده از چکش، شکسته شده و سپس مغزهای سالم به صورت دستی از پوست چوبی و مواد خارجی جدا شدند.

شکل ۲. ارقام مغزبادام مورد استفاده

در بخش اول آزمایش‌ها با توجه به این‌که هدف اصلی از اندازه‌بندی مغزبادام افزایش بازارپسندی آن است برای تعیین مکانیسم مناسب برای اندازه‌بندی، از مفهوم تابع اندازه‌بند چشمی معرفی شده توسط Peleg (1985) استفاده شد. برای انجام این بخش، نخست تعداد ۱۰۰ عدد مغزبادام از رقم سنگی شماره‌گذاری شده و سه بعد اصلی آن‌ها که شامل طول (L) ، عرض (W) و ضخامت (T) مغزبادام‌ها بود اندازه‌گیری شد. سپس

این نمونه‌ها برای اندازه‌بندی چشمی در اختیار کارگران خبره محلی قرار گرفتند و از آن‌ها خواسته شد تا نمونه‌ها را با بالاترین دقت به سه دسته ریز، متوسط و درشت طبقه‌بندی کنند. سپس مختصات ابعادی نمونه‌ها در سه نمودار دو بعدی L-W، L-T و T-W رسم شدند. با توجه به هدف تحقیق که دسته‌بندی مغزبادام‌ها به سه دسته بود در هر نمودار دو خط که قابلیت بیشترین جداسازی را دارا بودند رسم شدند. خطوط جداسازی در هر نمودار به صورت دستی و با دقت به‌گونه‌ای رسم شدند که دسته‌های موردنظر را به خوبی از هم جدا کنند. هنگام رسم هر یک از خطوط جداساز تلاش شد تعداد مغزهایی که به‌طور نادرست در دو طرف آن قرار می‌گیرند برابر باشد. معادله کلی این خطوط طبق رابطه (۱) تعیین شد (Peleg, 1985):

$$P = \alpha X + \beta Y \quad \text{(رابطه ۱)}$$

که در آن X و Y دو بعد از ابعاد سه‌گانه نمونه‌ها هستند. α و β نیز ضرایبی هستند که نشان دهنده میزان اهمیت هر یک از بعدهای موردنظر هستند و از روابط (۲) و (۳) محاسبه می‌شوند (Peleg, 1985) :

$$\alpha = \frac{1}{1+|tan\,\theta|} \quad \text{(رابطه۲)}$$

$$\beta = \frac{|\tan\theta|}{1+|\tan\theta|} \quad \text{(رابطه ۳)}$$

در روابط شماره (۲) و (۳) ، θ، زاویه تمایل متوسط بین خطوط جداساز هر دسته و محور افقی است.

در بخش دوم آزمایش‌ها تعداد ۱۰۰ عدد مغزبادام از هر رقم شماره‌گذاری و به منظور تعیین رطوبت اولیه مغزها از روش آون (قرار دادن در آون به مدت ۲۴ ساعت تحت دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد) استفاده گردید (Aydin, 2003). با توجه به تحقیقات انجام شده قبلی و نیز شرایطی که در عمل مغزبادام‌ها مورد اندازه‌بندی قرار می‌گیرند، سه سطح رطوبتی ۳، ۹ و ۱۵ درصد برای انجام آزمایش‌ها در نظر گرفته شد. برای اندازه‌گیری رطوبت اولیه، از هر واریته به‌طور تصادفی ده عدد انتخاب و در ابتدا وزن اولیه هر گروه از نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت درون آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. پس از آن نمونه‌ها از آون خارج شده و دوباره توزین شدند. در نهایت با قرار دادن این مقادیر در رابطه (۴) میزان رطوبت بر پایه خشک آن‌ها به دست آمد (Aydin, 2003):

$$M_d = \frac{W_W}{W_d} \times 100 \quad \text{(رابطه ۴)}$$

که در آن: W_W وزن آب موجود در نمونه [کیلوگرم]، و W_d وزن ماده خشک موجود در نمونه [کیلوگرم] هستند. به این ترتیب میانگین رطوبت ارقام سفید، مامائی و سنگی به ترتیب ۲/۵۵، ۳/۱۲ و ۲/۸۴ درصد بر پایه وزن خشک تعیین شد.

برای رسیدن به سطوح رطوبتی انتخاب شده مقدار معینی آب مقطر از رابطه (۵) محاسبه و پس از قرار دادن نمونه‌ها در ظروف دربسته پلاستیکی به آن‌ها اضافه شد. سپس نمونه‌ها به مدت هفت روز در یخچال با دمای ۵ درجه سانتی‌گراد نگه‌داری شدند (Sacilik *et al.*, 2003; Bart-Plange & Baryeh, 2003).

$$W_a = \frac{W_i(M_f - M_i)}{100 - M_f} \quad \text{(رابطه ۵)}$$

در رابطه (۵): W_a وزن آب اضافه شده [کیلوگرم] ، M_i مقدار رطوبت اولیه نمونه [بر پایه درصد وزن ماده خشک] ، W_i وزن اولیه نمونه [کیلوگرم] و M_f رطوبت موردنظر [بر پایه درصد وزن ماده خشک] می‌باشند.

