

## ارزیابی کیفیت (خردشدگی) مغز حاصل از شکستن گردو تحت بار ضربه‌ای

خسرو محمدی قمرزگلی<sup>\*۱</sup> - حمیدرضا قاسم زاده<sup>۲</sup> - حسین نوید<sup>۳</sup> - محمد مقدم<sup>۴</sup> - حسین غفاری<sup>۵</sup>

تاریخ دریافت: ۹۱/۰۴/۱۱

تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۲/۲۲

### چکیده

در این پژوهش کیفیت (خردشدگی) مغز حاصل از شکستن گردو تحت بار ضربه‌ای مورد مطالعه قرار گرفت. به علت فقدان رقم مشخص گردو در ایران، آزمایش روی ژنوتیپ‌های موجود گردو انجام پذیرفت. به این منظور سه ژنوتیپ مختلف از گردوهای باغ‌های شهرستان آذرشهر انتخاب و از محصول تولیدی سال ۱۳۸۸ این ژنوتیپ‌ها استفاده شد. دستگاه آزمون ضربه برای انجام آزمایش‌ها طراحی و ساخته شد. آزمون ضربه به صورت فاکتوریل با پنج فاکتور در قالب طرح کاملاً تصادفی با پنج تکرار انجام پذیرفت. فاکتورهای ژنوتیپ، رطوبت، قطر متوسط هندسی، راستای اعمال نیرو در سه سطح و ارتفاع سقوط وزنه در پنج سطح در نظر گرفته شد و اثر این فاکتورها روی کیفیت مغز حاصل از شکستن گردو بررسی شد. ارزیابی شکستن گردو با استفاده از معیارهای تعریف شده انجام شد و کیفیت مغز استخراجی به دست آمد. افزایش محتوای رطوبتی، درصد مغزهای شکسته را کاهش و درصد مغزهای سالم و درجه کیفیت مغزهای شکسته را افزایش داد. با افزایش ارتفاع سقوط وزنه، درصد مغزهای شکسته افزایش یافت. در حالت کلی وقتی گردوها سه ساعت داخل آب خیسانده شدند و راستای بارگذاری عرضی (Y) و ارتفاع سقوط ۳۵ سانتی‌متری انتخاب شد، بهترین حالت از لحاظ کیفیت مغز به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی، شکستن گردو، ضربه، کیفیت مغز

### مقدمه

می‌باشد (Mohammadi, 2011). عوامل مختلفی بر فرآیند ترک‌دار کردن گردو و میزان خردشدگی مغز مؤثر است که شناسایی و مطالعه این عوامل برای طراحی دستگاه گردوشکن حائز اهمیت است. پژوهشگران گوناگون، اثر پارامترهای مختلف بر شکستن محصولات بر خوردار از پوسته سخت را بررسی کرده‌اند. تحقیقات نشان داده است که اندازه، شکل، ضخامت پوسته و بافت از مهمترین عوامل مؤثر بر شکستن پوسته و کیفیت مغز استخراجی در میوه‌های آجیلی دارای پوسته سخت محسوب می‌شوند (Xavier, 1992). خواص فیزیکی (قطر محوری و شعاعی، ضخامت پوسته، کرویت، وزن، حجم و چگالی) محصولات کشاورزی از پارامترهایی هستند که نقش مهمی در طراحی و ساخت تجهیزات و آنالیز رفتار محصول در طی انتقال، فرآوری و انبارمانی دارند (Fraser et al., 1978). در مطالعه‌ای کیفیت مغز حاصل از شکستن گردو به عنوان تابعی از قطر متوسط هندسی و ضخامت پوسته مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان دادند که با افزایش ضخامت پوسته تمایل کمی برای کاهش کیفیت مغز وجود داشته و با افزایش قطر متوسط هندسی، کیفیت مغز افزایش می‌یابد (Koyuncu et al., 2004). براگا و همکاران (۱۹۹۹) رفتار

براساس آمار سازمان خواروبار جهانی (FAO) در سال ۲۰۰۷، ایران با تولید ۱۷۰۰۰۰ تن گردو در جایگاه چهارم جهان قرار دارد. با توجه به آمارهای ارایه شده در سال‌های قبل، ایران همواره در زمره‌ی پنج کشور عمده تولید کننده گردوی جهان بوده است. با عنایت به سند چشم‌انداز ۲۰ ساله که در آن توجه ویژه‌ای به صادرات غیر نفتی از جمله محصولات کشاورزی شده است، انجام مطالعات در این زمینه حائز اهمیت می‌باشد. گردو دارای ارزش غذایی بالا از جمله فسفر زیاد قابل جذب است که این امر موجبات بازارپسندی در اروپا و آمریکا را فراهم آورده و صادر نمودن آن، درآمدهای ارزی را ارتقا می‌بخشد. علاوه بر این، عملیات پس از برداشت گردو نیز خود ایجاد اشتغال و جذب سرمایه را به دنبال دارد. یکی از مهمترین و حساس‌ترین مراحل پس از برداشت گردو، شکستن پوسته سخت آن برای استحصال مغز گردو است که این امر مستلزم طراحی و ساخت دستگاه گردوشکن

۱، ۲، ۳، ۴ و ۵- به ترتیب دانشجوی مقطع دکتری مکانیزاسیون، استاد، استادیار و مربی

گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تبریز

۴- استاد گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

(\*)- نویسنده مسئول: (Email: mohammadi.khosrow@gmail.com)

خواص فیزیکی و انرژی مورد نیاز برای ترک‌دار کردن گردوی آفریقایی<sup>۷</sup> در سطوح رطوبتی مختلف مورد مطالعه قرار گرفت. مقادیر انرژی مورد نیاز برای ترک‌دار کردن و حصول مغز با استفاده از دستگاه ساخته شده به دست آمد. نتایج نشان داد که انرژی شکستن کامل گردو با کاهش محتوای رطوبتی و افزایش ارتفاع سقوط، افزایش می‌یابد. انرژی مورد نیاز برای ترک‌دار کردن متأثر از سطح محتوای رطوبتی، جرم وزنه و قطر محصول بود. همچنین نتیجه گرفته شد که سرعت سقوط چهار متر بر ثانیه برای ایجاد ترک کافی در گردوی آفریقایی با سطح رطوبتی کمتر از ۳۰ درصد خشک پایه، مناسب است (Asoegwu, 1995).

