

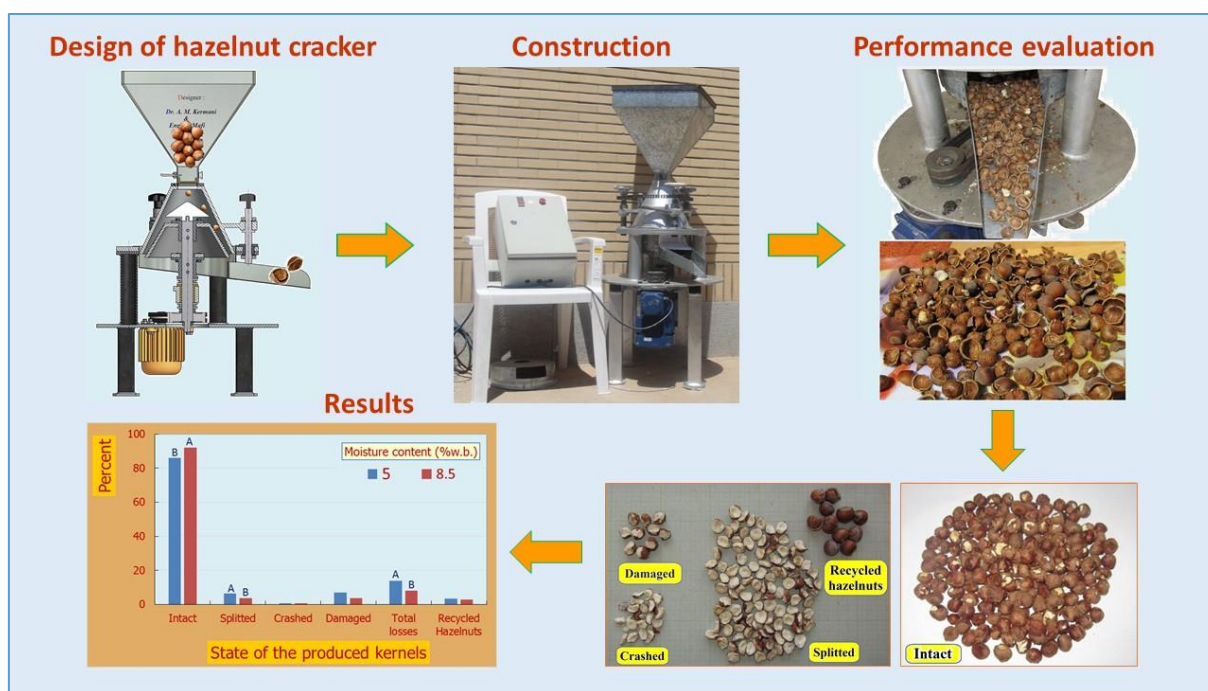
Design, Construction, and Performance Evaluation of a Conical Hazelnuts Cracker Machine

Ali Mashaallah Kermani^{1*}, Hossein Mafi²

1. Department of Agro-Technology, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran

2. Shahid Chamran Technical High School, Qazvin, Iran

(Received: March 2, 2021- Revised: June 17, 2021- Accepted: June 19, 2021)



ABSTRACT: In this research, to breaking the hard woody shell of hazelnuts to obtain the whole and health kernels the conical hazelnut cracker prototype machine with the vertical shaft was designed, constructed, and evaluated. Calculations of the design and manufacturing this machine were performed based on data on the physical and mechanical properties of hazelnuts. The working principle used for this process was based on two coaxial conical shells, which the external shell was fixed on the chassis, and the internal shell named rotor was driven by a vertical shaft. The hazelnut kernels in the space between the two cones in the active area of fracture are affected by the compressive and shear forces and the wood shell is broken and the kernel is removed healthy. Performance evaluation of machine was conducted as a factorial experiment in the form of a CRD with three factors of the moisture content (MC) of hazelnuts in two levels of 5.0% and 8.5% wet basis, the size class (SC) of hazelnut in three levels of small (size < 14 mm), medium (14 mm ≤ size < 16 mm) and large (size ≥ 16 mm), and the rotor rotational speed (RRS) at three levels of 150, 200 and 250 rpm. Results showed that MC and SC have significantly effects on the percent of the intact kernel and the overall losses at the level of 1%, but the RRS had no significant effect on them. In general, the percentage of the intact hazelnuts at 5% and 8.5% MC were 86.1% and 92.1%, respectively. The performance of the hazelnut cracker machine in producing the intact kernel for the size classes of the small, medium, and large was 87.2%, 89.5%, and 90.6%, respectively.