ابعاد ظاهری مغزها شامل طول، عرض و ضخامت با استفاده از یک کولیس دیجیتال با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد و سپس قطر متوسط حسابی (De)، قطر متوسط هندسی (Dg)، ضریب کرویت (Φ) و مساحت رویه آن‌ها (S) محاسبه گردید (Mohsenin, 1986; Stroshine & Hamann 1995).

با در نظر گرفتن اهداف پژوهش و به منظور انتخاب بهترین جنسی که بتواند به عنوان سطح اندازه‌بندی در ساخت دستگاه مورد استفاده قرار بگیرد، آزمایش‌ها مربوط به تعیین ضریب اصطکاک روی سه سطح تفلون، فولاد پرداخت‌شده و چوب چنار انجام شد.

با توجه به این‌که در برخی از دستگاه‌های اندازه‌بندی، محصول به هنگام عبور از گذرگاه اندازه‌بندی ممکن است در معرض بارگذاری فشاری قرار گرفته و به این ترتیب دچار شکست و صدمات مکانیکی گردد خواص مکانیکی بادام‌ها در بارگذاری فشاری توسط سطوح انتخابی، مورد مطالعه قرار گرفت. برای این منظور از دستگاه آزمون فشار و کشش *اینسترون سَنتام*[1] (STM_20) با لودسل ۲۰ کیلوگرمی استفاده شد. به منظور بررسی اثر جنس سطح‌های مورد استفاده در این تحقیق بر خواص مکانیکی مغزها، دو قطعه رابط از جنس سطح‌های موردنظر به فک‌های دستگاه متصل و نمونه‌ها بین این دو قطعه تحت فشار قرار می‌گرفتند. آزمون‌ها بدین طریق صورت می‌گرفت که هر نمونه در وضعیت استقرار خود، زیر فک‌های دستگاه که با سرعت ثابت ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه به هم فشرده می‌شدند قرار می‌گرفت و بارگذاری تا زمانی ادامه می‌یافت که اولین ترک در مغزبادام مشاهده گردد (Borges & Peleg, 1997; Khazaei *et al.*, 2003). برای هر نمونه، هم‌زمان

1. Santam

با عملیات بارگذاری، نمودار نیرو – تغییر شکل توسط دستگاه ترسیم و داده‌های مستخرج از دستگاه در نرم‌افزار *Microsoft Excel 2010* ذخیره و سپس توسط نرم‌افزار آماری *SPSS 18* مورد تحلیل قرار گرفتند.

نتایج و بحث

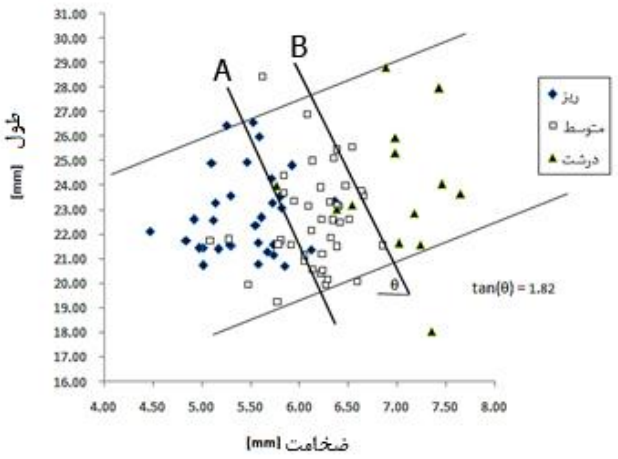
الف) تابع پارامتر اندازه‌بندی چشمی

نتایج به دست آمده از اندازه‌بندی چشمی مغزبادام‌ها توسط کارگران خبره محلی نشان داد که در نمودار مربوط به طول- ضخامت، بهترین قابلیت جداسازی وجود داشته است. بنابراین بدلیل اینکه کارگران خبره محلی هنگام اندازه بندی، به بعد عرض توجهی نکرده اند تنها نمودار قابل استفاده نمودار ضخامت- طول بوده است. لذا تابع اندازه‌بندی چشمی بر مبنای این دو بعد شکل گرفت. همان‌طور که از شکل (۳) مشخص است، تانژانت زاویه مربوط به خطوطِ A و B تفکیک کننده دسته‌ها از یکدیگر برابر ۱/۸۲ شده است. لذا طبق روابط (۲) و (۳) ، α=0.353 و β=0.647 .

بنابراین تابع اندازه‌بندی چشمی مربوط به مغزبادام‌ها طبق رابطه (۶) تعیین شد:

$$P = 0.353\,L + 0.647\,T \qquad \text{(رابطه ۶)}$$

به این ترتیب و همان‌طور که از تابع اندازه‌بندی چشمی به دست آمده ملاحظه می‌شود، اهمیت بعد ضخامت (T) بیشتر از اهمیت طول (L) و تقریبا دو برابر آن است.