هر چند که پژوهش‌هایی در مورد بارگذاری فشاری روی گردو انجام شده ولی بر اساس منابع موجود، اثر بار ضربه‌ای روی گردوی ایرانی مطالعه نشده است. این در حالی است که شکستن دستی گردو با استفاده از بار ضربه‌ای و رطوبت‌دهی محصول انجام می‌پذیرد. هدف از مطالعه حاضر، ارزیابی اثرات محتوای رطوبتی، قطر متوسط هندسی، ژنوتیپ، راستای اعمال نیرو و ارتفاع سقوط وزنه روی کیفیت (خردشدگی) مغز گردو تحت بار ضربه‌ای بود.

## مواد و روش‌ها

### تهیه نمونه

به علت فقدان رقم مشخص گردو در ایران، آزمایش بر روی ژنوتیپ‌های موجود گردو انجام پذیرفت. به این منظور سه ژنوتیپ مختلف از گردوهای باغات شهرستان آذرشهر انتخاب و محصول تولیدی آن‌ها در سال ۱۳۸۸ جمع‌آوری شدند. سعی شد ژنوتیپ‌ها از لحاظ ضخامت پوسته و خصوصیات ظاهری با همدیگر متفاوت باشند تا بتوان اثر ژنوتیپ را نیز بررسی نمود. گردوهای متعلق به هر ژنوتیپ به صورت جداگانه، پس از جدا کردن پوست سبز، به مدت سه روز در جلوی آفتاب خشکانده شدند و سپس به انبار منتقل گردیدند. قبل از شروع آزمایش، تمامی گردوها به روش چشمی مورد بازرسی قرار گرفتند و مواد خارجی و گردوهای که ترک برداشته بودند، جدا شدند.

### طرح آزمایشی

گردوهای هر ژنوتیپ بعد از تعیین ابعاد، بر اساس قطر متوسط هندسی به سه دسته تقسیم شدند. برای آزمون ضربه، آزمایش به صورت فاکتوریل با ۵ فاکتور در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۵ تکرار در نظر گرفته شد و در مجموع، ۲۰۲۵ واحد آزمایشی منظور شد. سطوح مختلف فاکتورهای مورد استفاده در آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است.

مکانیکی فندق استرالیایی<sup>۱</sup> را تحت نیروی فشاری بررسی کردند. آن‌ها علاوه بر بررسی اثرات راستای اعمال بار، اندازه فندق، محتوای رطوبتی، تغییر شکل مخصوص و انرژی مورد نیاز برای رسیدن به شکست اولیه در پوسته و میزان آسیب به مغز را مورد مطالعه قرار دادند. از آن جا که بارگذاری تا لحظه شکست اولیه ادامه می‌یافت شکستگی در مغز<sup>۲</sup> مشاهده نشد و همه آسیب‌های وارده از نوع کوفتگی<sup>۳</sup> بودند. ایشان اظهار داشتند صرفنظر از اندازه گردو، اگر میزان تغییر شکل از فاصله بین پوسته و مغز بیشتر شود، مغز آسیب خواهد دید و باید برای طراحی دستگاه فندق‌شکن راستای اعمال بار مورد توجه قرار گیرد (Braga et al., 1999). آزمایشی به منظور بررسی اثر ایجاد درز<sup>۴</sup> و سرمادهی<sup>۵</sup> قبل از شکستن روی کیفیت مغز حاصل از فندق استرالیایی انجام شد. محصول به دست آمده از عمل ترک‌دار کردن به چهار دسته مغز کامل، مغز نیمه، مغز شکسته شده و فندق‌های شکسته نشده و کمی شکسته تقسیم‌بندی گردید. نتایج بیانگر این نکته بود که بهترین حالت در استخراج مغز، انجام دو عمل سرمادهی و درزدار کردن به‌طور همزمان بود. زیرا در این حالت تعداد مغزهای کامل و نیمه تا ۹۸ درصد افزایش یافتند و فندق‌های شکسته نشده به ۲ درصد رسید (Liang et al., 1988). در مطالعه‌ای پارامترهایی برای طراحی دستگاه هسته خرما شکن جدید که در آن آسیب به مغز کمتر باشد، تعیین شد. نتایج نشان داد که سرعت روتور، اندازه میوه، وارپته و محتوای رطوبتی فاکتورهای غالب می‌باشند. (Gbadam et al., 2009). شریفیان و حداد درفشی (۲۰۰۸) آزمایشاتی برای تعیین خواص مکانیکی گردوهای شهرستان ارومیه انجام دادند. در طی آزمایش نیرو، مقدار کرنش پوسته تا لحظه شکستن، انرژی کرنشی و توان مورد نیاز برای شکستن هر گردو در دو محتوای رطوبتی ۹/۲۱ و ۲۱ درصد ترپایه اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار نیرو و توان و کمترین آن‌ها به ترتیب در راستای طولی و راستای شکاف گردو به دست آمد (Sharifian and Derafshi, 2008). در این راستا اثر سرعت و راستای بارگذاری روی خواص مکانیکی (نیرو، انرژی و چقرمگی) سه رقم گردوی ایرانی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که اثر رقم و راستای بارگذاری برای کلیه شاخص‌ها معنی‌دار بود. همچنین اثر سرعت بارگذاری به جز نیرو، روی بقیه شاخص‌ها معنی‌دار به دست آمد. با افزایش سرعت، نیروی مورد نیاز افزایش و انرژی و چقرمگی کاهش یافت (Sattari Najaf Abadi, 2012). در یک بررسی برخی

- 1- Macadamia Nut
- 2- Broken kernels
- 3- Bruising
- 4- Notching
- 5- Freezing
- 6- Palm Nut

7- Conophor Nut (African Walnut)

سلفونی به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۱۰- درجه سانتی‌گراد در داخل فریزر قرار داده شدند. ۲۴ ساعت قبل از شروع آزمایش‌ها نمونه‌ها در خارج از فریزر قرار داده شدند تا به تعادل رطوبتی برسند. (Altuntas and Erkol, 2009; Olaniyan and Oje, 2002) با این روش سه محتوای رطوبتی برای هر کدام از ژنوتیپ‌ها حاصل شد. محتوای رطوبتی نمونه‌ها بر اساس درصد رطوبت خشک‌پایه بیان شد. درصد رطوبت خشک‌پایه، میزان آب موجود در واحد جرم نمونه خشک است. بنابراین می‌توان نوشت (Liang *et al.*, 1989):

$$MC_{db} = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \times 100 \quad (3)$$

