مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی/جلد ۱٤/ شماره ٤/سال ۱۳۹۲/ص ۱۱٦-۱۰۵

ساخت و ارزیابی دستگاه گردوشکن تک پوسته‌ای خمره‌ای

حجت حجازی‌پور*، رحیم ابراهیمی و مهدی قاسمی ورنامخواستی**

* نگارنده مسئول، نشانی: شهرکرد، دانشگاه شهرکرد، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، تلفن ۴۲۲۰۳۷۲(۰۳۸۱)، ص. پ. ۱۱۵، پیام‌نگار: hojathejazipoor@yahoo.com

** به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد؛ و استادیاران گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه شهرکرد

تاریخ دریافت: ۹۱/۷/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۲/۵

چکیده

گردو یکی از محصولات مهم خشکباری دنیاست و سطح زیر کشت آن هر ساله رو به فزونی است. بر اساس آمار سازمان خواروبار و کشاورزی جهان (FAO)، میزان صادرات این محصول در سال ۲۰۰۸ حدود ۱/۱۷ میلیارد دلار بوده است. ایران منشا تولید گردو و سومین کشور تولیدکننده این محصول در دنیاست. توجه به مراحل مختلف از تولید تا مصرف گردو بسیار با اهمیت است. از آن‌جا که مغز گردوی با کیفیت بسیار بالا بازارپسندتر است، لذا شرایطی که بتواند این موضوع مهم را عملی سازد بسیار ارزشمند خواهد بود. برای دستیابی به این هدف، دستگاه گردوشکن تک پوسته‌ای خمره‌ای ساخته و ارزیابی شد. به همین منظور نحوه شکستن محصول و کیفیت مغز آن در چهار گروه اندازه‌بندی متفاوت، چهار دور روتور دوار دستگاه و در چهار سطح رطوبتی با سه تکرار در هر نمونه بررسی شد. نتایج پس از ویرایش داده‌ها به‌صورت آماری تجزیه و تحلیل و مشخص شد که مغز گردوی با کیفیت بالا در سطح رطوبتی ۱۰ تا ۱٤ درصد، سرعت ۲۸۰ دور بر دقیقه روتور دوار دستگاه و از گردوهایی به‌دست می‌آید که قطر بزرگ‌تر آن‌ها ۳۱/۷۵ تا ۳۰/۵۵ میلی‌متر باشد.

واژه‌های کلیدی

درجه‌بندی گردو، دستگاه گردوشکن صنعتی، کیفیت مغز گردو

مقدمه

در بین کشورهای تولیدکنندهٔ گردو، ایران با ۱۴۲۰۰۰ تن تولید در سال ۲۰۰۰ میلادی، ۱۲/۰۱ درصد از تولید دنیا را داشته و پس از چین و آمریکا در مکان سوم بوده است (Satari- Najaf Abadi, 2011). در بین محصولات باغی، گردو با حدود ۲۱۴ هزار هکتار معادل ۸/۳ درصد از سطح باغ‌های کشور را دارد (Anon, 2010). با عنایت به این‌که روز به روز کشت درختان گردو در ایران توسعه می‌یابد و این‌که گردو به محصولی ارزآور و مهم در کشور محسوب می‌شود، توجه به توسعه و بهبود روند تولید و فناوری آن از اهمیت خاصی دارد (Zabolestani, 1998). گردو با داشتن مقدار زیادی ویتأمین B، به‌ویژه ویتأمین B1 (۰/۲ تا ۰/۴۸ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم مغز گردو)، نقش مهمی در تعادل متابولیسم اعصاب انسانی دارد (Beyhan *et al.*, 1995). خواص بسیار مفید این محصول با ارزش و تاثیرات آن بر سلامت انسان، بر اهمیت این محصول می‌افزاید. مسلما در طراحی هر دستگاهی بررسی تحقیقات پیشین محققان ضروری است؛ زیرا مبین روش‌های جدید در طراحی و ساخت خواهد بود. در دهه دوم قرن گذشته، ریدله (Riddle, 1923) یک دستگاه گردوشکن ابداع و معرفی کرد. مکانیزم این دستگاه شامل دو روتور هلیس‌گونه است که در جهت عکس هم می‌چرخند. روی بدنه خارجی این روتورها، شیارهای هلیس‌گونه‌ای تعبیه شده که به درگیری بهتر محصول و