شکل ۳. نمودار تابع اندازه‌بند چشمی برای مغزبادام

ب) ویژگی‌های ابعادی

جدول (۱) میانگین و انحراف معیار داده‌های مربوط به خواص هندسی سه رقم مغزبادام مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در میان سه رقم مغزبادام مورد مطالعه، از نظر اندازه، مغزبادام رقم مامایی درشت‌تر از رقم سنگی و آن هم درشت‌تر از رقم سفید است.

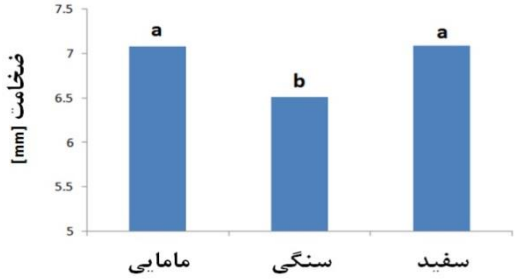
جدول ۱. میانگین و انحراف معیار خواص هندسی مغز بادام‌های ارقام سفید، مامایی و سنگی

	رقم		
	مامایی	سفید	سنگی
مشخصه فیزیکی	میانگین	میانگین	میانگین
طول (mm)	۲۴/۰۲± ۲/۶۳[a]	۲۰/۷۵± ۱/۶۸ [b]	۲۱/۴۲± ۲/۲۹[b]
عرض (mm)	۱۲/۰۸± ۱/۰۴[a]	۱۰/۶۷± ۰/۹۰[b]	۱۲/۳۶± ۱/۱۸[a]
ضخامت (mm)	۶/۸۷± ۰/۸۴[a]	۶/۹۱± ۰/۶۹[a]	۶/۶۳± ۰/۷۵[b]
قطر متوسط هندسی (mm)	۱۲/۵۷± ۱/۰۰[a]	۱۱/۵۰± ۰/۸۳[c]	۱۲/۰۳± ۰/۸۴[b]
قطر متوسط حسابی (mm)	۱۴/۳۴± ۱/۲۲[a]	۱۲/۷۸± ۰/۹۲[c]	۱۳/۴۷± ۱/۰۷[b]
ضریب کرویت (٪)	۵۲/۴۹± ۳/۴۱[c]	۵۵/۵۶± ۲/۸۰[b]	۵۶/۴۲± ۳/۳۰[a]
مساحت رویه (mm^2)	۴۹۹± ۷۸/۶۳۷[a]	۴۱۷± ۵۹/۷۰[c]	۴۵۶± ۶۳/۴۸[b]

*** درج حروف غیرمشابه در هر سطر، بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک‌درصد است.**

با ملاحظه مقادیر میانگین انحراف معیار برای سه پارامتر طول، عرض (پهنا) و ضخامت مغزبادام‌ها در جدول (۱)، به وضوح مشخص است که برای هر سه واریته مورد آزمایش مقادیر انحراف معیار ضخامت، کمترین مقدار را در میان انحراف معیارهای سه بعد اصلی نمونه‌ها دارد. از نظر میزان کرویت، مغزبادام رقم سنگی با ۵۶/۴۲٪ و مغزبادام‌های رقم سفید و مامایی با ۵۵/۵۶٪ و ۵۲/۴۹٪ به ترتیب کروی‌ترین مغزبادام‌های مورد مطالعه در این تحقیق هستند. بنابراین حتی در مورد مغزبادام‌های رقم سنگی که در بین سه رقم مورد آزمایش بیشترین کرویت را دارند نیز عدم پایداری ناشی از کرویت یا به عبارت دیگر تمایل به غلتش نمونه‌ها بر روی سطح اندازه‌بندی اندک خواهد بود. شکل (۴) نمودار ستونی و معنی‌داری اثر رقم بر میانگین ضخامت‌های سه رقم مغزبادام را در سطح احتمال یک‌درصد نشان می‌دهد. طبق نمودار، دو رقم مامایی و سفید از

نظر ضخامت، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک‌درصد با هم ندارند در حالی که مغزبادام رقم سنگی با دو رقم دیگر، دارای اختلاف ضخامت معنی‌داری در سطح احتمال یک‌درصد است.



