

اثر ژنوتیپ، رطوبت، سرعت و راستای بارگذاری روی کیفیت (خردشدگی) مغز حاصل از شکستن گردو

خسرو محمدی قرمزگلی^{۱*}، حمیدرضا قاسم‌زاده^۱ و حسین غفاری^۱

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۲/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۲۲

۱- گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

* مسئول مکاتبه E-mail: mohammadi.khosrow@tabrizu.ac.ir

چکیده

در این تحقیق پارامترهای موثر بر کیفیت (خردشدگی) مغز حاصل از شکستن گردو تحت بار فشاری شبه‌استاتیک مورد مطالعه قرار گرفت. آزمایش‌ها روی ژنوتیپ‌های موجود گردو در ایران انجام پذیرفت. بدین منظور سه ژنوتیپ مختلف از گردوهای باغ‌های شهرستان آذرشهر انتخاب و از محصول تولیدی این ژنوتیپ‌ها استفاده شد. از دستگاه آزمون یونیورسال هانسفیلد برای انجام آزمون‌های فشار استفاده شد. آزمون‌های فشار به صورت فاکتوریل با چهار فاکتور در قالب طرح کاملاً تصادفی با پنج تکرار انجام پذیرفت. اثر فاکتورهای ژنوتیپ، رطوبت، راستای اعمال نیرو و سرعت بارگذاری روی کیفیت مغز حاصل از شکستن گردو بررسی گردید. ارزیابی شکستن گردو با استفاده از معیارهای تعریف شده انجام شد و کیفیت (خردشدگی) مغز استخراجی بدست آمد. افزایش محتوای رطوبتی، درصد مغزهای شکسته را کاهش و درصد مغزهای سالم و درجه کیفیت مغزهای شکسته را افزایش داد. با افزایش سرعت بارگذاری، درصد مغزهای شکسته افزایش یافتند. در حالت کلی وقتی گردوها ۱۲ ساعت داخل آب خیسانده شدند و راستای بارگذاری عرضی (Y) انتخاب شد، بهترین حالت از لحاظ کیفیت مغز به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: آزمون فشاری، ارزیابی، شکستن گردو، کیفیت مغز

The Effects of Genotype, Moisture Content, Speeds and Loading Direction on Walnut Extraction Quality

Khosro Mohammadi Ghermezgoli, Hamid Reza Ghassemzadeh, Hossein Ghaffari

Received: 15 Mar 2021

Accepted: 12 June 2021

¹Department of Biosystems Engineering, University of Tabriz

*Corresponding author: mohammadi.khosrow@tabrizu.ac.ir

Abstract

In this research, some parameters affecting walnut kernel extraction quality under impact loading were studied. The tests were carried out on the available genotypes in Iran. For this purpose, three different genotypes from walnut orchards of Azarshar city were selected and the total yield of these genotypes was collected. The universal test machine (Hounsfield) was used for the compression tests. For the impact tests, four factors were evaluated in a factorial experiment using a completely randomized design with five replications. The factors were genotype, moisture content, load direction with three levels, and compression speed (three levels), and the effect of these factors on kernel extraction quality was studied. Walnut breakage assessments and kernel extraction quality were evaluated by well-defined criteria. Generally, with increasing moisture content, the percentage of broken kernels decreased and the extraction quality grade was improved. The percentages of broken kernels increased when compression speed was increased. Generally, soaking the walnuts in water for 12 h and Y loading direction yielded the best kernel extraction quality.

Keywords: Compression test, Evaluation, Kernel extraction quality, Walnut cracking

How to cite:

Mohammadi Ghermezgoli, Kh., Ghassemzadeh, H. R., Ghaffari, H. 2021. *The Effects of Genotype, Moisture Content, Speeds and Loading Direction on Walnut Extraction Quality*. Journal of Agricultural Mechanization 6 (2): 9-19.

۱- مقدمه

بر اساس آمار سازمان جهانی خواروبار (FAO) در سال ۲۰۱۶، ایران با تولید ۴۰۵۲۸۱ تن گردو در جایگاه سوم جهان قرار گرفته است (Anonymous, 2016). نگاهی به آمارهای ارایه شده در گذشته نشان می‌دهد که همواره ایران جزو پنج کشور عمده تولید کننده گردوی جهان بوده است. با عنایت به سبب چشم‌انداز ۲۰ ساله که در آن توجه ویژه‌ای به صادرات غیرنفتی 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 خواهد بخشید. 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 جهت استحصال مغز گردو است که این کار مستلزم طراحی و ساخت دستگاه گردوشکن می‌باشد (Mohammadi Ghermezgoli et al. 2014). فاکتورهای مختلفی بر فرآیند ترک‌دار کردن گردو و میزان خردشدگی مغز موثر است که شناسایی و مطالعه این پارامترها برای طراحی دستگاه گردوشکن حائز اهمیت است. محققان گوناگون اثر پارامترهای مختلف بر شکستن محصولات سخت‌پوسته را بررسی کرده‌اند. خاویر تاکید کرده است که اندازه، شکل، ضخامت پوسته و بافت از مهمترین عوامل موثر بر شکستن پوسته و کیفیت مغز استخراجی در میوه‌های آجیلی سخت‌پوسته هستند (Xavier, 1992). خواص فیزیکی (قطر محوری و شعاعی، ضخامت پوسته، کرویت، وزن، حجم و دانسیته) محصولات کشاورزی از پارامترهایی هستند که نقش مهمی در طراحی و ساخت تجهیزات و آنالیز رفتار محصول در طی انتقال، فرآوری و انبارمانی دارند (Asoegwu, 1995; Fraser et al. 1978; Gharibzahedi et al.; Ojolo & Eweina, 2017). محققانی کیفیت مغز حاصل از شکستن گردو را به-عنوان تابعی از قطر متوسط هندسی و ضخامت پوسته بررسی کردند و نتیجه گرفتند 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). در یک مطالعه نمونه‌های گردو با محتوای رطوبت ۹/۲۵، ۱۵/۹۸، ۲۳/۳۶ و ۲۹/۷۲ ترپایه در دستگاه تست ضربه و محدوده ۰/۱۳ تا ۱/۱۱ ژول مورد آزمون قرار دادند و نتیجه گرفتند که محتوای رطوبتی و میزان انرژی ضربه‌ای و اثر متقابل آن‌ها روی ویژگی‌های شکستن گردو اثر معنی‌داری داشت (Shahbazi, 2013). همچنین محققان با بررسی اثر سه نوع پروب تخت، استوانه‌ای و کروی در آزمون فشاری روی کیفیت مغز استخراجی گردو نتیجه گرفتند که بهترین نتیجه برای شکستن گردو با استفاده از پروب کروی حاصل شد و نتایج حاصل از آنالیز المان محدود نیز بر مناسب بودن این روش