$MC_{db}$ : درصد رطوبت خشک‌پایه،  $M_1$ : وزن نمونه مرطوب (گرم) و  $M_2$ : وزن نمونه خشک (گرم)

### ساخت دستگاه سقوط آزاد وزنه روی نمونه

برای اعمال بار ضربه‌ای به گردو، از روش سقوط آزاد استفاده شد. دستگاه آزمایشگاهی برای این منظور طراحی و ساخته شد. این دستگاه شامل یک وزنه به وزن ۳۲۸ گرم، سیلندر برنجی به طول تقریبی ۴۰ سانتی‌متر، صفحه صلب فلزی به ضخامت ۱/۵ سانتی‌متر و میله نگه‌دارنده بود. اندازه وزنه بر اساس آزمون‌های اولیه انتخاب شد. وزنه در داخل سیلندر آزادانه حرکت می‌کرد و فاصله لقی بین دیواره داخلی سیلندر و سطح بیرونی وزنه طوری انتخاب شد که وزنه با کمترین تماس ممکن در داخل لوله سقوط آزاد نماید و لوله فقط نقش راهنما را داشته باشد. وزنه می‌توانست تا ارتفاع‌های مختلف، توسط ریسمانی که به انتهای آن وصل شده بود بالا برده شده و سقوط آزاد نماید. سیلندر برنجی توسط نگه‌دارنده به صفحه صلب متصل شده و همگی به بلوک چدنی به وزن تقریبی ۱۰۰ کیلوگرم پیچ شدند تا هم صفحه صلبیت بیشتری داشته باشد و هم ارتعاشات جانبی وارد شده، جذب شود. در شکل‌های ۱ و ۲ به ترتیب طرحواره و دستگاه ساخته شده نشان داده شده است.

### روش اجرای آزمون

اثر ۵ فاکتور ژنوتیپ، محتوای رطوبتی، ارتفاع سقوط، راستای بارگذاری و قطر متوسط هندسی روی کیفیت مغز در بارگذاری ضربه‌ای مطالعه شد. برای اعمال ضربه به گردو از دستگاه نشان داده شده در شکل ۲ استفاده شد. نمونه‌های گردو در سه راستای X، Y و Z روی صفحه ثابت دستگاه قرار گرفتند (شکل ۳).

### جدول ۱- سطوح مختلف فاکتورهای مورد استفاده در آزمایش

Table 1- Factors levels used in the experiment

فاکتور Factor	سطح Level
ژنوتیپ (G) Genotype	G <sub>1</sub> = (A) ژنوتیپ اول
	G <sub>2</sub> = (B) ژنوتیپ دوم
	G <sub>3</sub> = (C) ژنوتیپ سوم
محتوای رطوبت Moisture content	H <sub>1</sub>
	H <sub>2</sub>
	H <sub>3</sub>
قطر متوسط هندسی Geometric mean diameter	D <sub>1</sub>
	D <sub>2</sub>
	D <sub>3</sub>
راستای اعمال بار Loading direction	X راستای
	Y راستای
	Z راستای
ارتفاع سقوط Drop height	A <sub>1</sub> =10(cm)
	A <sub>2</sub> =15(cm)
	A <sub>3</sub> =25(cm)
	A <sub>4</sub> =35(cm)
	A <sub>5</sub> =45(cm)

### تعیین خصوصیات فیزیکی

ابعاد، قطر متوسط هندسی، حجم و وزن گردوها تعیین شدند. برای هر گردو کد مخصوصی در نظر گرفته شد و ابعاد توسط ریزسنج دیجیتال با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر در سه راستای طول (L)، پهنا (W) و ضخامت (T) گردو اندازه‌گیری شدند. قطر متوسط هندسی و حجم، به ترتیب با استفاده از روابط (۱) و (۲) اندازه‌گیری شدند (Altuntas and Ozkan, 2008; Mohsenin, 1986):

$$D = (LWT)^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

$$V = \frac{\pi}{6} (LWT) \quad (2)$$

D: قطر متوسط هندسی (mm)

V: حجم گردو (mm<sup>3</sup>)

L: بعد در راستای طول گردو (mm)

W: بعد قائم بر L و در راستای پهنا گردو (mm)

T: بعد قائم بر W و L و در راستای ضخامت گردو (mm)

وزن گردو نیز با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد.

### رطوبت دهی به محصول

برای بررسی اثر رطوبت سه سطح محتوای رطوبتی در نظر گرفته شد. دستیابی به سطوح مختلف رطوبتی با خیساندن گردوها در آب به مدت ۳ و ۱۲ ساعت امکان‌پذیر شد. سپس نمونه‌ها در داخل کیسه‌های

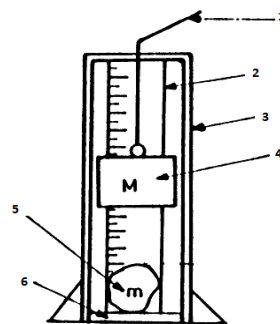
ریزسنج دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد (Anonymous, 1994; Vezvaei et al., 2003).

### محاسبه کیفیت مغز

اعمال بار ضربه‌ای در برخی شرایط منجر به بیرون آمدن مغز نشد و برای این که بتوان نتایج حاصل از شکستن گردو را کمی کرد از تلفیق روش‌های ارائه شده توسط پژوهشگران مختلف و استانداردها استفاده شد. در استاندارد شماره ۱۸ مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران مغز گردو در ۷ دسته کامل، نیمه، ربع، خرده، دندانه، خاکه و مخلوط دسته‌بندی شده است (Anonymous, 1993). گویونچی و همکاران (۲۰۰۴) بر اساس تعداد تکه‌های به دست آمده از شکستن گردو، کیفیت مغز استخراجی را درجه‌بندی کردند. عیب عمده روش مزبور این بود که مغز، فقط بر اساس تعداد تکه مغز به دست آمده دسته‌بندی می‌شد و به اندازه تکه مغز، توجهی نشده بود در حالی که در بازار فروش مغز گردو، اندازه تکه‌ها، نقش مهمی را ایفا می‌کنند و هر چه تعداد مغزهایی که به صورت لپه کامل هستند، بیشتر باشد، به همان اندازه از قیمت فروش بالاتری نیز برخوردار است. در مطالعه‌ی ترک‌دار شدن فندق، محصول شکستن فندق به این صورت دسته‌بندی شد (روش آن‌ها برگرفته از استاندارد ترکیه برای فندق بود): مغز آسیب‌دیده<sup>۱</sup>، مغز بدون آسیب، مغز شکسته شده<sup>۲</sup>، مغز باقی مانده در داخل پوسته<sup>۳</sup> (حالتی که حداقل یک ششم پوسته سخت جدا شده و مغز داخل پوسته باشد)، فندق دارای ترک، فندق ترک‌دار نشده و فندق قابل استحصال<sup>۴</sup> (مجموع پوسته داخل مغز، ترک‌دار شده و ترک‌دار نشده) (Ozdemir, 1999; Ozdemir and