شکل ۴. نتایج مقایسه میانگین ضخامت سه رقم مغزبادام

ج) خواص فیزیکی و مکانیکی

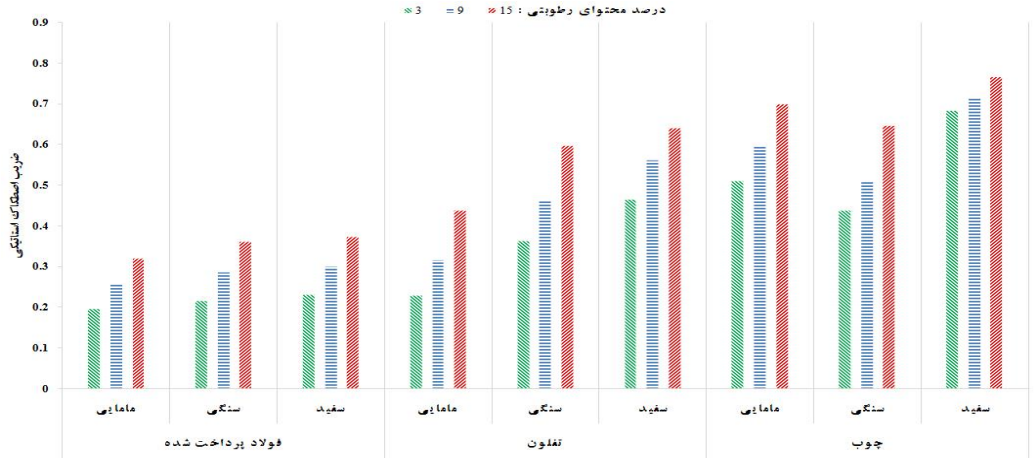
جدول (۲) نتایج تجزیه واریانس فاکتورهای رقم، رطوبت و جنس سطح را بر ضریب اصطکاک استاتیکی و نیروی شکست حاصل از بارگذاری فشاری نمونه‌ها نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود اثر هر سه عامل مورد بررسی بر ضریب اصطکاک استاتیکی و نیروی شکست در سطح یک‌درصد معنی‌دار بوده است. ضمنا اثر متقابل رقم و جنس سطح نیز بر متغیرهای مورد بررسی در سطح یک‌درصد تاثیر معنی‌دار داشته است.

شکل (۵) تغییرات ضریب اصطکاک استاتیکی واریته‌های مورد بررسی را در محتواهای رطوبتی و برای جنس سطوح مورد آزمایش نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود مغزبادام رقم سفید بیشترین ضریب اصطکاک استاتیکی را در میان ارقام مورد مطالعه دارد. بیشترین مقدار این ضریب مربوط به سطح چوبی است که با افزایش رطوبت از ۰/۶۸ تا ۰/۷۷ افزایش یافته است. علت این امر را می‌توان به زبر تر بودن سطح مغزبادام سفید در مقایسه با دو رقم دیگر نسبت داد. همچنین مغزبادام رقم مامایی به‌جز در سطح چوبی که ضریب اصطکاکی بین سفید و سنگی دارد، در بقیه سطوح مورد آزمایش (تفلون و فولاد پرداخت‌شده) کمترین ضریب اصطکاک را دارا است که کمترین مقادیر آن مربوط به سطح فولاد پرداخت‌شده و بین ۰/۲ تا ۰/۳۲ بوده است. هم‌چنین از شکل (۵) ملاحظه می‌شود که کمترین ضرایب اصطکاک برای هر سه رقم مغزبادام متعلق به سطح فولادی بوده است. از طرفی همان‌طور که شکل (۶) نشان می‌دهد ضرایب اصطکاک هر سه رقم مورد آزمایش فقط بر روی سطح فولادی از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در سطح یک‌درصد ندارند.

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس فاکتورهای مختلف بر ضریب اصطکاک استاتیکی و نیروی شکست حاصل از بارگذاری فشاری مغزبادام ارقام سنگی، سفید و مامایی

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات (M.S.) ضریب اصطکاک استاتیکی	میانگین مربعات (M.S.) نیروی شکست [N]
رقم	۲	۰/۳۷۴**	۲۸۰۷۰/۰۲۴**
رطوبت	۲	۰/۵۷۳**	۲۰۱۵۲۹/۰۰۳**
جنس سطح	۲	۲/۲۹۱**	۳۹۰۲۱/۴۰۱**
رقم × رطوبت	۴	۰/۰۰۷ns	۱۱۵۲/۱۲۵**
رقم × جنس سطح	۴	۰/۱۲۹**	۴۴۵۹/۱۴۵**
رطوبت × جنس سطح	۴	۰/۰۰۹ ns	۱۵۸۳/۷۶۳**
رقم × رطوبت × جنس سطح	۸	۰/۰۰۳ ns	۲۸۶/۸۵۸ ns
خطا	۲۱۶		

** معنی‌داری در سطح احتمال یک‌درصد ns عدم وجود اختلاف معنی‌دار



شکل ۵. تغییرات ضریب اصطکاک سه واریته مغزبادام بر روی سه جنس سطح مورد بررسی در سه محتوای رطوبتی

شکل ۶. نمودارهای نتایج مقایسه میانگین ضریب اصطکاک استاتیکی سه رقم مغزبادام بر روی سه جنس سطح فولاد، تفلون و چوب

در شکل شماره (۷) منحنی‌های مقایسه حداکثر نیروی لازم برای شکست سه رقم مغزبادام برای سطح رطوبت‌های مختلف (۳، ۹ و ۱۵ درصد) آورده شده است. همان‌طور که از شکل (۷) ملاحظه می‌شود، بیشینه نیروی لازم برای شکست مغزبادام‌ها، در هر سه رقم مامایی، سنگی و سفید، با افزایش سطح رطوبت از ۳ تا ۱۵ درصد، روندی کاهشی را طی می‌کند که علت آن را می‌توان به نرم‌تر شدن بافت مغزها در اثر افزایش رطوبت نسبت داد. این نتیجه قبلا نیز در پژوهش‌های مرتبط گزارش شده است (Aydin, 2003) .