دلالت داشت (Zhang et al. 2018). رفتار مکانیکی فندق استرالیایی^۱ را تحت نیروی فشاری توسط پژوهشگران مورد مطالعه قرار گرفت. 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 در طی آزمایشات مورد مطالعه قرار دادند. از آن‌جا که بارگذاری تا لحظه شکست اولیه ادامه می‌یافت شکستگی در مغز^۲ مشاهده نشد و همه آسیب‌های وارده از نوع کوفتگی^۳ 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 بایستی برای طراحی دستگاه فندق‌شکن راستای اعمال بار مورد توجه قرار گیرد (Braga et al. 1999). محققان، آزمایش‌هایی به منظور بررسی اثر ایجاد درز^۴ و سرمادهی^۵ قبل از شکستن روی کیفیت مغز حاصل از فندق استرالیایی انجام دادند. آن‌ها محصول بدست آمده از عمل ترک‌دار کردن را به چهار دسته مغز کامل، مغز نیمه، مغز شکسته شده و فندق‌های شکسته نشده و کمی شکسته تقسیم‌بندی کردند. نتایج ایشان بیانگر این نکته بود که بهترین حالت در استخراج مغز، انجام دو عمل سرمادهی و درزدار کردن بطور 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). گبادم^۶ و همکاران (۲۰۰۹) برخی پارامترها را برای طراحی دستگاه هسته‌خرما^۷ شکن جدید که در آن آسیب به مغز کمتر باشد، تعیین کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که سرعت روتور، اندازه میوه، واریته و محتوای رطوبتی فاکتورهای غالب می‌باشند. مقادیر نیروی مورد نیاز برای ترک‌دار کردن وابسته به مدول سفتی میوه بود. شرایط بهینه برای ترک‌دار کردن هسته خرما، سرعت روتور ۱۵۵ رادیان بر ثانیه برای هسته‌های دارای قطر متوسط هندسی کوچکتر از ۱۹ میلی‌متر و ۲۶۰ رادیان بر ثانیه برای هسته‌های بزرگتر از ۱۹ میلی‌متر بودند که در صورت اعمال این شرایط کمترین آسیب به مغز می‌رسید. آن‌ها بهترین سطح محتوای رطوبتی برای ترک‌دار کردن و جداسازی مغز از پوسته هسته خرما را ۱۶/۰۱ درصد ترپایه بدست آوردند.

با توجه به مطالب ذکر شده، تحقیقاتی در مورد بارگذاری فشاری روی گردو انجام شده ولی بر اساس منابع موجود، اثر بار فشاری روی کیفیت (میزان خردشدگی) مغز گردوی ایرانی مطالعه نشده است. هدف مطالعه حاضر ارزیابی اثرات محتوای رطوبتی، ژنوتیپ، راستای اعمال نیرو و سرعت بارگذاری روی کیفیت (خردشدگی) مغز گردو تحت بار فشاری شبه‌استاتیک است.

5- Freezing

6- Gbadam

7- Palm Nut

1- Macadamia Nut

2- Broken kernels

3- Bruising

4- Notching

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تهیه نمونه

به علت فقدان رقم مشخص گردو در ایران، آزمایش‌ها بر روی ژنوتیپ‌های موجود گردو انجام پذیرفت. بدین منظور سه ژنوتیپ مختلف از گردوهای باغات شهرستان آذرشهر انتخاب و محصول تولیدی این ژنوتیپ‌ها جمع-آوری شدند. سعی شد ژنوتیپ‌ها از لحاظ ضخامت پوسته و خصوصیات ظاهری با همدیگر تفاوت داشته باشند تا بتوان اثر ژنوتیپ را نیز بررسی نمود. گردوهای متعلق به هر ژنوتیپ به صورت جداگانه، پس از جداکردن پوست سبز، به مدت سه روز در جلوی آفتاب خشکانده شدند و سپس به انبار منتقل گردیدند. قبل از شروع آزمایش‌ها، تمامی گردوها به روش

۲-۳- 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 زیر اندازه‌گیری شدند (E. Altuntas & 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 (mm³)، 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)

۲-۴- 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 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 (E. Altuntas & Olaniyan & Oje, 2002; Erkol, 2009). با این روش سه محتوای رطوبتی برای هر کدام از ژنوتیپ‌ها حاصل شد. محتوای رطوبتی نمونه‌ها

چشمی مورد بازبینی قرار گرفتند و مواد خارجی و گردوهای که ترک برداشته بودند، جدا شدند.