Archive of SID

www.SID.ir

در نهایت شکست بهتر آن می‌انجامد. نیروی دورانی اولیه، باعث چرخش روتورها در خلاف جهت همدیگر می‌شود. با سقوط گردو از درون قیف به فاصلهٔ میان این دو روتور و اعمال فشار از دو طرف، گردو می‌شکند. دین‌دال (Dean Dale, 1950) نیز یک دستگاه گردوشکن دستی طراحی کرده است. این دستگاه گردوها را تک‌تک و با نیروی اولیهٔ دست انسان می‌شکند و بیشتر مصرف خانگی دارد. نیروی دورانی که به‌دسته وارد می‌شود، توسط دو چرخ دنده تبدیل به نیرویی عمودی شده و این نیرو به شافتی که به سمت پایین حرکت می‌کند وارد می‌شود، که فاصلهٔ فکی متحرک و فکی ثابت را کاهش می‌دهد. با قرار دادن گردو میان این دو فک نیرو به گردو وارد شده و آن را می‌شکند. دستگاه دیگری توسط مولوانی (Mulvany, 1954) ساخته شده است. این دستگاه دارای قیفی v شکل است که محصول درون آن ریخته می‌شود. در زیر قیف، محلی مانند ریل برای محصول وجود دارد که باعث می‌شود گردوها پشت سر هم درون ریل قرار گرفته و به‌صورت خطی به سمت واحد شکنندهٔ دستگاه منتقل شوند. در واحد شکنندهٔ دستگاه، هر گردو میان دو فک متحرک محکم نگه‌داشته می‌شود. در همین اثنا دو غلتک شیاردار هم از دو سوی دیگر از گردو حمایت می‌کنند و در نهایت ضربهٔ چکش گردو را می‌شکند. طراحی دستگاه به گونه‌ای است که ضربهٔ چکش هنگامی وارد می‌شود که گردو از طرفین محکم نگه‌داشته شده و آمادهٔ دریافت ضربه و در نهایت شکسته شدن است. از دیگر دستگاه‌های گردوشکن، دستگاهی است که میشل و همکاران (Michael *et al*, 1994) ساخته شده است. در این دستگاه یک عضو گردنده با حفره‌هایی پیرامون آن وجود دارد. اندازهٔ حفره‌ها به گونه‌ای است که هر حفره فقط یک گردو را در خود جای می‌دهد. گردوها پس از پر شدن قیف ورودی در دسترس قرار می‌گیرند. صفحه‌ای هدایت-کننده در زیر سلول‌های دستگاه وجود دارد که باعث می‌شود گردوها در مسیر ریل مانند قرار گیرند. با گردش ریل دایره‌ای شکل، گردوها به واحد شکننده می‌رسند و در اثر ضربه ناشی از هد شکننده در جهت طولی و مقاومت ناشی از محل قرارگیری، شکسته می‌شوند. اولوول و همکاران (Oluwole *et al*., 2004) پس از طراحی دستگاه بادام‌شکن، آن را ساخته و عملکردش را ارزیابی کردند. این دستگاه شامل یک پوستهٔ استوانه‌ای، یک دیسک فنری، سطح شکست دانه و یک پایه افقی است که روی یک شافت عمودی قرار گرفته است. پره‌هایی به‌صورت عمودی روی دیسک جداسازی قرار گرفته‌اند که همراه با دیسک و به کمک نیروی الکتروموتور می‌چرخند. با چرخش دیسک و پره‌ها، بخش شکننده کار خود را شروع می‌کند. دانه‌ها پس از سقوط روی دیسک بر اثر نیروی گریز از مرکز و با کمک پره‌ها به پوسته استوانه‌ای دستگاه برخورد کرده و می‌شکنند. مغز و پوسته در واحد جداسازی، تحت فشار هوا از هم تفکیک و از طریق کانال‌هایی از دستگاه خارج می‌شوند. این محققان پس از تست و ارزیابی دستگاه اعلام کردند که مقدار رطوبت دانه‌ها روی درصد شکست و بازده جداسازی مؤثر است. همچنین از نظر آماری، سرعت تغذیه و آرایش پره‌های دیسک اثر قابل توجهی روی درصد دانه‌های شکسته شده دارد. مقدار رطوبت و سرعت تغذیه‌ای که بیشترین عملکرد شکست دانه را به‌دست می‌دهد به‌ترتیب ٢٢/٧ درصد و ١١/٤ کیلوگرم بر ساعت، است. دستگاه گردوشکن ساخته شده توسط غفاری و همکاران (Ghafari *et al*., 2011) دارای سیلندری به شکل مارپیچ هلیس‌گونه است که درون پوسته‌ای استوانه‌ای آزادانه قادر به چرخیدن است. با چرخش سیلندر درون پوسته، فاصله آزاد این دو قطعه کم‌تر و کم‌تر می‌شود تا جایی که محصول قرار گرفته شده درون شیارهای سیلندر در اثر نیروهای وارد شده به آن می‌شکند. ظرفیت این دستگاه ٢٥/٢ کیلوگرم بر ساعت و میزان شکست آن ٦٦/٦٦ درصد

www.SID.ir

است. با توجه به‌دستگاه‌های موجود و شرایط فصل برداشت محصول، هنوز هیچ دستگاهی مورد استقبال کشاورزان قرار نگرفته است. از آن‌جا که در فصل برداشت، باغدار با دو عامل محدودکننده روبه‌روست (یکی تولید زیاد و دیگری محدودیت زمان ارائه محصول با کیفیت به بازار). لذا ناگزیر به مغز کردن گردو در زمانی کوتاه توسط نیروی کارگر و به روش دستی است که در این مرحله به علت تنگی وقت و بی‌دقتی در نحوهٔ شکستن دانه، تلفات و ضایعات مغز گردو بسیار بالاست. هدف از پژوهش حاضر طراحی و ساخت دستگاهی است که بتواند گردوها را به‌صورت عمده و با دقت مناسب، در کم‌ترین زمان موجود و با کم‌ترین هزینه شکسته و فرآورده حاصل را برای جداسازی مغز از پوستهٔ چوبی در اختیار کارگر قرار دهد و در عین‌حال بتواند از تلفات جلوگیری و به‌طور مؤثر به بهبود کیفیت مغز گردو مؤثری کمک کند.