شکل ۷. مقایسه میانگین نیروی لازم برای شکست رقم مغزبادام بر حسب جنس سطح و درصد رطوبت نمونه‌ها

از نظر بیشینه نیروی لازم برای شکست مغزها، مغزبادام رقم سنگی بیشترین و مغزبادام رقم سفید کمترین نیروی لازم برای شکست را تقریباً در هر سه جنس سطح مورد آزمایش دارا بوده‌اند. ضمن این‌که از نظر جنس سطح، بیشینه نیروی شکست برای هر سه رقم، در سطحی از جنس چوب بیشتر از سطح تفلونی و آن هم بیشتر از سطح فولاد پرداخت‌شده بوده است. علت این موضوع را می‌توان در کمتر بودن مدول الاستیسیته سطوح چوبی در مقایسه با سطوح تفلونی و فولادی دانست. به هر حال با مشاهده منحنی‌های نیروی لازم برای شکستن مغزبادام‌ها، به نظر می‌رسد که از دیدگاه طراحی دستگاه اندازه‌بند بهتر است مغزها را در سطح رطوبت‌های پایین‌تر درجه‌بندی کرد. زیرا در این حالت مغزها بیشترین مقاومت را در برابر شکسته شدن از خود نشان می‌دهند و صدمات مکانیکی محصول کمترین مقدار را خواهد داشت.

د) انتخاب نوع "واحد اندازه‌بندی"

تابع اندازه‌بندی چشمی به دست آمده برای مغزبادام P=0.353L+0.647T نشان دهنده اهمیت بیشتر ضخامت مغزبادام در مقایسه با طول آن است. از طرف دیگر نتایج تحلیل داده‌های بدست آمده برای سه واریته مغزبادام استفاده شده برای این تحقیق نشان می‌دهد که کمترین پراکندگی و انحراف معیار در میان داده‌های ثبت شده برای ابعاد اصلی مغزبادام، مربوط به بعد ضخامت آن است. کمتر بودن پراکندگی مغزبادام در مقایسه با دو بعد دیگر قبلا نیز توسط خزائی و همکاران گزارش شده است (Khazaei *et al*., 2002). لذا با توجه به این‌که واحد اندازه‌بند بایستی حتی‌المقدور با کمترین تنظیمات، قابلیت استفاده برای ارقام مختلف محصول را داشته باشد بعد ضخامت به عنوان معیار مناسب برای طراحی در نظر گرفته شد. چرا که استفاده از این پارامتر به عنوان مبنای طراحی دستگاه درجه بند مورد نظر موجب خواهد شد تا در انتقال از یک واریته به واریته دیگر ، به تنظیمات کمتری در مقایسه با دو بعد دیگر نیاز باشد.

بنابراین مکانیسم موردنظر بایستی به‌گونه‌ای طراحی شود

که بتواند از این ویژگی به‌طور کامل استفاده نماید. از میان انواع مختلف مکانیزم‌های موجود برای اندازه‌بندی، مکانیزم غلطک های واگرا کاملا بر مبنای ضخامت عمل می‌کند. در این مکانیزم، مغزبادام به هر شکل و از هر جهتی که وارد دستگاه شود، نهایتا در اثر شکل شیپوری بین دو غلتک مجاور و چرخش آن‌ها، طوری حالت می‌گیرد که اجباراً از طریق بعد ضخامت که کوچک‌ترین بعد آن است از گذرگاه اندازه‌بندی -فاصله بین غلطک‌ها- عبور می‌نماید. انتخاب جهت چرخش واگرا برای غلتک‌ها به این دلیل است که در این مکانیزم ضمن جلوگیری از خرد شدن و شکسته شدن مغزها در بین غلتک‌ها، به حرکت بیشتر مغزها روی سطوح اندازه‌بندی که همان سطح خارجی هر یک از دو غلتک موردنظر است کمک شده و به موقعیت گیری صحیح هر یک از مغزها در گذرگاه اندازه‌بندی منجر شود.