۲-۲- طرح آزمایشی

گردوهای هر ژنوتیپ بعد از تعیین ابعاد، بر اساس قطر متوسط هندسی به سه دسته کوچک، متوسط و بزرگ تقسیم شدند. برای آزمون‌های فشار، آزمایش به صورت فاکتوریل با چهار فاکتور ژنوتیپ (a، b و c)، محتوای رطوبتی (سه سطح)، راستای اعمال بار (راستای X، راستای Y و راستای Z) و سرعت بارگذاری (۵، ۱۵ و ۳۰ میلی‌متر بر دقیقه) در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۵ تکرار در نظر گرفته شد. از نرم‌افزار SPSS19 برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد و نمودارها در Excel رسم شدند.

بر اساس درصد رطوبت خشک پایه بیان شد. درصد رطوبت خشک پایه، میزان آب موجود در واحد جرم نمونه خشک است. بنابراین می‌توان نوشت (Liang et al. 1989):

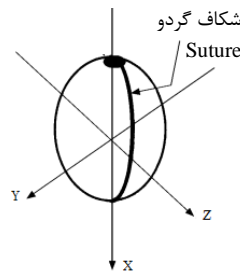
$$MC_{db} = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \times 100 \quad (3)$$

MC_{db}: درصد رطوبت خشک پایه، M₁: وزن نمونه مرطوب (گرم)،

M₂: وزن نمونه خشک (گرم)

۲-۵- آزمون‌های فشار

از دستگاه آزمون یونیورسال هانسفیلد H5KS موجود در دانشکده دندانپزشکی دانشگاه علوم پزشکی تبریز، برای انجام آزمون‌های فشار استفاده شد. دستگاه دارای سه واحد عمده بود: سکوی متحرک، واحد تواندهی و سیستم گیرنده اطلاعات. نمونه‌های گردو روی صفحه ثابت سکوی متحرک و در سه راستای X، Y و Z قرار گرفتند. سه راستای اعمال بار به گردو در شکل ۱ نشان داده شده است. فک بالایی دستگاه متحرک و به لودسل مدل HTE-5000 با ظرفیت ۵۰۰۰ نیوتن متصل بود. با اعمال نیرو، سیستم گیرنده اطلاعات، اطلاعات را به کامپیوتر منتقل کرد. نرم‌افزار Qmat3.96، منحنی نیرو در مقابل تغییرشکل را رسم کرد و این قابلیت را داشت که نیرو، تغییرشکل، انرژی و ... را در هر نقطه از نمودار نیرو-تغییر شکل محاسبه و ذخیره نماید. سرعت‌های بارگذاری ۵، ۱۵ و ۳۰ میلی‌متر بر دقیقه به منظور اعمال بار انتخاب شد. بارگذاری تا جایی ادامه یافت که نیرو به ۳۰ درصد بیشینه مقدار خود بعد از شکستن برسد. سپس نمونه‌های شکسته شده گردو تحت بازرسی چشمی قرار گرفتند و کیفیت مغز حاصله مشخص شد.



شکل ۱- راستاهای اعمال نیرو به گردو

Fig 1. Directions of applied force upon walnut

حالت رتبه ۱۰ (برای گردوهایی با ترک جزئی) اختصاص داده شد. چون داده‌ها در مقیاس رتبه‌ای بیان شدند فاقد 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 & Moghaddam, 2011):

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

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

که در آن، n تعداد تکرار و k تعداد تیمار است.

۳- نتایج و بحث

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 به‌صورت تجاری تکثیر و در احداث باغات مورد استفاده قرار گیرد موجود نیست. در عین حال در سال‌های اخیر موسسه 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 همانگونه که قبلاً اشاره شد آزمایش‌ها بر روی ژنوتیپ‌های موجود گردو انجام پذیرفت.

۳-۱- خواص فیزیکی گردوها

نتایج خصوصیات فیزیکی اندازه‌گیری شده گردوها به ترتیب در جدول ۲ آورده شده است. ژنوتیپ b ابعاد و در نتیجه قطر متوسط هندسی بزرگ-تری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها داشت و در مقایسه با ژنوتیپ a و c از

۲-۶- محاسبه کیفیت مغز

اعمال بار فشاری در برخی شرایط منجر به بیرون آمدن مغز نشد و برای این‌که 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 موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران مغز گردو در ۷ دسته کامل، نیمه، ربع، خرده، دندان، خاکه و مخلوط دسته‌بندی شده است (Anonymous, 1993). گویونچی و همکاران بر اساس تعداد تکه‌های به دست آمده از شکستن گردو، کیفیت مغز استخراجی را درجه بندی کردند (Koyuncu et al., 2004). عیب عمده روش مزبور این بود که مغز، فقط بر اساس تعداد تکه مغز به دست آمده دسته بندی 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. برخی محققان در مطالعه ترک‌دار شدن فندق، محصول شکستن فندق را به این صورت دسته‌بندی کردند (روش آن‌ها برگرفته از استاندارد ترکیه برای فندق بود): مغز آسیب‌دیده^۱، مغز بدون آسیب، مغز شکسته شده^۲، مغز باقی مانده در داخل پوسته^۳ (حالتی که حداقل یک‌ششم پوسته سخت جدا شده و مغز داخل پوسته باشد)، فندق دارای ترک، فندق ترک‌دار نشده و فندق قابل استحصال^۴ (مجموع پوسته داخل مغز، ترک‌دار شده و ترک‌دار نشده) (Ozdemir, 1999; Ozdemir & ozilgen, 1997). اسوگوو برای ارزیابی شکستن گردوی آفریقای، این حالت‌ها را در نظر گرفت: مغز بیرون آمده و بدون آسیب (FC)، مغز بیرون آمده و آسیب دیده^۵ (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 تاثیرگذار 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

4- Recyclable

5- Wounded

1- Damaged

2- Broken

3- Left-in-the-shell

روش غیرپارامتری کرو سكال واليس برای تجزیه واریانس استفاده شد که در جدول ۳ آورده شده است. در روش‌های غیرپارامتری نمی‌توان اثرات متقابل را بررسی نمود ولی اثر اصلی فاکتورهای ژنوتیپ، رطوبت و راستای بارگذاری در سطح احتمال یک درصد و اثر اصلی سرعت بارگذاری در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود.