Ozilgen, 1997) در مطالعه‌ی دیگر در ارزیابی شکستن گردوی آفریقایی، این حالت‌ها در نظر گرفته شد: مغز بیرون آمده و بدون آسیب (FC)، مغز بیرون آمده و آسیب دیده (FCW)، گردو ترک‌دار شده ولی مغز بیرون نیامده (VC) و گردوهایی که کاملاً خرد شده (SM) بودند (Asoegwu, 1995).

از تلفیق روش‌های اشاره شده در فوق و با در نظر گرفتن فاکتورهایی که در ارزش اقتصادی مغز تأثیرگذار هستند (تعداد تکه‌های مغز خرد شده کمتر و درسته بیشتر)، نتایج بیان گردید و کیفیت مغز حاصل از شکستن گردو، در مقیاس رتبه‌ای اندازه‌گیری شد (جدول ۲). به بهترین حالت رتبه ۱ (برای کیفیت مغز ۸۱ الی ۱۰۰) و بدترین حالت رتبه ۱۰ (برای گردوهایی با ترک جزیی) اختصاص داده شد. چون داده‌ها در مقیاس رتبه‌ای بیان شدند فاقد

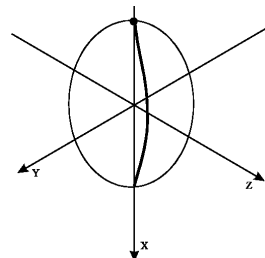


شکل ۱- طرحواره دستگاه آزمایشگاهی ساخته شده؛ (۱) ریسمان، (۲) درجه، (۳) سیلندر، (۴) وزنه، (۵) گردو، (۶) صفحه صلب  
Fig.1. Schematic drawing of the constructed apparatus; (1) Rope, (2) Scale, (3) Cylinder, (4) Hammer, (5) Walnut, (6) Rigid plate



شکل ۲- دستگاه ساخته شده برای آزمون‌های ضربه

Fig.2. Constructed apparatus used in the impact test



شکل ۳- راستاهای اعمال نیرو به گردو

Fig.3. Directions of applied force upon walnut

وزنه با استفاده از ریسمان از ۵ ارتفاع مشخص، بالا برده شد و بر روی گردو سقوط کرد. میزان ارتفاع‌های سقوط از آزمایش‌های اولیه به دست آمد. برای بیان کیفیت مغز از روش تشخیص چشمی استفاده گردید. بعد از شکستن گردو، ضخامت پوسته سخت گردوها، با توجه به روش پیشنهادی دیسکریپتور گردو که توسط مؤسسه بین‌المللی منابع ژنتیک گیاهی (IPGRI) ارائه شده است، با به‌کارگیری

- 2- Damaged
- 3- Broken
- 4- Left-in-the-shell
- 5- Recyclable
- 6- Wounded

$$S \bar{X}_{NPT} = \sqrt{\frac{n(nk)(nk+1)}{12}} \quad (5)$$

n تعداد تکرار و k تعداد تیمار است.

به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS19 استفاده شد.

توزیع نرمال بودند و تجزیه آن‌ها با استفاده از روش‌های آماری غیرپارامتری و با آزمون کروسکال والیس انجام پذیرفت. برای مقایسه تیمارها نیز از روش غیرپارامتری توکی استفاده شد که فرمول مقایسه تیمارها برای آزمون غیرپارامتری توکی در زیر آورده شده است (Valizadeh and Moghaddam, 2011):

$$HSD_{NPT} = q(\alpha, \infty, k) S \bar{X}_{NPT} \quad (4)$$

### جدول ۲- ارزیابی شکستن گردو

Table2- Evaluation of walnut breakage

رتبه Rank	درجه Grade	تعداد تکه Number of parts	شکل Figure	توضیح Explanation	ارزیابی Evaluation
1	100	2		دو نصفه مغز Two half kernel	FC
2	80	3		یک نصفه مغز و دو تکه یک‌چهارم مغز One half kernel and two piece of quarter kernel	
3	60	4		یک نصفه مغز، یک تکه یک‌چهارم مغز و دو تکه یک‌هشتم مغز One half kernel, a piece of quarter kernel and tow piece of one-eighth of kernel	
4	50	5		یک نصفه مغز و چهار تکه یک‌هشتم مغز One half kernel and four piece of one-eighth of kernel	
5	40	4		چهار تکه یک‌چهارم مغز Four piece of quarter kernel	
6	30	5		سه تکه یک‌چهارم مغز و دو تکه یک‌هشتم مغز Three piece of quarter kernel and tow piece of one-eighth kernel	FCB
7	20	6		دو تکه یک‌چهارم مغز و چهار تکه یک‌هشتم مغز Tow piece of quarter kernel and four piece of one-eighth kernel	
8	10	7		یک تکه یک‌چهارم مغز و شش تکه یک‌هشتم مغز A piece of quarter kernel and six piece of one-eighth of kernel	
8	5	8 و بیشتر Eight and more		هشت تکه یک‌هشتم مغز Eight piece of one-eighth of kernel	
9	-	-	-	مغز داخل پوسته (حالتی که مغز داخل پوسته بوده و حداقل یک‌ششم پوسته سخت جدا شده باشد) Left-in-the-shell kernels (kernels, trapped inside a partially broken shell, at least one-sixth of the shell is broken)	KLS
10	-	-	-	گردوهایی که ترک جزئی داشته باشند Walnuts whose shell was intact with only a minor crack	CW

## نتایج و بحث

داشت و در مقایسه با ژنوتیپ A و C از پوسته ضخیم‌تری برخوردار بود. مقادیر ضخامت پوسته سخت برای دو ژنوتیپ A و C نزدیک به هم بود.