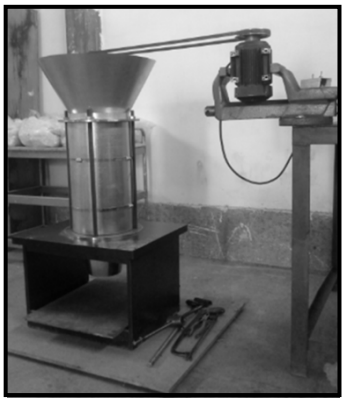
مواد و روش‌ها

شکل ۱ دستگاه گردوشکن طراحی و ساخته شده در دانشگاه شهرکرد را نشان می‌دهد. این دستگاه گردوشکن یک نیمهٔ مخروط شیاردار از جنس فولاد (روتور دوران‌کننده) است که درون یک استوانهٔ فولادی به چرخش درمی آید. این روتور، شافتی بلند دارد که با چرخش آن نیمهٔ مخروط فولادی دستگاه به گردش درمی‌آید. نیروی چرخش روتور و شافت می تواند دستی یا از طریق یک الکتروموتور تأمین شود. گردو از قیف هدایت‌کننده، که در بالا قرار دارد، به فضای آزاد میان نیمه مخروط و پوستهٔ استوانه‌ای هدایت می‌شود. گردوها تک‌تک به درون شیارهای تعبیه شدهٔ دور تا دور روتور دوار داخل شده و میان روتور و پوسته گیر می‌کنند. گردو در اثر درگیری، میان روتور دوار و پوستهٔ دستگاه، به‌صورت ملایم می‌شکند. پروفیل شیارهای ایجاد شده در پوسته باید به گونه‌ای باشد که علاوه بر هدایت گردو به درون دستگاه مانع از درگیری زیاد محصول با روتور و پوسته شود. درگیری زیاد محصول با روتور دوار و پوسته، عاملی مهم در خرد شدن مغز و کاهش کیفیت آن است. میزان این درگیری باید به گونه‌ای باشد که پس از سقوط محصول به درون دستگاه، نیرویی اندک به گردو وارد و فقط شکافی در آن ایجاد شود و تا حد امکان به مغز آسیب نرساند. پوستهٔ مزبور دو نوع شیار دارد. نوع اول، شیارهایی به‌صورت مارپیچ هلیس‌گونه، محصول را به داخل دستگاه هدایت می‌کند و نوع دیگر، شیارهایی در جهت طولی پوسته، که این نوع شیار به درگیری و شکسته شدن بهتر محصول کمک می‌کند. محصول شکسته شده، به کمک قیف هدایت‌کنندهٔ پایینی به خارج از دستگاه و به درون ظرفی که زیر میز مخصوص نگهدارندهٔ دستگاه قرار دارد، هدایت می‌شود. بدین ترتیب پوست و مغز گردوهای شکسته شده را می‌توان با نیروی کارگر و یا مکانیزم دیگری از یکدیگر جدا کرد. دستگاه این قابلیت را دارد که تمامی قطعات آن از هم باز و پس از عیب‌یابی و تعویض قطعات معیوب، مجدداً مونتاژ گردد.

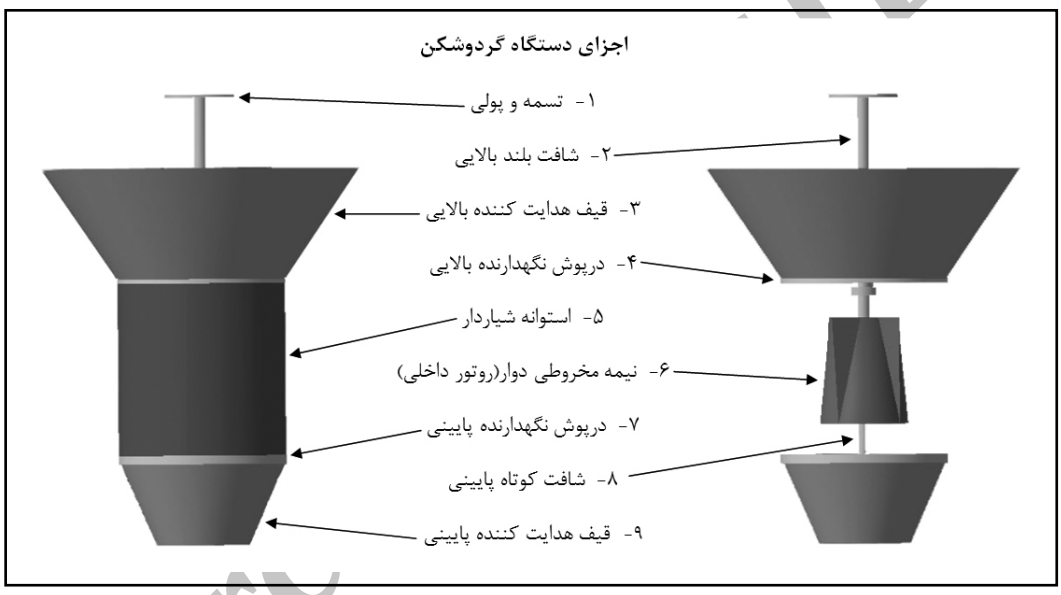
اجزای دستگاه ساخته شده عبارتند از: قیف هدایت‌کنندهٔ بالایی، درپوش بالایی، استوانهٔ شیاردار، نیمهٔ مخروطی دوار (روتور داخلی)، شافت بلند بالایی، شافت کوتاه پایینی، درپوش نگهدارندهٔ پایینی، قیف هدایت کنندهٔ پایینی، تسمه و پولی، میز مخصوص نگهدارنده، یاتاقان ها، بلبرینگ‌ها، ظرف جمع‌آوری پوست و مغز و تعداد قابل توجهی پیچ و مهره. برخی از قطعات یاد شده در شکل ۲ قابل مشاهده‌اند.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ١- تصویری از گردوشکن ساخته شده



شکل ٢- شماتیک دستگاه طراحی شده همراه با قطعات آن در نرم‌افزار Catia V5/R20

دستگاه مزبور برای مصارف گوناگون صنعتی و خانگی، در ابعاد و اندازه‌های متنوعی قابل ساخت و ارزیابی است. ظرفیت دستگاه وابسته به اندازهٔ آن است. قابلیت دستگاه به صورتی است که در مصارف خانگی در حدود ١٠ گردو در دقیقه و در مصارف صنعتی و کشاورزی مکانیزه، حدود ٣٠ کیلوگرم از محصول را در یک ساعت بشکند و فرآورده را برای جداسازی پوست از مغز در اختیار کاربر قرار دهد. در زیر قسمتی از محاسبات مربوط به طراحی و ساخت دستگاه گردوشکن بیان شده است. محاسبه توان دستگاه، به‌صورتی‌که محصول پس از سقوط درون شیارهای روتور و درگیر شدن میان روتور و پوسته، قادر به شکستن آن باشد.