پوسته ضخیم‌تری برخوردار بود. مقادیر ضخامت پوسته سخت برای دو ژنوتیپ a و c نزدیک به هم بود.

۳-۲- تجزیه واریانس

نتایج حاصل از شکستن گردو با مقیاس رتبه‌ای بیان شدند بنابراین از

جدول ۱- ارزیابی شکستن گردو و درجه‌بندی مغز گردو

Table 1. Evaluation of walnut cracking and walnut kernel quality grading

درجه Grade	تعداد تکه Number of parts	شکل Figure	توضیح Explanation	ارزیابی Evaluation
100	2		دو نصفه مغز Two half kernel	FC
80	3		یک نصفه مغز و دو تکه یک‌چهارم مغز One half kernel and two piece of quarter kernel	
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	
50	5		یک نصفه مغز و چهار تکه یک‌هشتم مغز One half kernel and four piece of one-eighth of kernel	
40	4		چهار تکه یک‌چهارم مغز Four piece of quarter kernel	FCB
30	5		سه تکه یک‌چهارم مغز و دو تکه یک‌هشتم مغز Three piece of quarter kernel and tow piece of one-eighth kernel	
20	6		دو تکه یک‌چهارم مغز و چهار تکه یک‌هشتم مغز Tow piece of quarter kernel and four piece of one-eighth kernel	
10	7		یک تکه یک‌چهارم مغز و شش تکه یک‌هشتم مغز A piece of quarter kernel and six piece of one-eighth of kernel	
5	8 و بیشتر Eight and more		هشت تکه یک‌هشتم مغز Eight piece of one-eighth of kernel	KLS
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)				
گردوهایی که ترک جزئی داشته باشند Walnuts whose shell was intact with only a minor crack				

جدول ۲. خواص فیزیکی ژنوتیپ‌های گردوی مورد مطالعه

Table 2- Physical properties of the studied walnut genotypes

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

انحراف استاندارد در داخل پارانتز آورده شده است. مقادیر با حروف غیریکسان در هر ستون، اختلاف معنی‌دار باهم دارند.

جدول ۳- تجزیه واریانس داده‌های شکستن گردو

Table 3. Analysis of Variance of data from walnut cracking

میانگین رتبه‌ها Sum of ranks	تیمار Treatment
786.23 ^a	a
1013.36 ^b	b
721.76 ^a	c
1041.29 ^a	H ₁
808.88 ^b	H ₂
736.42 ^b	H ₃
778.89 ^a	X
957.64 ^b	Y
841.33 ^c	Z
896.55 ^a	5
823.85 ^b	15
861.02 ^{ab}	30

مقادیر با حروف غیریکسان در هر گروه تیمار، اختلاف معنی‌دار باهم دارند، ** معنی‌دار در سطح احتمال یک‌درصد، * معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد.

۳-۳- اثر رطوبت

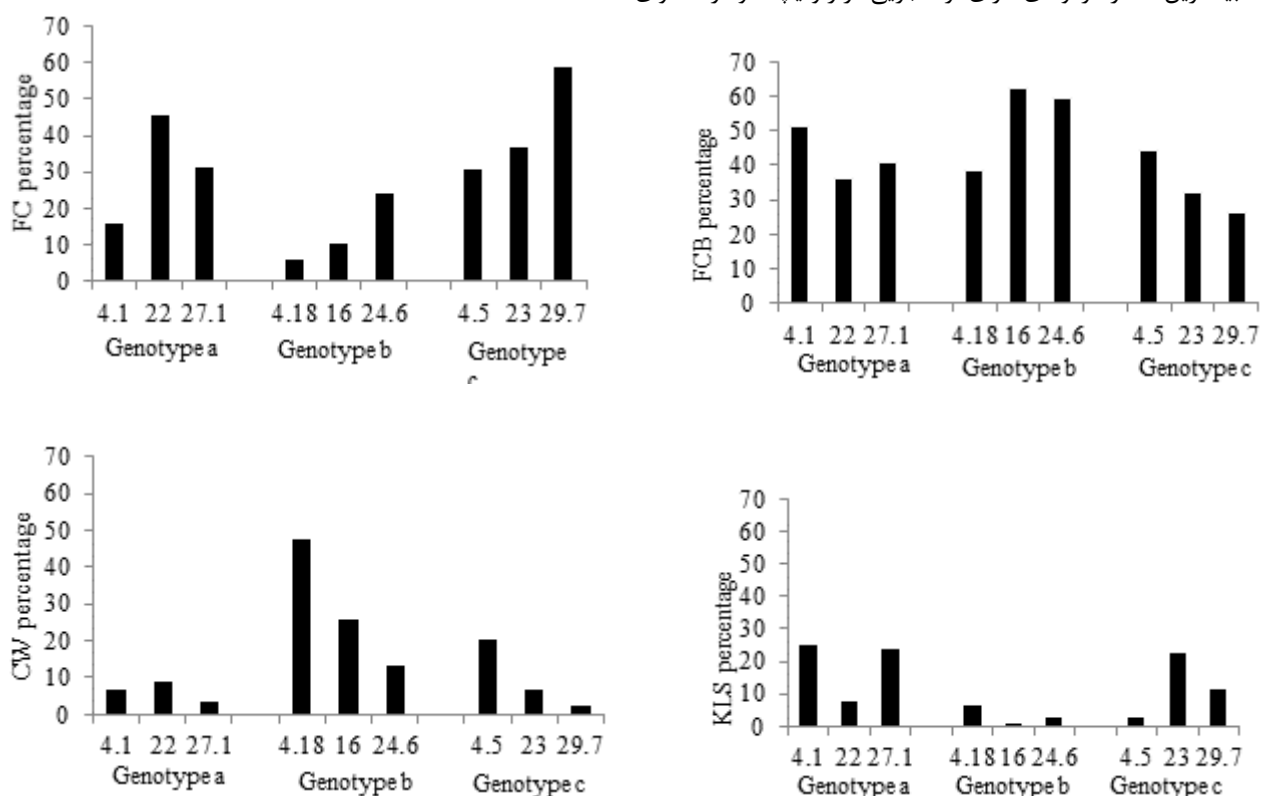
برداشت شده با محتوای رطوبتی ۶۰ درصد خشک پایه در نظر گرفته و محتوای رطوبتی پایین‌تر با خشک کردن در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد حاصل شد. ایشان نتیجه گرفت که با افزایش محتوای رطوبتی، درصد مغزهای سالم کاهش می‌یابد و علت بالا بودن درصد مغزهای سالم در رطوبت‌های پایین را چنین بیان کردند که با خشک کردن سریع 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 بدست آید (Asoegwu, 1995).