ه) انتخاب جنس غلتک‌ها و فاصله بین آن‌ها

با توجه به مکانیسم غلتکی انتخاب‌شده به عنوان سطح اندازه‌بندی، جنس غلتک‌ها و ضریب اصطکاک مغزبادام روی آن از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است. چنانچه جنس مورد استفاده ضریب اصطکاک زیادی با مغزبادام‌ها داشته باشد در اثر چرخش واگرای غلتک‌ها، محصول کاملا بر روی آن‌ها بالا آمده و از طرف دیگرشان خارج می‌شود. به عبارت دیگر مغزبادام‌ها اصولا از گذرگاه اندازه‌بندی که همان فاصله‌ی بین دو غلطک است عبور نخواهند کرد. در مقابل چنانچه جنس انتخابی برای غلتک‌ها به‌گونه‌ای باشد که ضریب اصطکاک بسیار پایینی با مغزبادام‌ها داشته باشد حرکت محصول بر روی سطح و گذرگاه اندازه‌بندی با مشکل روبرو شده و امکان موقعیت گیری‌های متفاوت در طول گذرگاه اندازه‌بندی که شرط مهم اندازه‌بندی است از آن‌ها سلب می‌شود. به عبارت دیگر لایه‌های متعددی از محصول بر روی یکدیگر قرار گرفته و بخش عمده‌ای از آن‌ها فرصت اندازه‌بندی پیدا نمی‌کنند. به این ترتیب گذرگاه اندازه‌بندی عملا مسدود خواهد شد. مراجعه به شکل (۵) نشان داد که در تمام سطوح رطوبتی مورد آزمایش و برای هر سه رقم بادام موردنظر ضریب اصطکاک مغزبادام‌ها بر روی سطح چوبی به‌طور قابل توجهی بالاتر از دو سطح دیگر است و همان‌طور که ذکر شد ساخت غلتک‌ها از این جنس عدم قرارگیری بادام‌ها در مسیر اندازه‌بندی را به همراه خواهد داشت. از طرف دیگر با توجه به شکل (۶) مشاهده می‌شود که بین ضرایب اصطکاک هر سه رقم مغزبادام مورد استفاده در این تحقیق بر روی سطح فولادی، اختلاف معنی‌داری در سطح یک‌درصد مشاهده نمی‌شود. اگرچه از نظر نیروی لازم برای شکست، استفاده از سطوح چوبی یا تفلونی برای ساخت غلتک‌ها کاهش صدمات مربوط به شکستگی را به همراه دارد ولی چون مکانیسم انتخابی از نوع غلطک‌های واگرا است اصولا بحث فشردگی محصول در این مکانیزم مورد توجه نخواهد بود. لذا در مجموع با توجه به قیمت مناسب، استحکام و دوام بیشتر، غلتک‌ها از جنس فولاد ساخته شدند. (شکل ۸).

در خصوص فاصله بین غلتک‌ها (گذرگاه اندازه‌بندی)، حالت ایده‌آل آن است که دستگاه برای اندازه‌بندی ارقام مختلف مغزبادام، نیازی به تنظیم فاصله بین غلتک‌ها نداشته باشد. اما همان‌طور که شکل شماره (۴) نشان می‌دهد بین ضخامت ارقام مختلف مغزبادام مورد آزمایش در این تحقیق (و احتمالا ارقام دیگر)، اختلاف معنی‌دار وجود دارد. یعنی نمی‌توان از یک گذرگاه اندازه‌بندی با فاصله معین برای اندازه‌بندی ارقام مختلف مغزبادام استفاده کرد. بنابراین در ساخت مکانیزم، فاصله‌ای به اندازه ۲۰ میلی‌متر برای تنظیم کردن فاصله میان غلتک‌ها در نظر گرفته شد. البته همان‌طور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود به دلیل عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک‌درصد بین ضخامت‌های ارقام سفید و مامائی، برای اندازه‌بندی این دو رقم، فاصله بین غلتک‌ها نیاز به تنظیم جداگانه نخواهد داشت.

شکل ۸. واحد اندازه‌بند ساخته شده و نحوه قرارگیری مغزبادام در گذرگاه اندازه‌بندی

و) تعیین طول و قطر مناسب برای غلتک‌ها

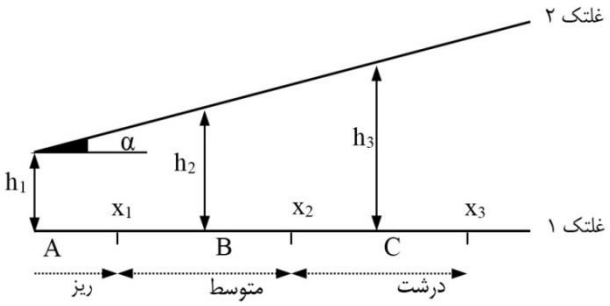
پارامتر مهم دیگری که در مورد غلتک‌ها وجود دارد، طول آن‌ها است. تعیین طول مورد نیاز، به هدف نهایی دستگاه در