شکست پوست چوبی گردو به‌طوری که به مغز آسیب نرسد، هدف نهایی این تحقیق است. روتور دوار دستگاه باید با توان قابل قبولی به گردش درآید، تا قادر باشد محصول را با کیفیت بالا بشکند. از آن‌جا که نیروی لازم برای شکستن گردوهای مختلف متفاوت است، می‌توان محاسبات را به‌صورت پارامتری انجام داد تا پس از ارزیابی

www.SID.ir

دستگاه و آزمون و خطا به‌صورت عملی با میانگین‌گیری نهایی، توان مطلوب دستگاه را توصیه کرد. با توجه به شکل ۳، نیروهای وارد شده به گردو در حالی بررسی می‌شود که محصول در دستگاه سقوط کرده، در شیارهای روتور مستقر شده، و در آستانه شکستن قرار گرفته است. در این حال، گردو تحت تاثیر نیروی وزن و نیروی F_μ، که از طرف روتور به آن وارد می‌شود، قرار می‌گیرد. با توجه به قوانین دینامیکی، رابطهٔ ۱ برقرار است.

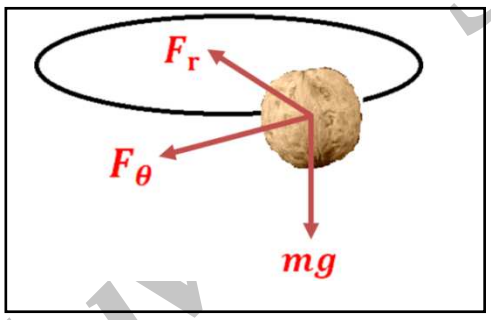
$$\omega^2 - {\omega_0}^2 = 2\alpha\theta \qquad (۱)$$

که در آن،

ω = سرعت زاویه‌ای روتور دستگاه برحسب رادیان بر ثانیه؛ ω_0 = سرعت زاویه‌ای اولیهٔ روتور برحسب رادیان بر ثانیه؛ α = شتاب زاویه‌ای بر حسب رادیان بر مجذور ثانیه؛ و θ =زاویه گردش روتور بر حسب رادیان.

از آن‌جا که روتور دوار دستگاه از حال سکون شروع به حرکت می‌کند، پس $\omega_0 = 0$ و از روابط دینامیکی $\theta = 2\pi N$ (N: سرعت گردش روتور دستگاه) است، بنابراین با جای‌گذاری آن‌ها در رابطهٔ ۱، رابطه ۲ حاصل می‌شود:

$$\omega^2 = 4\pi N\alpha \qquad (۲)$$



شکل ۳- موقعیت نیروهای وارده به گردو

در این رابطه، F_θ نیروی مماسی و F_r نیروی شعاعی بر حسب نیوتن است که از طرف لبه‌های شیار روتور دوار به گردو وارد می‌شود. به کمک روابط ۳ و ۴ این نیروها قابل محاسبه‌اند:

$$F_r = -mr\omega^2 = -mr \times (4\pi N\alpha) \qquad (۳)$$

$$F_\theta = mr \qquad (۴)$$

در این روابط، m جرم گردویی است که به‌صورت پیش‌فرض درون شیار روتور دستگاه قرار گرفته است. از آن‌جا که دستگاه برآیند این نیروها را به گردو وارد می‌کند (مقدار F_μ که همان نیروی مورد نیاز روتور جهت شکست گردو است)، رابطه ۵ به‌دست می‌آید:

$$F_\mu = \sqrt{{F_r}^2 + {F_\theta}^2} = \left(\sqrt{1 + 16\pi^2N^2}\right) mr\alpha \qquad (۵)$$

از آن‌جا که مقدار نیروی F_μ برای گردوهای متفاوت متغیر است، لذا با توجه به میانگین نیروهای مورد نیاز برای شکستن گردوهای خشک، که قبلا اندازه‌گیری شده، مقدار این نیرو ۲۰ کیلونیوتن در نظر گرفته می‌شود. بنابراین از رابطهٔ ۵ رابطه ۶ حاصل می‌شود:

$$\left(\sqrt{1 + 16\pi^2N^2}\right) mr\alpha = 20 \qquad (۶)$$

$$N = \frac{\sqrt{400 - m^2r^2\alpha^2}}{4\pi mr\alpha}$$

Archive of SID

www.SID.ir

از رابطهٔ ۷ توان روتور به‌دست می‌آید:

$$P = 2F_{\mu}\pi r = \frac{10}{\alpha}\sqrt{400 - m^2r^2\alpha^2} \qquad (۷)$$

از آن‌جا که گردوها دارای اوزان متفاوتی هستند، با میانگین‌گیری از نمونه گردوهای خشک این مقدار برابر ۶/۰۸ گرم در نظر گرفته می‌شود. شعاع روتور دوار نیز ۷/۵ سانتی‌متر محاسبه شده است. حاصل‌ضرب m^2r^2 عددی بسیار کوچک است و لذا می‌توان حاصل $m^2r^2\alpha^2$ را 0 در نظر گرفت. پس رابطهٔ ۷ به‌صورت رابطه ۸، خلاصه خواهد شد:

$$P = \frac{200}{\alpha} \qquad (۸)$$

یعنی مقدار توان مصرفی روتور دوار دستگاه، با هدف شکستن پوست چوبی گردوها، فقط وابسته به شتاب زاویه‌ای روتور است. مطمئنا به‌دست آوردن این شتاب بهینه، مرهون ارزیابی دستگاه هنگام به‌دست آوردن باکیفیت‌ترین مغز گردوست و باید به‌صورت عملی اندازه‌گیری شود. اگر بخواهیم شتاب زاویه‌ای روتور دستگاه را به گونه‌ای برآورد کنیم که در این محدوده روتور پس از لحظه‌ای توقف آنی قادر به شکستن گردوها باشد، می‌توان گفت که هنگام درگیری گردو میان پوسته و روتور، تنها نیروی ناشی از گردش روتور عامل شکستن محصول است. با توجه به مقاومت پوست چوبی گردو در برابر شکسته‌شدن، می‌توان در نظر گرفت که برای یک لحظه، روتور دستگاه در اثر مقاومت پوسته گردو از حرکت باز خواهد ایستاد و در این شرایط تنها عاملی که باعث حرکت مجدد روتور و در نهایت شکستن محصول می‌شود آن است که مقدار اصطکاک به مقدار آستانه لغزش نزدیک شود.