بیشترین درصد مغز سالم در ژنوتیپ سوم و در محتوای رطوبت

شکل ۲ اثر رطوبت در هر سه ژنوتیپ را نشان می‌دهد. در ژنوتیپ a با افزایش محتوای رطوبتی از ۴،۱ به ۲۲، درصد مغزهای سالم (FC) افزایش و با افزایش محتوای رطوبتی به ۲۷،۱ درصد کاهش یافت. شهبازی (۲۰۱۳) نتیجه گرفت که در آزمون ضربه با افزایش محتوای رطوبتی گردو از ۹/۲۵ به ۱۵/۹۸ میزان FC افزایش و با افزایش بیشتر محتوای رطوبتی کاهش یافت. اسوگوو اثر محتوای رطوبتی روی خردشدگی مغز حاصل از شکستن گردوی آفریقایی را بررسی نمود. در ابتدا محصول تازه

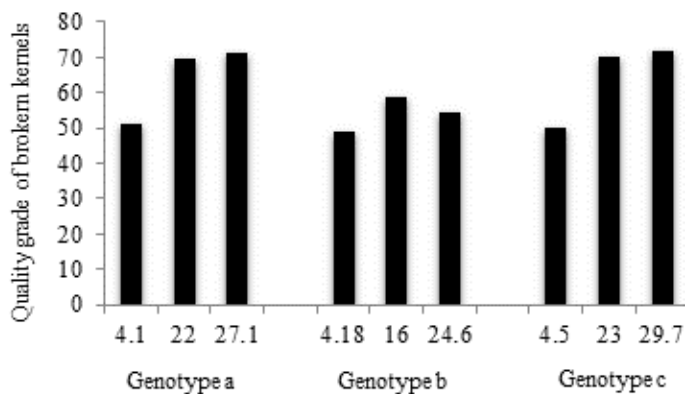
رطوبتی ۴/۱۸ خشک‌پایه اتفاق افتاد. در این حالت شکستن گردو با کمترین تغییر شکل اتفاق افتاد که حاصل آن گردوهایی بود که درصد دارای ترک جزئی بیشتر بود. درجه کیفیت مغز شکسته، با افزایش محتوای رطوبتی، افزایش یافت. علت این امر را می‌توان چنین بیان کرد که مغز گردو با جذب آب، نرم‌تر شده و در مقابل اعمال نیرو، تغییر شکل نشان می‌دهد ولی در حالت خشک، بصورت شکننده رفتار می‌کند.

۲۹/۷ خشک‌پایه بدست آمد. با افزایش محتوای رطوبتی، درصد مغزهای شکسته در ژنوتیپ‌های a و c کاهش ولی در ژنوتیپ b افزایش نشان داد. در ژنوتیپ‌های a و c به دلیل نازک بودن پوسته سخت، مغز به قدر کافی آب جذب نمود که با افزایش تغییر شکل، دچار شکستگی نشود ولی در ژنوتیپ b پوسته دارای ضخامت بیشتری بود که موجب شد نفوذ آب به مغز گردو نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها کمتر باشد. درصد گردوهایی که ترک جزئی داشتند، با افزایش رطوبت، کاهش یافت. بیشترین مقدار گردوهای دارای ترک جزئی در ژنوتیپ b و در محتوای



شکل ۲- اثر محتوای رطوبتی روی شکستن گردو در ژنوتیپ‌های a، b و c. FC: گردو به صورت کامل شکسته شده، مغز کامل بیرون آمده و دارای شکستگی نباشد، FCB: گردو به صورت کامل شکسته شده، مغز کامل بیرون آمده و مغز دارای شکستگی باشد، KLS: مغز داخل پوسته (حالتی که حداقل یک‌ششم پوسته سخت جدا شده و مغز داخل پوسته باشد)، CW: گردوهایی که ترک جزئی داشته باشند.

Fig 2. Effect of moisture content on walnut cracking in Genotype a, Genotype b, Genotype c, FC: Walnuts fully cracked with undamaged kernel released, FCB: Walnuts fully cracked with damaged kernel released, KLS: left -in the -shell kernels (kernels, trapped inside a partially broken shell, at least one-sixth of the shell is broken), CW: Walnuts whose shell was intact with only a minor crack.