## تجزیه واریانس نتایج شکستن گردو

نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از شکستن گردو با روش کروسکال والیس در جدول ۵ آورده شده است. اثر اصلی فاکتورهای ژنوتیپ، ارتفاع سقوط وزنه در سطح احتمال ۱ درصد و رطوبت در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شدند و سایر فاکتورها اثر معنی‌داری نداشتند.

## الف: اثر ارتفاع سقوط وزنه روی شکستن گردو

یکی از مهمترین عوامل مؤثر در این آزمایش، اثر ارتفاع سقوط وزنه بود به طوری که ارتفاع سقوط، درصد همه معیارهای ارزیابی شکستن گردو را تحت تأثیر قرار داد.

علی‌رغم وجود تنوع بسیار گسترده در ژنوتیپ‌های مختلف گردو در سراسر کشور که گاهی دارای صفات بسیار برجسته و عملکرد دانه و مغز زیاد نیز می‌باشند و کیفیت چشمگیری دارند، در حال حاضر ژنوتیپی از گردو که به صورت تجاری تکثیر و در احداث باغات مورد استفاده قرار گیرد موجود نیست. در عین حال در سال‌های اخیر مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، کلون‌های نویدبخش معرفی کرده است که در مراحل مقدماتی تکثیر تجاری می‌باشند (Pahnaei, 2007). بنابراین لازم است آزمایش‌ها روی ژنوتیپ‌های مختلف انجام و کیفیت مغز گردوی حاصل بررسی شود. لیکن همان گونه که قبلاً اشاره شد آزمایش‌ها بر روی ژنوتیپ‌های موجود گردو انجام پذیرفت.

## خواص فیزیکی گردوها

نتایج تجزیه واریانس و خصوصیات فیزیکی اندازه‌گیری شده گردوها به ترتیب در جداول ۳ و ۴ آورده شده است. ژنوتیپ B ابعاد و در نتیجه قطر متوسط هندسی بزرگ‌تری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها

جدول ۳- تجزیه واریانس خواص فیزیکی ژنوتیپ‌های گردوی مورد مطالعه

Table 3- Analysis of Variance of physical properties of the walnut genotypes under study

میانگین مربعات Mean Square							درجات آزادی Degree of freedom	منابع Source
ضخامت پوسته Shell thickness	حجم Volume	قطر متوسط هندسی Geometric mean diameter	T	W	L			
2.177**	$7.271 \times 10^8$	323.78**	283.27**	349.63**	363.01**	2	بین گروه‌ها Groups	
.011	723009.07	0.32	0.67	0.10	0.36	1380	درون گروه‌ها Within Groups	

\*\* معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

جدول ۴- خواص فیزیکی ژنوتیپ‌های گردوی مورد مطالعه

Table 4- Physical properties of the walnut genotypes under study

ضخامت پوسته Shell thickness mm	حجم Volume mm <sup>3</sup>	قطر متوسط هندسی Geometric mean diameter mm	T mm	W mm	L mm	ژنوتیپ Genotype
1.15 <sup>a</sup> (0.1)	14270.18 <sup>a</sup> (747.38)	30.08 <sup>a</sup> (0.52)	28.75 <sup>a</sup> (0.71)	30.15 <sup>a</sup> (0.30)	31.42 <sup>a</sup> (0.64)	A
1.61 <sup>b</sup> (0.1)	16691.85 <sup>c</sup> (865.51)	31.69 <sup>c</sup> (0.55)	30.27 <sup>c</sup> (0.84)	31.82 <sup>c</sup> (0.30)	33.08 <sup>c</sup> (0.55)	B
1.08 <sup>a</sup> (0.2)	15727.78 <sup>b</sup> (944.87)	31.07 <sup>b</sup> (0.62)	29.43 <sup>b</sup> (0.91)	31.19 <sup>b</sup> (0.38)	32.70 <sup>b</sup> (0.63)	C

انحراف استاندارد در داخل پارانتز آورده شده است. مقادیر با حروف غیر یکسان در هر ستون، اختلاف معنی‌دار با هم دارند.

**جدول ۵- تجزیه واریانس داده‌های حاصل از شکستن گردو**

**Table 5- Analysis of Variance of data from walnut breakage**

جمع رتبه‌ها Sum of ranks	تیمار Treatment
4791.4 <sup>a</sup>	A
5427.1 <sup>c</sup>	B
4975.2 <sup>b</sup>	C
5051.6 <sup>b</sup>	H <sub>1</sub>
5251.2 <sup>c</sup>	H <sub>2</sub>
4892.4 <sup>a</sup>	H <sub>3</sub>
5019.4	X
4976.1	Y
5199.4	Z
5086.8	D <sub>1</sub>
5125.2	D <sub>2</sub>
4982.9	D <sub>3</sub>
8300.2 <sup>c</sup>	10 cm
7121.1 <sup>d</sup>	15 cm
4635.4 <sup>c</sup>	25 cm
2736.5 <sup>b</sup>	35 cm
2531.9 <sup>a</sup>	45 cm