معرفی اندازه‌ها و سطوح رطوبتی گردو

برای ارزیابی دستگاه، از طرح فاکتوریل در قالب بلوک تصادفی در سه تکرار برای هر نمونه استفاده شد. بدین صورت که مطابق جدول ۱، گردوها در ۴ اندازهٔ ریز، متوسط، بزرگ و درشت طبق استاندارد تعیین شده از سوی وزارت کشاورزی آمریکا (Anon, 1997) دسته‌بندی شدند.

جدول۱- معرفی اندازه گردوها بر اساس استاندارد تعیین شده از سوی سازمان کشاورزی آمریکا

اندازه گردو	استاندارد طبقه‌بندی گردو بر اساس اندازه
درشت	بزرگ‌ترین قطر گردو در محدوده ۳۸/۱- ۳۱/۷۵ میلی‌متر
بزرگ	بزرگ‌ترین قطر گردو در محدوده ۳۱/۷۵- ۳۰/۵۵ میلی‌متر
متوسط	بزرگ‌ترین قطر گردو در محدوده ۳۰/۵۵- ۲۸/۹۷ میلی‌متر
ریز	بزرگ‌ترین قطر گردو در محدوده ۲۸/۹۷- ۲۳/۸۱ میلی‌متر

سپس گردوهای نمونه در چهار سرعت ۷۰، ۱۴۰، ۲۱۰ و ۲۸۰ دور بر دقیقه روتور دوار دستگاه و در چهار سطح رطوبتی خشک، ۱، ۲ و ۳ با دستگاه مورد نظر شکسته و نتایج با استانداردهای موجود مقایسه شدند. یادآوری می‌شود که سطوح رطوبتی مختلف از خوابانیدن گردو در ظرف آب به مدت معین به‌دست می‌آید که در جدول ۲ این زمان‌بندی و درصد رطوبت مورد نظر نشان داده شده است. مقدار رطوبت با استفاده از آون تعیین شد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۲- معرفی سطوح رطوبتی مختلف

سطح رطوبتی	مدت زمان غوطه‌وری در آب (دقیقه)	مقدار رطوبت (درصد)
خشک	۰	۱۰ و کم‌تر
رطوبت سطح ۱	۱۵	۱۴- ۱۰
رطوبت سطح ۲	۲۵	۱۸- ۱۴
رطوبت سطح ۳	۳۵	۱۸ و بیش‌تر

ارزیابی دستگاه

برای ارزیابی دستگاه ساخته شده، گردوهای نمونه به‌صورت تصادفی در اندازه‌های مختلف انتخاب و با دور (۷۰ الی ۲۸۰ دور بر دقیقه) روتور شکسته شدند. نتایج کیفیت شکست در دستگاه را مطابق شکل ۴ می‌توان به سه دستهٔ عالی، خوب و متوسط تقسیم کرد. طبقه‌بندی مغز گردو بر اساس استاندارد در جدول ۳ نشان داده شده است (Koyuncu *et al.*, 2004). مغز گردو اگر به شکل دو نیم مغز مساوی یا سه تکهٔ کاملاً مجزا از پوسته خارج شود، در طبقه عالی قرار می‌گیرد و به لحاظ کیفی عدد ۸۰ و ۱۰۰ را به خود اختصاص می‌دهد. مغز گردو اگر به شکل یک نیم‌مغز سالم به همراه چند تکه مجزا از هم به‌دست آید، در طبقهٔ خوب قرار می‌گیرد و با عدد کیفی ۶۰ نشان داده می‌شود و تمام مغز اگر به‌صورت ۵ الی ۶ تکهٔ خرد شده باشد، در دسته‌بندی متوسط قرار گرفته و کیفیت حاصل با اعداد ۲۰ و ۴۰ نشان داده می‌شود و در نهایت پایین‌ترین کیفیت به لحاظ عددی، ۱۰، هنگامی است که مغز گردو به‌صورت ۷ تکه و یا بیشتر از قیف هدایت‌کنندهٔ پایینی دستگاه خارج شود. گردوهایی که در طبقهٔ عالی قرار می‌گیرد همراه با نیم‌مغزهای سالم که در طبقهٔ خوب قرار دارند، پس از بسته‌بندی آمادهٔ عرضه به بازار است. مغزهای چند تکهٔ باقی‌مانده از طبقهٔ خوب و مغزهای طبقهٔ متوسط به کارخانه‌های کیک‌سازی و شیرینی‌پزی فروخته می‌شوند.

جدول ۳- ارائهٔ استانداردهای مغز گردو

تعداد قطعات مغز گردو	عدد نشان‌دهندهٔ میزان کیفیت	کیفیت شکست گردو	درجه‌بندی
۲	۱۰۰	عالی	درجه ۱
۳	۸۰	عالی	درجه ۱
۴	۶۰	خوب	درجه ۲
۵	۴۰	متوسط	درجه ۳
۶	۲۰	متوسط	درجه ۳
۷	۱۰	ضعیف	درجه ۴

در ارزیابی فوق ۱۹۲ گردو شکسته شد که حاصل آن ۱۹۸۶ گرم پوست و ۸۶۴/۳ گرم مغز گردو بود. بر اساس کیفیت ۲۲۵ گرم مغز گردوی درجه ۱، ۹۰/۴ گرم مغز گردوی درجه ۲، ۲۷۵/۸ گرم مغز گردوی درجه ۳ و ۲۰۵/۸ گرممغز گردوی درجه ۴ به‌دست آمد. بخشی از گردوها (۸۲/۴ گرم) پس از شکسته شدن از پوسته خارج نشدند که در این حالت باید با دست و پس از کمی فشردن، مغز از پوسته خارج گردد و یا مجددا به داخل دستگاه انداخته شوند تا کاملا شکسته شوند. نتیجه عملکرد دستگاه عبارت است از: ۳۱/۹۱ درصد مغز گردوی

Archive of SID

www.SID.ir

درجه ۳، ۲۶ درصد مغز گردوی درجه ۱، ۲۳/۸۱ درصد مغز گردوی درجه ۴ و ۱۰/۴۵ درصد مغز گردوی درجه ۲.