شکل ۳- اثر محتوای رطوبتی روی کیفیت مغز گردو

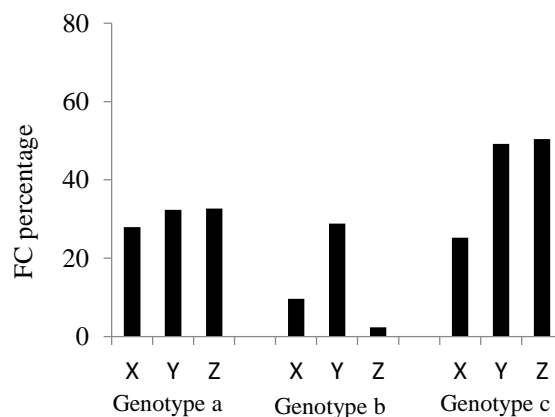
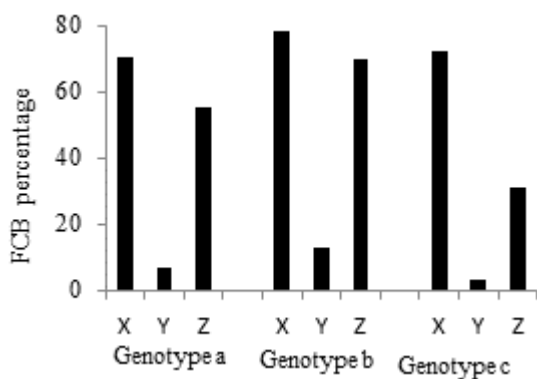
Fig 3. Effect of moisture content on walnut extraction quality

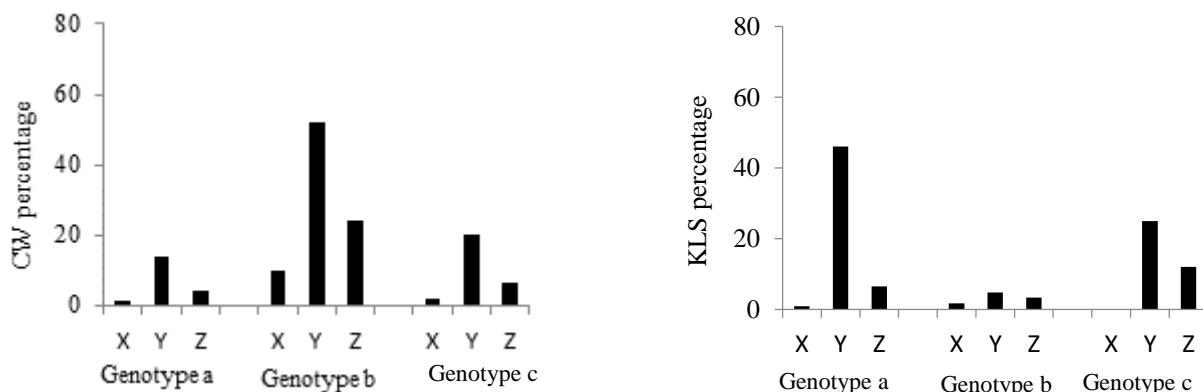
Y، اگر گردو به صورت کامل می‌شکست، مغز سالم بیشتری حاصل می‌شد. در راستای X، کمترین درصد CW و KLS اتفاق افتاد. یعنی شکستن گردو در این راستا به‌طور کامل انجام شد. اثر راستای بارگذاری روی درجه کیفیت مغزهای شکسته، در شکل آورده شده است. در راستای Y، اگرچه درصد گردوهایی که کامل شکسته بودند کم بود، ولی درجه کیفیت مغز نیز بالاتر بود. بین دو راستای X و Z از نظر کیفیت مغز شکسته، تفاوت چندانی مشاهده نشد. گویونچی و همکاران (۲۰۰۴a) درجه کیفیت مغز ۸۹/۴، ۸۶/۳۱ و ۷۰ را به ترتیب برای راستای X، Y و Z به‌دست آوردند. تفاوتی بین راستای X و Y در مطالعه ایشان وجود نداشت. البته مطالعات آن‌ها در محتوای رطوبتی ثابت انجام شد.

۳-۴- اثر راستای بارگذاری روی ارزیابی شکستن

گردو

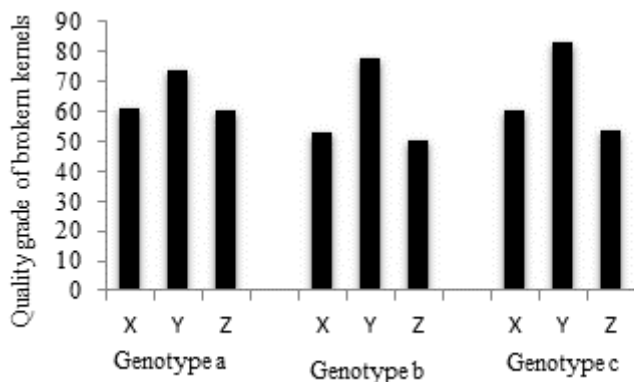
یکی از عواملی که تاثیر بسزایی در شکستن گردو و درجه کیفیت مغز داشت، اثر راستای بارگذاری بود. ژنوتیپ c کمترین درصد مغز شکسته و بیشترین درصد مغزهای سالم را دارا بود. بیشترین و کمترین درصد مغزهای شکسته به ترتیب در راستای X و Y مشاهده شد (شکل ۴). از طرفی بیشترین درصد مغزهای سالم در راستای بارگذاری Y بدست آمد ولی بیشترین درصد CW و KLS در این راستا بود. بنابراین در راستای