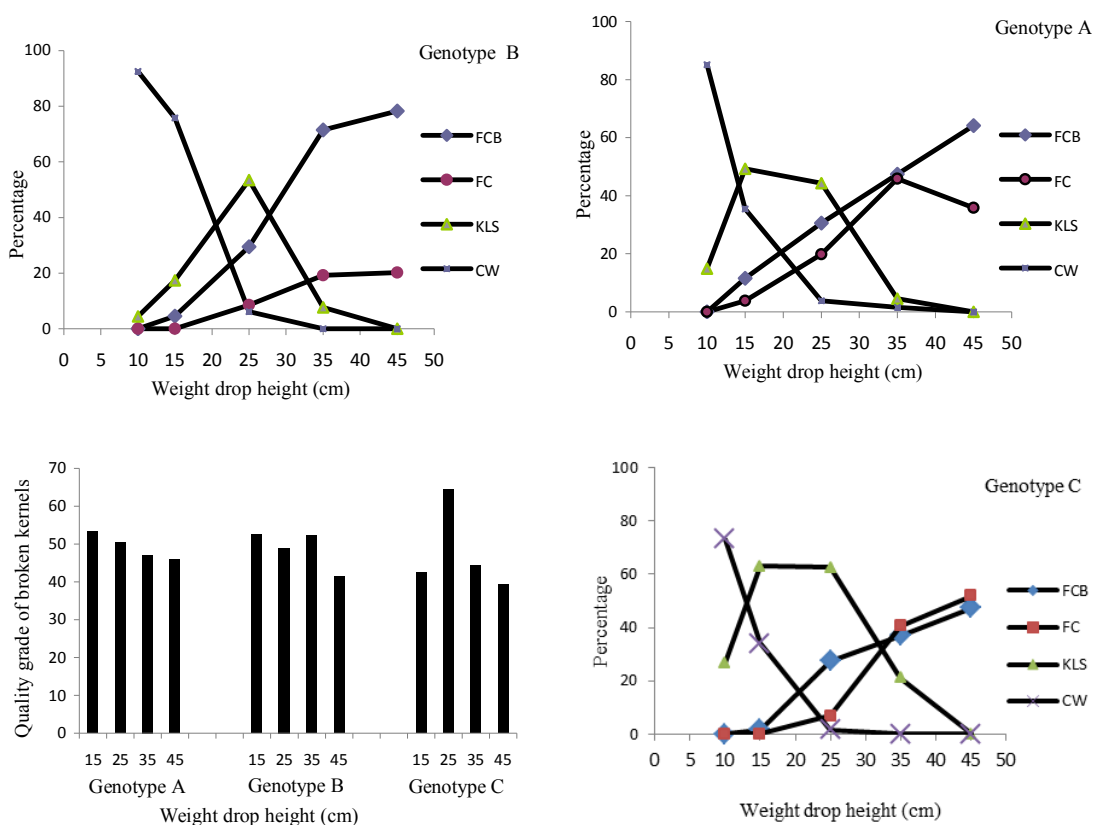
مقادیر با حروف غیریکسان در مورد هر فاکتور، اختلاف معنی‌دار باهم دارند، ns \* و \*\* به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

شکسته حاصل شد. در حالتی که هیچ‌گونه تیمار رطوبتی روی گردوها اعمال نشده بود، بیشترین خردشدگی مغز مشاهده شد. بیشترین درصد گردوها با ترک جزئی در شرایطی بود که گردوها سه ساعت داخل آب خیس‌انده شدند. با افزایش درصد رطوبت، درصد مغزهای سالم و درصد KLS افزایش یافت (شکل ۵). اسوگوو (۱۹۹۵) نتیجه گرفت که با افزایش محتوای رطوبتی، درصد مغزهای سالم کاهش می‌یابد. دلیل متناقض بودن نتیجه ایشان با نتایج این مطالعه آن بود که وی گردوی آفریقایی را به‌صورت تازه برداشت کرده و محتوای رطوبتی گردوی آفریقایی در این شرایط را به‌عنوان بالاترین درصد رطوبت (۶۰ درصد خشک‌پایه) در نظر گرفته و سپس با خشک کردن گردو در آن با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به محتوای رطوبتی پایین‌تر رسیده بود. ایشان علت بالا بودن درصد مغزهای سالم در رطوبت‌های پایین را چنین بیان کردند که "با خشک کردن گردوی آفریقایی مغز گردو به مراتب دارای محتوای رطوبتی بالاتری نسبت به پوسته است که این امر باعث شد مغزهای سالم بیشتری در محتوای رطوبتی پایین پوسته به‌دست آید." در عین حال در این مطالعه، با خیس‌اندن گردوها، درصدهای بالاتر رطوبت حاصل گردید. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود در محتوای رطوبت اولیه، علاوه بر این‌که درصد مغزهای شکسته بیشتر بود، درجه کیفیت مغز نیز بسیار پایین بود که این شرایط مطلوب نیست. بنابراین در حالتی که گردوها خشک باشند، استفاده از بار ضربه‌ای برای شکستن گردو توصیه نمی‌شود.

با افزایش ارتفاع، درصد گردوهایی که ترک جزئی داشتند (CW) کاهش یافت به‌طوری که در ارتفاع ۳۵ سانتی‌متری این درصد به صفر رسید. یعنی از ارتفاع‌های بالاتر از ۳۵ سانتی‌متری در تمامی گردوها، کل پوسته سخت و یا بخشی از آن، جدا شد. در ارتفاع ۴۵ سانتی‌متری جدایش مغز از پوسته به‌طور کامل اتفاق افتاد. در هر سه ژنوتیپ با افزایش ارتفاع، درصد مغزهای شکسته افزایش یافتند و بیشترین درصد مغزهای شکسته در ارتفاع ۴۵ سانتی‌متری مشاهده گردید. بالاترین درصد مغزهای شکسته در ژنوتیپ B و کمترین آن در ژنوتیپ C به‌دست آمد. اثر ژنوتیپ بر درصد مغز گردوی سالم، بیشتر مشهود بود به‌طوری که ژنوتیپ B دارای کمترین درصد بود. درصد KLS (حالتی که حداقل یک ششم پوسته سخت جدا شده و مغز داخل پوسته باشد) تا ارتفاع ۲۵ سانتی‌متری افزایش و بعد از آن کاهش شدیدی نشان داد و این درصد در ارتفاع ۴۵ سانتی‌متری به صفر رسید (شکل ۴). مطالعات مشابه نشان داد که درصد گردوهای آفریقایی دارای ترک جزئی، با افزایش ارتفاع سقوط کاهش و درصد مغزهای سالم آسیب دیده و خردشده افزایش یافت (Asoegwu, 1995). کمترین درجه کیفیت مغز شکسته در ارتفاع ۴۵ سانتی‌متری مشاهده شد. بهترین کیفیت مغزهای شکسته در ارتفاع سقوط ۲۵ سانتی‌متری و برای ژنوتیپ C به‌دست آمد (شکل ۴).