از فاکتورهای مهمی که در به‌دست آوردن مغز با کیفیت عالی اهمیت دارد، میزان دور روتور دوار است که عامل مهمی در ایجاد فشار به محصول و شکستن آن به شمار می‌رود. مطمئناً میزان این فشار بسته به دور روتور دوار می‌تواند متغیر باشد. از دیگر فاکتورهای مهم در به‌دست آوردن مغز با کیفیت عالی، رطوبت گردو است. تحقیقات روی گردوها در سطوح رطوبتی مختلف نشان می‌دهد که هرچه رطوبت پوسته بیش‌تر باشد، نیروی بیش‌تری برای شکستن آن لازم است اما چون پوست حالت الاستیک پیدا می‌کند، از وارد شدن ضربه‌های آنی به مغز جلوگیری کرده و به بهبود کیفیت مغز گردو کمک شایان خواهد کرد. لذا توصیه می‌شود گردو پس از برداشت و پوست‌گیری و در حالی‌که هنوز رطوبت طبیعی آن از دست نرفته بشکنند.

عالی خوب متوسط

شکل ٤- نمونه مغز گردوهای شکسته شده با دستگاه در سه سطح کیفیت

نتایج و بحث

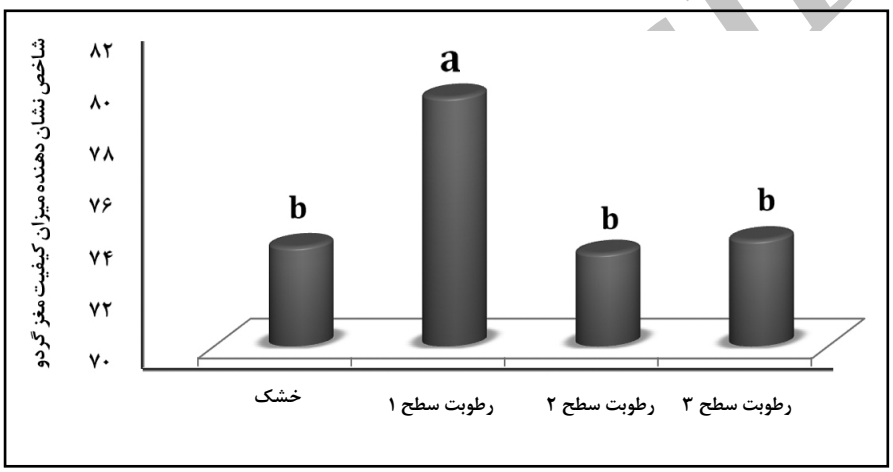
برای تست و ارزیابی دستگاه، ۱۹۲ گردو به‌صورت تصادفی انتخاب و در سطوح رطوبتی مختلف دورهای متفاوت روتور دستگاه و اندازه‌بندی متفاوت گردو، با دستگاه طراحی شده شکسته شدند. پس از آن داده‌ها تجزیه و تحلیل شدند. نتایج این تحلیل‌ها به همراه نتایج آزمون LSD به‌صورت لاتین در شکل‌های ۵ تا ۷ نشان داده شده‌اند. یادآوری می‌شود، که شاخص کیفیت مغز گردو هرچه به عدد ۱۰۰ نزدیک‌تر باشد، به معنای بهتر بودن کیفیت آن مغز گردوست.

شکل ۵ مقایسهٔ سطوح رطوبتی مختلف را در به‌دست آوردن باکیفیت‌ترین مغز گردو نشان می‌دهد. همان‌طور که به وضوح دیده می‌شود باکیفیت‌ترین مغز گردو، در رطوبت سطح ۱ به‌دست آمده است. دلیل این موضوع آن است که در این سطح رطوبتی، پوست چوبی گردو به اندازه کافی حالت الاستیک پیدا کرده و باعث می‌شود ضربات وارد شده به محصول خنثی شود و مغز گردو در امان بماند. خشک بودن بیش از اندازهٔ پوست چوبی محصول باعث می‌شود، تا نیروهای وارد شده به گردو مستقیما بر مغز گردو اثر بگذارد و از کیفیت نهایی مغز بکاهد که نتیجه کار مطمئناً مطلوب نخواهد بود. در سطوح رطوبتی ۲ و ۳ نیز پوست چوبی چنان حالت الاستیک پیدا می‌کند که رفتاری پلاستیک‌گونه از خود نشان می‌دهد. این حالت پلاستیک‌گونه باعث می‌شود که پس از وارد شدن نیرو و ضربه به پوست چوبی گردو نیروی عکس‌العمل پوست، به مغز آسیب وارد کند و به شدت از کیفیت مغز گردو بکاهد. لذا توصیه می‌شود برای به‌دست آوردن باکیفیت‌ترین مغز، گردو پیش از شکستن به‌مدت ۱۵ دقیقه در آب خوابانده شود. خواباندن انبوه محصول در آب آن هم به‌مدت ۱۵ دقیقه، کاری بس ساده‌تر و

Archive of SID

www.SID.ir

سریع‌تر از خواباندن محصول در آب به‌مدت ۲۵ الی ۳۵ دقیقه است. رعایت این اصل، زمان کار با دستگاه را برای باغ‌دار کاهش می‌دهد. با توجه شکل‌ها، میانگین رطوبت‌های سطح ۲، ۳ و خشک در سطح ۵ درصد با همدیگر اختلاف معنی داری ندارند. در تمام این سه سطح رطوبتی، نیروهای وارده شده از طرف دستگاه به گونه‌ای بوده است که باعث شده کیفیت مغز گردو به‌طور تقریبی به یک نسبت پایین بیاید و اختلاف چشمگیری به لحاظ آماری میان کیفیت مغز گردوها وجود نداشته باشد. در محصول خشک، نیروهای وارد شده به محصول از طرف دستگاه و در سطوح رطوبتی ۲ و ۳ نیروهای عکس‌العمل حاصل از پوسته بر مغز، از دلایل نبودن اختلافات معنی‌دار است، در حالی‌که هر سه سطح رطوبتی ذکر شده با میانگین رطوبت سطح ۱ دارای اختلاف معنی دار هستند، زیرا مغز گردو در این سطح رطوبتی توانسته است ارتباط منطقی با مجموع نیروهای عمل و عکس العمل وارده از دستگاه و پوست چوبی گردو برقرار کند و باکیفیت ترین مغز را به‌دست دهد.