شکل ۴: اثر راستای اعمال نیرو روی ارزیابی شکستن گردو

Fig 4. Effect of loading direction on the evaluation of walnut cracking



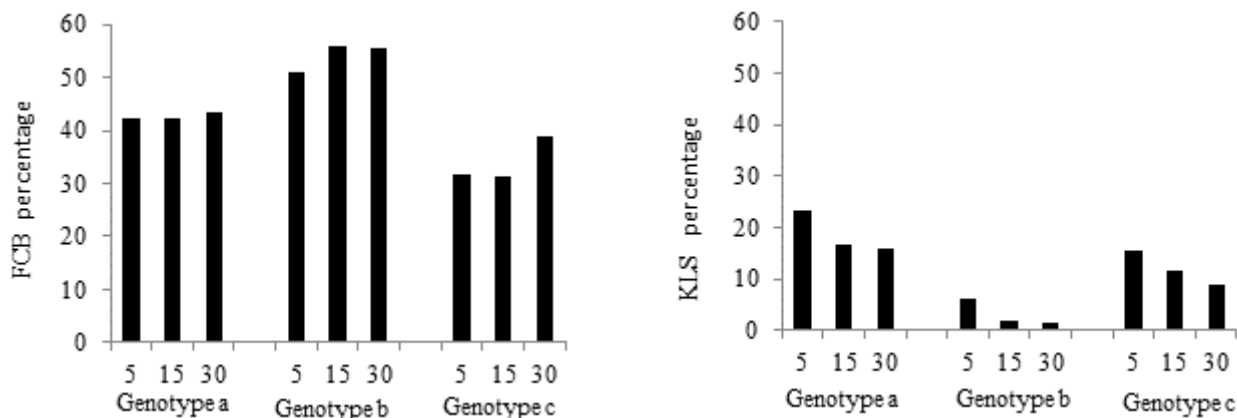
شکل ۵- اثر راستای بارگذاری روی درجه کیفیت مغز گردو

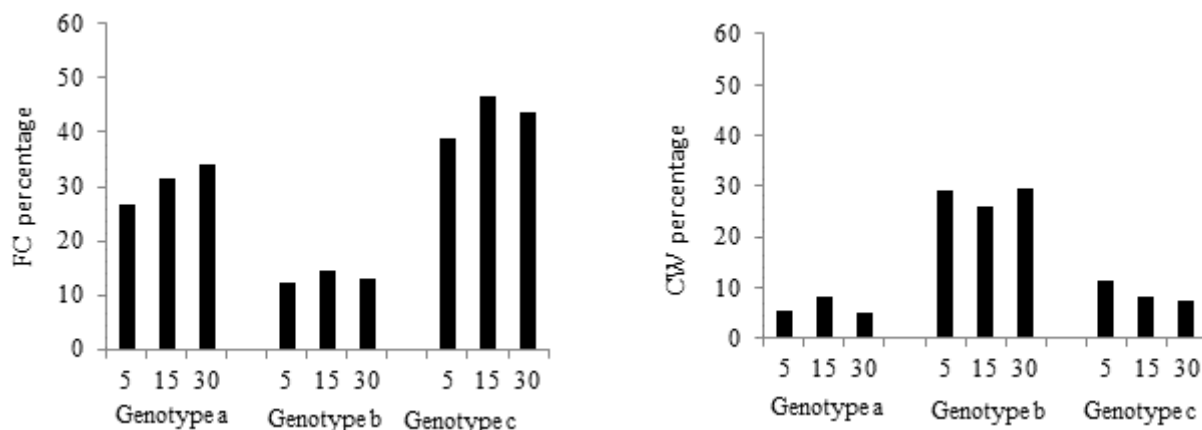
Fig 5. Effect of loading direction on the walnut extraction quality

نشان می‌دهد. با افزایش سرعت بارگذاری درصد مغزهای شکسته افزایش و درصد گردوهای KLS کاهش یافت. در حالت کلی سرعت بارگذاری در محدوده مورد مطالعه تاثیر بسزایی در شکستن گردو نداشت.

۵-۳- اثر سرعت بارگذاری روی ارزیابی شکستن گردو

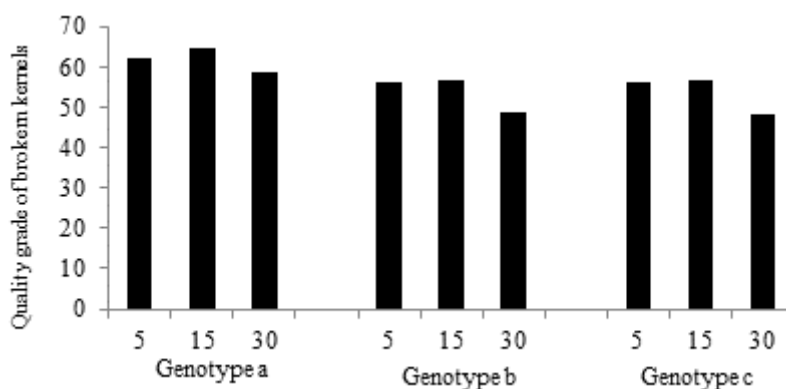
شکل ۶ اثر سرعت بارگذاری روی شکستن گردو در هر سه ژنوتیپ را