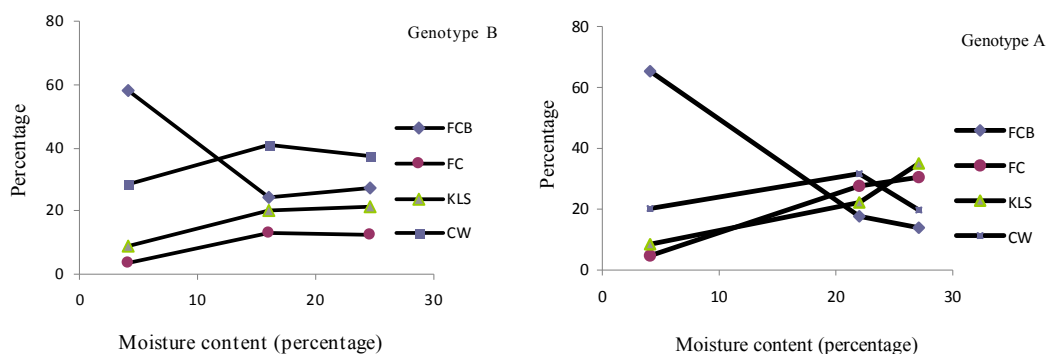
#### ب) اثر محتوای رطوبتی

با افزایش محتوای رطوبتی، کاهش چشمگیری در درصد مغزهای

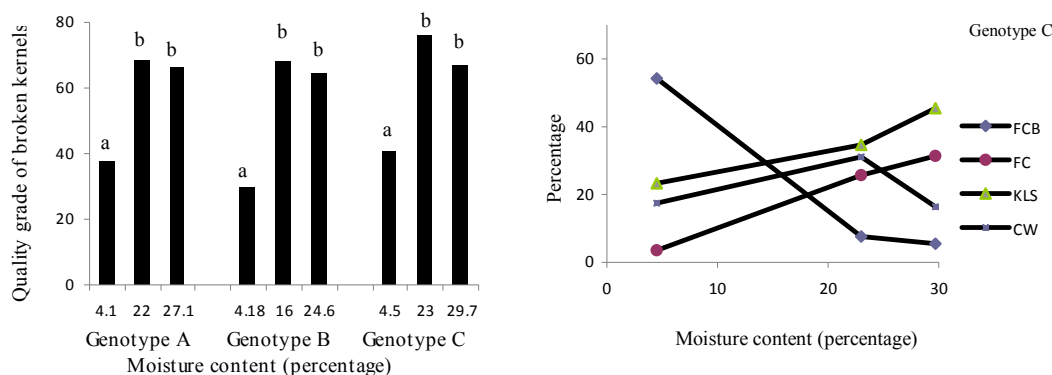


شکل ۴- اثر ارتفاع سقوط وزنه روی شکستن گردو در ژنوتیپ A، ژنوتیپ B، ژنوتیپ C و اثر ارتفاع سقوط وزنه روی درجه کیفیت مغز شکسته در گردو

Fig.4. Effect of weight drop height on walnut breakage in Genotype A, Genotype B, Genotype C and Effect of weight drop height on quality grade of broken kernels







شکل ۵- اثر محتوای رطوبتی روی شکستن گردو در ژنوتیپ A، ژنوتیپ B، ژنوتیپ C و اثر محتوای رطوبتی روی درجه کیفیت مغز شکسته در گردو

Fig.5. Effect of Moisture content on walnut breakage in Genotype A, Genotype B, Genotype C and Effect of Moisture content on quality grade of broken kernels.

Loading direction, D<sub>1</sub>,D<sub>2</sub>,D<sub>3</sub>: Geometric mean diameter and A<sub>4</sub>,A<sub>5</sub>: Weight drop height

#### انتخاب بهترین ترکیب تیماری

در روش‌های غیر پارامتری نمی‌توان اثرات متقابل را بررسی کرد ولی می‌توان بهترین ترکیب تیماری که از نتیجه مطلوب برخوردار باشد، تعیین نمود. با استفاده از روش غیر پارامتری توکی، ۴۰۵ ترکیب تیماری ممکن مقایسه شدند و از بین آن‌ها ترکیب‌هایی که کمترین مقدار جمع رتبه‌ها را دارا بودند انتخاب شدند (جدول ۶). درحالت کلی در هر سه نوع ژنوتیپ بهترین ترکیب تیمار از نظر معیارهای شکستن گردو در حالتی که گردوها در ۳ یا ۱۲ ساعت خیس‌انده شدند، راستای Y به عنوان جهت بارگذاری انتخاب شده و ارتفاع سقوط وزنه ۳۵ یا ۴۵ منظور گردید، رخ داد.

#### نتیجه‌گیری کلی

اثرات ژنوتیپ، راستای بارگذاری، ارتفاع سقوط وزنه، محتوای رطوبتی و قطر متوسط هندسی روی شکستن گردوی ایرانی تحت بار ضربه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت. ارتفاع سقوط وزنه و ژنوتیپ تأثیر به‌سزایی در کیفیت مغز استخراجی داشت. با افزایش محتوای رطوبتی، کاهش چشمگیری در درصد مغزهای شکسته حاصل شد. در حالتی که هیچ‌گونه تیمار رطوبتی روی گردوها اعمال نشد، بیشترین خردشدگی مغز مشاهده شد. در محتوای رطوبتی اولیه، علاوه بر این که درصد مغزهای شکسته بیشتر بود، درجه کیفیت مغز نیز بسیار پایین بود که این شرایط مطلوب نیست. بنابراین در حالتی که گردوها خشک باشند، استفاده از بار ضربه‌ای برای شکستن گردو توصیه

جدول ۶- انتخاب بهترین ترکیب تیماری از میان ۴۰۵ ترکیب ممکن

Table 6- Selection of the best treatment combinations out of 405 possible treatments