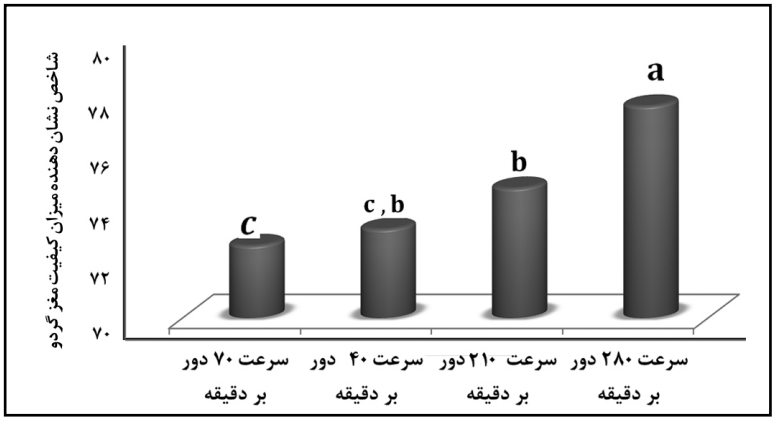


شکل ۵- مقایسهٔ کیفیت مغز گردوی شکسته شده با دستگاه در سطوح مختلف رطوبت

شکل ۶ کیفیت مغز گردوی به‌دست آمده در سرعت‌های مختلف روتور دستگاه را نشان می‌دهد. به روشنی دیده می‌شود که با زیاد شدن سرعت دورانی روتور دستگاه از ۷۰ به ۲۸۰ دور بر دقیقه، کیفیت مغز گردو نیز به‌طور چشمگیری افزایش می‌یابد. به‌طوری‌که در سرعت ۲۸۰ دور بر دقیقه، بهترین مغز گردو با کیفیت بسیار بالایی به‌دست آمده است. برای به‌دست آوردن بهترین مغز گردو، باید به پوست چوبی نیرویی ضربه‌ای و آنی، آن هم به بزرگی معین در کمترین زمان ممکن، وارد شود تا پوست بشکند و مغز سالم بیرون آید. این نیرو با مدت زمان مطلوب در سرعت ۲۸۰ دور بر دقیقه روتور دوار دستگاه به‌دست می‌آید.

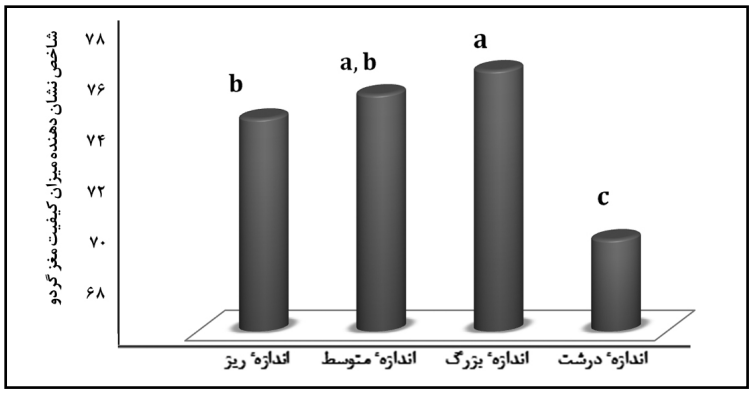
بدیهی است، همان‌طور که قبلا هم گفته شد رطوبت مطلوب نیز نیروی وارد شده را صرف شکستن پوست چوبی می‌کند و مانع آسیب دیدن مغز گردو می‌شود. همچنین نتایج نشان داد که میانگین سرعت ۲۸۰ دور بر دقیقه با میانگین سه سرعت دیگر اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد دارد. وجود اختلاف معنی‌دار سرعت ۲۸۰ دور بر دقیقه با سه سرعت دیگر، دلیل قانع‌کننده ای است تا طراحان دستگاه این سرعت را به‌عنوان سرعت بهینه دستگاه به کاربران توصیه کنند. مطمئناً وجود نیروهایی که در زمان مطلوب اقدام به شکستن محصول می‌کنند عامل این اختلاف معنی دار است. که این نیروها و زمان اثر آن‌ها در سرعت‌های دیگر وجود ندارند.

www.SID.ir



شکل ٦- مقایسهٔ کیفیت مغز گردوی شکسته شده با دستگاه در سرعت‌های مختلف روتور دوار دستگاه