اندازه‌بندی مغزبادام بستگی دارد. با مطالعات میدانی صورت گرفته مشخص شد که در استان‌های بادام خیز کشور مانند چهارمحال و بختیاری، فارس، همدان و آذربایجان شرقی، مغزبادام غالبا به سه درجه درشت، متوسط و ریز تقسیم‌بندی می‌شود. لذا واحد اندازه‌بندی باید توانائی دسته‌بندی بادام‌ها را به سه دسته داشته باشد. معیار انتخاب ریزی و درشتی مغزبادام‌ها با توجه به مباحثی که قبلا در مورد آن‌ها بحث شد، اندازه‌بندی چشمی یا چشمی است. تعیین طول غلتک‌ها عملا به معنای تعیین طول مسیر مورد نیاز برای اندازه‌بندی است که آن نیز به‌نوبه خود به محدوده ضخامت مغزبادام‌ها در هر دسته (فاصله گذرگاه اندازه‌بندی) بستگی دارد. لذا با توجه به این‌که گذرگاه اندازه‌بندی در مکانیزم غلتک‌های واگرای مدنظر این مطالعه، از نوع پیوسته است، برای تعیین طول غلتک‌ها در ابتدا بایستی طول محدوده مورد نیاز برای اندازه‌بندی هر دسته را محاسبه نمود. برای محاسبه طول غلتک‌ها از روشی که در شکل (۹) نشان داده شده استفاده شد (Jarimopas *et al.*, 2007). در این شکل غلتک‌ها با دو خط مستقیم که زاویه بین آن‌ها α است نشان داده شده اند. گذرگاه اندازه‌بندی آن‌چنان طراحی شد که فاصله گذرگاه؛ h_i $(i=1,2,3)$ ، در نقطه میانی هر دسته اندازه‌بندی، برابر با میانگین ضخامت آن دسته اندازه‌بندی باشد. طول تمام دسته‌های اندازه‌بندی یکسان در نظر گرفته شد. لذا طبق رابطه (۷) داریم:

$$\tan\alpha = \frac{h_2-h_1}{AB} = \frac{h_3-h_2}{BC} \quad \text{(رابطه ۷)}$$

و با در نظر داشتن این‌که AB+BC=AC ، آنگاه طول کلی غلتک طبق رابطه (۸) برابر خواهد شد با:

$$AC = \frac{h_2-h_1+h_3-h_2}{\tan\alpha} = \frac{h_3-h_1}{\tan\alpha} \quad \text{(رابطه ۸)}$$



شکل ۹. نحوه محاسبه طول غلتک‌ها

که در آن h_3 میانگین ضخامت دسته درشت وh_1 نیز میانگین ضخامت دسته مغزهای ریز است. از آنجایی که محدوده تغییرات بین میانگین‌های هر دو دسته مغز مجاور بسیار کم است، لذا طول محدوده جداسازی برای هر دسته بایستی به اندازه کافی طولانی باشد تا بتوان خطاهای جداسازی را کنترل کرده و از ورود مغزبادام‌ها به دسته‌های ناصحیح جلوگیری به عمل آورد. به همین منظور زاویه کوچکی به اندازه ۰/۲ درجه بین غلتک‌ها (α) انتخاب شد (Jarimopas *et al.*, 2007). بنابراین:

$$AC = \frac{7.74-5.98}{\tan 0.2} = 504\,mm \quad \text{(رابطه ۹)}$$

از طرفی این دستگاه اندازه‌بند از نوع سری است که در آن محصولات ریز و درشت به‌طور همزمان از ابتدای غلتک‌های اندازه‌بند وارد دستگاه شده و در ابتدا مغزبادام‌های ریز و در انتها مغزهای درشت‌تر با توجه به فاصله بین غلتک‌ها، از هم تفکیک می‌شوند. بنابراین در ورودی غلتک‌ها نوعی تجمع و اغتشاش محصول (ناشی از ریخته شدن مغزها از نازل ورودی به روی غلتک‌ها) وجود دارد که هرچه رو به جلو حرکت کنیم از این اغتشاشات و روی هم افتادگی مغزها کاسته می‌شود. پس اجباراً لازم است تا محدوده مورد نیاز دسته مغزهای ریزتر، نسبت به محدوده مورد نیاز مغزهای دو دسته دیگر، قدری طولانی‌تر باشد تا مغزها فرصت کافی را برای به آرامش رسیدن و قرار گرفتن در گذرگاه اندازه‌بندی پیدا کنند. به همین منظور علاوه بر طول کل محدوده جداسازی بین گروه‌ها (AC)، طولی به اندازه ۲۰۰ میلی‌متر نیز برای این قسمت در نظر گرفته شد. در مجموع با محاسبات صورت گرفته طول کلی غلتک‌ها ۷۰۰ میلی‌متر محاسبه شد.

پارامتر مهم دیگر قطر غلتک است. در خصوص قطر غلتک‌ها بایستی به این نکته توجه نمود که این قطر نباید از یک حد مشخصی که بستگی به نوع محصول دارد کمتر باشد زیرا در آن صورت فضای مابین غلتک‌ها به حدی نخواهد بود که مغزها بتوانند به‌راحتی روی آن قرار بگیرند و به دلیل وجود اصطکاک و چرخش واگرای غلتک‌ها، از کناره‌های غلتک‌ها فرو خواهند ریخت. ضمن این‌که کم بودن بیش‌ازحد قطر غلتک‌ها از ظرفیت کاری دستگاه نیز خواهد کاست. از طرفی در صورتی که این قطر بیش از حد مورد نیاز باشد، ضمن افزایش هزینه‌های ساخت دستگاه، به دلیل استفاده از جنس فولاد برای آن‌ها، وزن کلی دستگاه نیز سنگین خواهد شد. بنابراین قطر غلتک‌ها باید به‌اندازه‌ای باشد که ضمن ایجاد فضای کافی بین آن‌ها، از هزینه‌های اضافی و افزایش بی‌مورد وزن دستگاه نیز جلوگیری شود.با توجه به نکات فوق و اندازه لوله‌های استاندارد موجود در بازار، قطر ۹۵ میلی‌متر برای غلتک‌ها انتخاب گردید. حداکثر سرعت دورانی غلتک‌ها با توجه به آزمایش‌ها اولیه ۱۲۵ دور بر دقیقه در نظر گرفته شد زیرا در سرعت‌های بیش از این مقداری از بادام‌ها به خارج از دستگاه پرتاب می‌شدند.