ترکیب تیمار Treatment combination	جمع رتبه‌ها Sum of ranks
G <sub>1</sub> H <sub>2</sub> YD <sub>1</sub> A <sub>4</sub>	1002.5
G <sub>1</sub> H <sub>2</sub> YD <sub>1</sub> A <sub>5</sub>	1002.5
G <sub>1</sub> H <sub>2</sub> YD <sub>2</sub> A <sub>5</sub>	1002.5
G <sub>1</sub> H <sub>2</sub> YD <sub>3</sub> A <sub>4</sub>	1002.5
G <sub>1</sub> H <sub>2</sub> YD <sub>3</sub> A <sub>5</sub>	1002.5
G <sub>1</sub> H <sub>3</sub> XD <sub>3</sub> A <sub>4</sub>	1002.5
G <sub>1</sub> H <sub>3</sub> YD <sub>1</sub> A <sub>4</sub>	1002.5
G <sub>1</sub> H <sub>3</sub> YD <sub>1</sub> A <sub>5</sub>	1002.5
G <sub>1</sub> H <sub>3</sub> YD <sub>2</sub> A <sub>5</sub>	1002.5
G <sub>1</sub> H <sub>3</sub> YD <sub>3</sub> A <sub>5</sub>	1002.5
G <sub>2</sub> H <sub>2</sub> YD <sub>1</sub> A <sub>5</sub>	1002.5
G <sub>2</sub> H <sub>2</sub> YD <sub>2</sub> A <sub>5</sub>	1002.5
G <sub>2</sub> H <sub>3</sub> YD <sub>1</sub> A <sub>5</sub>	1002.5
G <sub>2</sub> H <sub>3</sub> YD <sub>2</sub> A <sub>5</sub>	1002.5
G <sub>2</sub> H <sub>3</sub> YD <sub>3</sub> A <sub>5</sub>	1002.5
G <sub>3</sub> H <sub>2</sub> YD <sub>1</sub> A <sub>5</sub>	1002.5
G <sub>3</sub> H <sub>2</sub> YD <sub>2</sub> A <sub>5</sub>	1002.5
G <sub>3</sub> H <sub>2</sub> YD <sub>3</sub> A <sub>5</sub>	1002.5
G <sub>3</sub> H <sub>2</sub> ZD <sub>3</sub> A <sub>5</sub>	1002.5
G <sub>3</sub> H <sub>3</sub> XD <sub>1</sub> A <sub>4</sub>	1002.5
G <sub>3</sub> H <sub>3</sub> XD <sub>3</sub> A <sub>5</sub>	1002.5
G <sub>3</sub> H <sub>3</sub> YD <sub>1</sub> A <sub>4</sub>	1002.5
G <sub>3</sub> H <sub>3</sub> YD <sub>1</sub> A <sub>5</sub>	1002.5
G <sub>3</sub> H <sub>3</sub> YD <sub>2</sub> A <sub>5</sub>	1002.5
G <sub>3</sub> H <sub>3</sub> YD <sub>3</sub> A <sub>4</sub>	1002.5
G <sub>3</sub> H <sub>3</sub> YD <sub>3</sub> A <sub>5</sub>	1002.5
G <sub>3</sub> H <sub>3</sub> ZD <sub>2</sub> A <sub>4</sub>	1002.5
G <sub>3</sub> H <sub>3</sub> ZD <sub>2</sub> A <sub>5</sub>	1002.5

HSD<sub>NPAR</sub>=1168.8

G<sub>1</sub>,G<sub>2</sub>,G<sub>3</sub>: Genotype, H<sub>1</sub>,H<sub>2</sub>,H<sub>3</sub>:Moisture content, X,Y,Z:

نمی‌شود. هنگامی که گردوها سه ساعت داخل آب خیسانده شدند، راستای بارگذاری Y انتخاب گردید و ارتفاع سقوط ۳۵ سانتی‌متری تعیین شد، بهترین حالت از لحاظ کیفیت مغز به دست آمد.

### منابع

1. Altuntas, E., and Y. Ozkan. 2008. Physical and mechanical properties of some walnut (*Juglans regia* L.) cultivars. *Food Engineering* 4: 1-14.
2. Altuntas, E., and M. Erkol. 2009. The effects of moisture content, compression speeds, and axes on mechanical properties of walnut cultivars. *Food and Bioprocess Technology* 4: 1288-1295.
3. Anonymous. 1993. Walnut kernel-specification and methods of test. Institute of Standards and Industrial Research of Iran.
4. Anonymous. 1994. Descriptors for Walnut: (*Juglans* Spp.). International Plant Genetic Resources Institute Rome, Italy.
5. Asoegwu, S. N. 1995. Some physical properties and cracking energy of conophor nuts at different moisture contents. *Int. Agrophysics* 9: 131-142.
6. Braga, G. C., S. M. Couto, T. Hara, and J. T. Almeida Neto. 1999. Mechanical behaviour of macadamia nut under compression loading. *Agricultural Engineering Research* 72: 239-245.
7. Fraser, B. M., S. S. Verma, and W. E. Muir. 1978. Some physical properties of fababeans. *Agricultural Engineering Research* 23: 53-57.
8. Gbadam, E. K., S. Anthony, and E. K. Asiam. 2009. The determination of some design parameters for palm nut crackers. *European Journal of Scientific Research* 29: 315-327.
9. Koyuncu, M. A., K. Ekinçi, and E. Savran. 2004. Cracking characteristics of walnut. *Biosystems Engineering* 87: 305-311.
10. Liang, T., J. Chou, and R. Knapp. 1988. Notching and freezing effect on macadamia nut kernel recovery. *Agricultural Engineering Research* 41: 43-52.
11. Liang, T., S. K. Mehra, and M. A. Khan. 1989. A macadamia nut curing system for improving kernel recovery. *Agricultural Engineering Research* 43: 103-111.
12. Mohammadi, K. 2011. Study of some parameters affecting walnut fracture under quasi-static and impact loading. University of Tabriz, Tabriz.
13. Mohsenin, N. N. 1986. Physical properties of plant and animal materials: structure, physical characteristics, and mechanical properties. Gordon and Breach.
14. Olaniyan, A. M., and K. Oje. 2002. Some aspects of the mechanical properties of shea nut. *Biosystems Engineering* 81: 413-420.
15. Ozdemir, M. 1999. Comparison of the quality of hazelnuts shelled with modified conical sheller and stone sheller. *Agricultural Engineering Research* 72: 211-216.
16. Ozdemir, M., and M. Ozilgen. 1997. Comparison of the quality of hazelnuts unshelled with different sizing and cracking systems. *Agricultural Engineering Research* 67: 219-227.
17. Pahnaei, S. 2007. Biological and morphological studies of walnut population in Horand region for selection the better genotypes. University of Tabriz, Tabriz.
18. Sattari Najaf Abadi, M. 2012. Mechanical properties of three major iranian walnut varieties under compression loading. *Agricultural Engineering Research* 12: 87-102.
19. Sharifian, F., and M. H. Derafshi. 2008. Mechanical behavior of walnut under cracking conditions. *Applied Sciences* 8: 886-890.
20. Valizadeh, M., and M. Moghaddam. 2011. Experimental designs in agriculture. Parivar Publication. Tabriz.
21. Vezvae, A., K. Vahdati, and A. Tajabadi. 2003. Guidance assessment walnut, pistachio, almond. Khaniran Publication. Tehran.
22. Xavier, J. A. 1992. Study of macadamia nut breakage. Unpublished M. Sc. Thesis, Botucatu, SP, UNESP.