شکل ۶- اثر سرعت بارگذاری روی ارزیابی شکستن گردو

Fig 6. Effect of loading speed on evaluation of walnut cracking



شکل ۷- اثر سرعت بارگذاری روی درجه کیفیت مغز در گردو

Fig 7. Effect of loading speed on walnut extraction quality

۴- نتیجه گیری

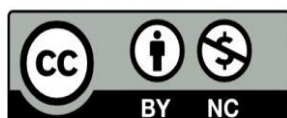
بیشترین درصد CW (گردو با ترک جزیی) و KLS (گردوهایی که مغز گردو داخل پوسته باشد و حداقل یک ششم پوسته جدا شده باشد) در این راستا بود. یعنی در صورت مدنظر قرار دادن راستای Y، بایستی ترتیبی اتخاذ شود که گردو بطور کامل شکسته شود. در حالت کلی، بهینه ترین حالت شکستن از لحاظ کیفیت مغز، زمانی بود که گردوها ۱۲ ساعت در آب خیسانده شده بودند و راستای بارگذاری Y انتخاب شده بود

اثرات ژنوتیپ، راستای بارگذاری، محتوای رطوبتی و سرعت بارگذاری روی شکستن گردوی ایرانی تحت بار شبه استاتیک مورد ارزیابی قرار گرفت با افزایش رطوبت در حالت کلی درصد گردوهای سالم و درجه کیفیت مغزهای شکسته افزایش یافت. پس باید در شکستن گردو با نیروی فشاری، به رطوبت دهی توجه بیشتری کرد. بیشترین و کمترین درصد مغزهای شکسته به ترتیب در راستای X و Y مشاهده شد. از طرفی بیشترین درصد مغزهای سالم در جهت بارگذاری Y به دست آمد اما

۵- منابع

- Altuntas, E., and Erkol, M. (2009). *The effects of moisture content, compression speeds, and axes on mechanical properties of walnut cultivars*. Food and Bioprocess Technology, 4(7), 1288-1295 .
- Altuntas, E., and Ozkan, Y. (2008). *Physical and mechanical properties of some walnut (Juglans regia L.) cultivars*. International Journal of Food Engineering, 4(4), 1-14 .
- Anonymous. (1993). *Walnut kernel-specification and methods of test*: Institute of Standards and Industrial Research of Iran.
- Anonymous.(2016). *Food and Agriculture Organization (FAO)*.
- Asoegwu, S. N. (1995). *Some physical properties and cracking energy of conophor nuts at different moisture contents*. Int. Agrophysics, 9, 131-142 .
- Braga, G. C., Couto, S. M., Hara, T., and Almeida Neto, J. T. P. (1999). *Mechanical behaviour of macadamia nut*

- under compression loading*. Journal of agricultural engineering research, 72(3), 239-245 .
- Fraser, B. M., Verma, S. S., and Muir, W. E. (1978). *Some physical properties of fababeans*. Journal of Agricultural Engineering Research, 23(1), 53-57 .
- Gbadam, E. K., Anthony, S., & Asiam, E. K. (2009). The determination of some design parameters for palm nut crackers. European Journal of Scientific Research 29 (2), 315-327 .
- Gharibzahedi, S. M. T., Mousavi, S. M., Hamed, M., Khodaiyan, F., and Dadashpour, A. *Mechanical behavior of Persian walnut and its kernel under compression loading: An experimental and computational study*. Journal of Food Processing and Preservation .
- Koyuncu, M. A., Ekin, K., and Savran, E. (2004). *Cracking characteristics of walnut*. Biosystems Engineering, 87(3), 305-311 .
- Liang, T., Chou, J., and Knapp, R. (1988). *Notching and freezing effect on macadamia nut kernel recovery*. Journal of Agricultural Engineering Research, 41(1), 43-52 .
- Liang, T., Mehra, S. K., and Khan, M. A. (1989). *A macadamia nut curing system for improving kernel recovery*. Journal of Agricultural Engineering Research, 43(0), 103-111.
- Mohammadi Ghermezgoli, K., Ghassemzadeh, H. R., Navid, H., Moghaddam, M., and Ghaffari, H. (2014). *Evaluation of Walnut Kernel Quality (as Degree of Crushing) Obtained Under Impact Loading*. Journal of Agricultural Machinery, 4(1), 11-20.
- Mohsenin, N. N. (1986). *Physical properties of plant and animal materials: structure, physical characteristics, and mechanical properties*: Gordon and Breach.
- Ojolo, J. S., and Eweina, B. A. (2017). *Predicting cashew nut cracking using hertz theory of contact stress*. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences.
- Olaniyan, A. M., and Oje, K. (2002). *Some aspects of the mechanical properties of shea nut*. Biosystems Engineering, 81(4), 413-420 .
- Ozdemir, M. (1999). *Comparison of the quality of hazelnuts shelled with modified conical sheller and stone sheller*. Journal of Agricultural Engineering Research, 72(3), 211-216 .
- Ozdemir, M., and ozilgen, M. (1997). *Comparison of the quality of hazelnuts unshelled with different sizing and cracking systems*. Journal of Agricultural Engineering Research, 67(3), 219-227 .
- Pahnaei, S. (2007). *Biological and morphological studies of walnut population in Horand region for selection the better genotypes*. (M. Sc), University of Tabriz, Tabriz .
- Shahbazi, F. (2013). *Effective conditions for extracting higher quality kernels from walnuts*. Quality Assurance and Safety of Crops & Foods, 5(3), 199-206 .
- Valizadeh, M., and Moghaddam, M. (2011). *Experimental designs in agriculture* (5 ed.). Tabriz: Parivar Publication.
- Xavier, J. A. (1992). *Study of macadamia nut breakage*. Unpublished M. Sc. Thesis, Botucatu, SP, UNESP .
- Zhang, H., Shen, L., Lan, H., Li, Y., Liu, Y., Tang, Y., and Li, W. (2018). *Mechanical properties and finite element analysis of walnut under different cracking parts*. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 11(6), 81-88 .



This is an open access article under the CC BY NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/>)