نتیجه‌گیری کلی

بررسی‌های انجام شده در بازار فرآوری بادام نشان دهنده نیاز بازار به طراحی و ساخت دستگاه جدید برای اندازه‌بندی مغزبادام بود. پس از انجام آزمایش‌ها، تابع پارامتر اندازه‌بند چشمی محصول تعیین و نشان داد که برای اندازه‌بندی این محصول، ضخامت مغزبادام در مقایسه با دو بعد دیگر آن از اهمیت بیشتری برخوردار است. لذا با توجه به ملاحظات طراحی و در نظر گرفتن مشکلات دستگاه‌های موجود، طراحی و ساخت واحد اندازه‌بند مجهز به غلتک‌های واگرا در دستور کار قرار گرفت. نتایج آزمایش‌ها مربوط به خواص فیزیکی و مکانیکی محصول در سطوح مختلف رطوبتی و بر روی جنس سطح‌های مختلف نشان داد ساخت غلتک‌ها از جنس فولاد پرداخت‌شده بهترین گزینه خواهد بود. طبق محاسبات و بررسی‌های انجام شده غلتک‌ها با طول و قطر به ترتیب برابر ۷۰۰ و ۹۵ میلی‌متر و از جنس فولاد پرداخت‌شده ساخته و بر روی شاسی مناسب نصب شدند. تکمیل دستگاه، ارزیابی دقیق عملکرد و بهینه‌سازی آن برای تولید انبوه پیشنهاد می‌گردد.

REFERENCES

Altuntas, E., Gercekcioglu, R. & Kaya, C. (2010). Selected mechanical & geometric properties of different almond cultivars. *Journal of Food Properties*, 13, 282–293.

Aydin, C. (2003). Physical properties of almond nut and kernel. *Journal of Food Engineering*, 60, 315-320.

Bart-Plange, A. & Baryeh, E. (2003). The physical properties of category B cocoa beans. *Journal of Food Engineering*, 60, 219-227.

Borges, A. & Peleg, M. (1997). Effect of water activity on the mechanical properties of selected legumes and nuts. *Journal of the Sciences of Food and Agriculture*, 75, 463–471.

Food and Agriculture Organization. (2010). *Faostat. Crops Production*. Retrieved April, 14, 2010, from *http://www.faostat.fao.org*.

Ghanbarian, D., Kolchin, N.N., Hasan Beygi S.R. & Ebrahimi R. (2008). Design and development of a small potato-grading machine using capron net. *Journal of Food Process Engineering* 33, 1148–1158.

Islamic Republic of Iran Ministry of Agriculture. (2011). *Iran's Agricultural Statistics*. May 6, 2011, from *http://www.maj.ir/Portal*. (In Farsi)

Jarimopas, B., Toomsaengtong, S. & Inprasit, C. (2007). Design and testing of a mangosteen fruit sizing machine. *Journal of Food Engineering*, 79, 745–751.

Khazaei, J., Borghei, A.M. & Rasekh, M. (2003). Determination of some physical and mechanical properties of almonds. In: *Iranian journal of agriculture science*, 9 (3), 11-33. (In Farsi)

Khazaei, J., Rasekh, M. & Borghei, A.M. (2002). Physical and mechanical properties of almond and its kernel related to cracking and peeling. In: *Proceedings of ASAE Annual International Meeting*, 28-31 July, Chicago, Illinois, Usa.

Kolchin, N.N. (1982). Complex machine and implements for postharvest operations of potatoes and vegetables, *Machinestroienie, Moscow*.

Mohammadi Dehcheshmeh, A. (2009). Evaluation of physical and mechanical properties of almonds (Shahrood 12 & Mamaei Varieties). MS.c of Farm Machinery Thesis, *University of Shahrekord, Shahrekord*. (In Farsi)

Mohsenin, N. N. (1986). Physical properties of plant and animal materials (2nd Ed.). New York: *Gordon & Breach Science Publisher*

Peleg, K. (1985). Produce Handling, Packing and Distribution. Westport: *Avi Publishing Company, Inc*

Sacilik, K., Ozturk R. & Keskin, R. (2003). Some physical properties of hemp seed. *Biosystems Engineering*, 86 (2), 191–198.

Stroshine, R., Hamann, D. (1995). Physical properties of agricultural materials and food products. *Purdue University, West Lafayette, Indiana*.