شکل ٧ تاثیر اندازهٔ گردو را در کیفیت مغز به‌دست آمده نشان می‌دهد. در این شکل دیده می‌شود که کیفیت مغز گردو در هر چهار اندازه از لحاظ عددی بالاتر از ٧٠ بوده و لذا دستگاه قادر است تمامی گردوها را در هر اندازه‌ای که باشند به‌نحو قابل قبولی بشکند. اما مغزهای با کیفیت بالا متعلق به گردوهای با اندازهٔ بزرگ است. بدیهی است باغ‌دار نیز انتظار دارد محصول بزرگ‌تر، کیفیت مغز بالاتری داشته باشد. با توجه به ابعاد و اندازه دستگاه طراحی شده، گردوهای درشت به‌هنگام شکسته‌شدن آسیب‌پذیرترند. زیرا با کوچک‌ترین نیرو کمترین مقاومت را از خود نشان داده و خیلی زود می‌شکنند. اثر این شکست سریع را می‌توان بر مغز گردوی حاصل، مشاهده کرد. همان‌طور که شکل ٧ نشان می‌دهد کیفیت مغز گردو در این طبقه به‌شدت کاهش می‌یابد. البته این مسئله به توصیهٔ طراح و با تعویض پوستهٔ دستگاه، قابل حل است. گردوهای بزرگ با توجه به اندازه خود قادرند، نیروی بهینه را در زمانی که قادر به تحمل آن هستند از دستگاه دریافت کرده و با جذب نیرو از روتور دستگاه و مقاومت ناشی از پوستهٔ آن شکسته شوند. این شکستگی با توجه به میزان رطوبت گردو و دور روتور دستگاه به‌صورتی خواهد بود که طبق آمار بهترین کیفیت مغز گردو را در میان دیگر اندازه‌ها به‌دست خواهد آورد. نتایج آزمون LSD نیز نشان می‌دهد که میانگین اندازه‌های بزرگ با متوسط و متوسط با ریز در سطح ٥ درصد دارای اختلاف معنی‌دار نیست. لذا دستگاه در شکستن تمام محصولات از اندازه ریز تا بزرگ موفق است. اما میانگین هر سه اندازهٔ ذکر شده با میانگین اندازهٔ درشت در سطح ٥ درصد دارای اختلاف معنی‌دار است. در شکل ٧، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ٥ درصد ندارند.



شکل ٧- مقایسهٔ کیفیت مغز گردوی شکسته شده با دستگاه در اندازه‌های مختلف گردو

Archive of SID

www.SID.ir

نتیجه‌گیری

دستگاه گردوشکن تک‌پوسته‌ای خمره‌ای در دانشگاه شهرکرد طراحی و ساخته و سپس به روش فاکتوریل ارزیابی شد و مشخص گردید که رطوبت گردو و اندازهٔ آن و همین‌طور دور روتور دوار دستگاه در به‌دست‌آوردن مغز گردوی با کیفیت بالا مؤثر هستند. مغز گردوی دارای بالاترین کیفیت وقتی به‌دست می‌آید که رطوبت پوسته ۱۰ تا ۱۴ درصد، سرعت روتور دستگاه ۲۸۰ دور بر دقیقه و قطر بزرگ گردو در محدوده ۳۱/۷۵- ۳۰/۵۵ میلی‌متر باشد. از آن‌جا که اغلب گردوهای موجود در ایران در طبقه بندی ریز تا بزرگ قرار می‌گیرند، این دستگاه می‌تواند در کشور ایران به راحتی قابل بهره‌برداری بوده و ارزش تولید را داشته باشد.

مراجع

Anon. 1997. United States Standards for Grades of Walnuts (Juglans Regia) in the Shell. United States Department of Agriculture.

Anon. 2010. Agricultural Amarnameh. Daftre Amar and Information Technology. Ministry of Agriculture. Tehran. Iran. (in Farsi)

Beyhan, O., Kaya, I., Sen, S. M. and Dogan, M. 1995. Fatty acids composition of walnut (*Juglans regia* L.) types selected Darenda. Turkh J. Agric. For. 19(4): 299-302.

Dean Dale, H. and Santa, R. 1950. Walnut Cracker Invention. Serial No. 154-634. Santa Rosa. California.

Ghafari, A., Chegini, G. R., Khazaei, J. and Vahdati, K. 2011. Design construction and performance evaluation of the walnut cracking machine. Int. J. Nuts Sci. 2(1):11-16.

Koyuncu, M. A., Ekinci, K. and Savran, E. 2004. Cracking characteristics of walnut. Biosystems Eng. 87(3): 305-311.

Michael, P., Robert, P. and Hughson, B. 1994. Walnut Cracking Mechanism Invention. Serial No. 5, 325, 769.

Mulvany, H. A. 1954. Electric Walnut Cracking Machine Invention. Serial No. 2,685, 312.

Oluwole, F. A., Aviara, N. A. and Haque M. A. 2004. Development and performance tests of a sheanut cracker. Food Eng. 65, 117-123.

Riddle, M. F. 1923. Nut Cracking Machine Invention. Serial No. 600, 474.

Satari-Najaf Abadi, M. 2011. Assessment of physical properties of three iran commercial high consumption walnut. Proceeings of the 4th National Conference of Agricultural Wastes. CZK. (in Farsi)

Vakili, M. and Noriyan, M. 2009. Step by Step Modeling Tutorial in Catia Software. 4th Edition. Posted Dibagaran. Tehran. Iran. (in Farsi)

Zabolestani, M. 1998. Design and Fabrication method of walnut drier. M. Sc. Thesis. Faculty of Agriculture. Tehran University. Iran. (in Farsi)

Archive of SID

www.SID.ir

Journal of Agricultural Engineering Research/Vol.14/No.4/2014/P:105-116

Fabrication and Evaluation of a Single-shell Barrel-type Mechanized Walnut Cracker

H. Hejazipour*, R. Ebrahimi and M. Ghasemi-Varnamkhasti

* Corresponding Author: M. Sc. Student, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Agricultural College, Shahrekord University, P. O. Box: 115, Shahrekord, Iran. Email: hojathejazipoor@yahoo.com
Received: 15 October 2012, Accepted: 23 February 2013

Walnuts are one of the most important nut crops worldwide. The area under cultivation increases every year. In 2008, the Food and Agriculture Organization reported exports of about $17.1 billion. The country of Iran is the 4th largest producer of walnuts in the world. Stages from production to consumption are very important, because the condition and quality of the shelled nutmeats affects the marketable yield. The present study fabricated a single-shelled barrel-type walnut cracker and assessed it for quality at 4 sizes of nutmeat, 4 rotor speeds, and 4 humidity levels with three replications. The results of statistical analysis found that the best quality nutmeats were achieved at 10% to 14% moisture (level 1), 280 rpm rotor speed, and 55.30-75.31 mm walnut size (Juglans regia).

Key words: Industrial walnut cracker machine, Quality of nut, Sorting of walnut

Archive of SID

www.SID.ir