Keywords: Hazelnut cracker, Design and construction, Performance evaluation, Postharvest

طراحی، ساخت و ارزیابی عملکرد دستگاه فندق شکن مخروطی

علی ماشاءاله کرمانی^{۱*}، حسین مافی^۲

۱. گروه فنی کشاورزی، دانشکدگان ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲. کارگاه ماشین ابزار هنرستان فنی شهید چمران قزوین، قزوین، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۱۲ - تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۳/۲۷ - تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۳/۲۹)

چکیده: در این تحقیق به منظور شکستن پوسته سخت و خشبی فندق و خارج کردن مغز به صورت سالم و کامل از آن، دستگاه فندق شکن مخروطی با محور عمودی طراحی، ساخت و ارزیابی گردید. در طراحی و ساخت دستگاه فندق شکن محاسبات و طراحی دستگاه بر اساس داده‌های خواص فیزیکی و ملاحظات خواص مکانیکی فندق انجام شد. اساس کار دستگاه برای انجام این فرآیند بر اساس دو پوسته مخروطی هم محور است که مخروط خارجی (ضد کوبنده) روی شاسی ثابت و مخروط داخلی (کوبنده) با محور عمودی دارای حرکت دورانی است. دانه‌های فندق در فضای بین دو مخروط در ناحیه فعال شکست تحت اثر نیروهای فشاری و برشی قرار گرفته و پوسته چوبی شکسته شده و مغز به صورت سالم خارج شود. عملکرد دستگاه در قالب آزمایش فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی با سه فاکتور، رطوبت فندق در دو سطح ۸/۵ و ۵/۰ درصد (بر پایه تر)، طبقه اندازه فندق در سه سطح اندازه بندی ریز (کوچک تر از ۱۴ میلی متر)، متوسط (بزرگ تر از ۱۴ و کوچک تر از ۱۶ میلی متر) و درشت (بزرگ تر از ۱۶ میلی متر) و سه سطح سرعت دورانی ۱۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ دور در دقیقه با سه تکرار انجام شد. نتایج نشان داد که اثر رطوبت و طبقه اندازه فندق بر درصد مغزهای سالم و تلفات کلی مغز در سطح ۱ درصد معنی دار بود، لکن اثر سرعت دورانی معنی دار نشد. به طور کلی درصد فندق سالم در رطوبت‌های ۵ و ۸/۵ درصد به ترتیب ۸۶/۱ و ۹۲/۱ درصد بود. عملکرد دستگاه در تولید مغز سالم برای طبقه اندازه‌های ریز، متوسط و به ترتیب ۸۷/۲، ۸۹/۵ و ۹۰/۶ درصد بود.

واژه‌های کلیدی: فندق شکن، طراحی و ساخت، ارزیابی عملکرد، پس از برداشت

مقدمه

فندق یکی از انواع آجیل خوشمزه است که به صورت خشک (رومیزی) و در صنایع شیرینی و شکلات‌سازی و بیسکویت کاربرد فراوان دارد. روغن آن به صورت دارویی اشتهاآور، مقوی و مفید برای تسکین سرفه است و مصرف غیرخوراکی آن در صنایع آرایشی است. فندق اهمیت فراوانی از نظر غذایی و دارویی دارد، به طوری که دارای ۶۸-۷۰ درصد روغن و ۱۷-۲۰ درصد پروتئین و مقادیر متنابهی ویتامین‌های A، B و C می‌باشد. از چوب درخت فندق در مبل‌سازی و دکوراسیون و از پسماند پوسته سخت فرآیند مغزکنی آن جهت ایجاد حرارت در گلخانه‌ها استفاده می‌شود. فندق در بیش از ۲۰ کشور جهان کشت و کار می‌شود و دامنه گسترده‌ی فندق به حوزه‌های آبی بزرگ مانند دریای سیاه، خزر، مدیترانه، اقیانوس آرام محدود می‌شود. از مراکز اصلی تولید آن می‌توان به ترکیه، ایتالیا، اسپانیا، امریکا، روسیه، ایران و جمهوری آذربایجان اشاره نمود (Brgvnyv *et al.*, 1992). بر اساس آمار فائو در سال ۲۰۱۹ کشور ایران با ۱۸،۴۷۲ هکتار رتبه چهارم سطح زیر کشت، و با میزان تولید ۱۶،۱۲۱ تن فندق رتبه هفتم جهانی را دارد (FAO, 2018). کشور ایران با توجه به تنوع آب و هوایی می‌تواند به یکی از کشورهای تولید کننده عمده فندق تبدیل شود. در ایران استان‌های گیلان، اردبیل، قزوین، گرگان، مازندران و قم از مناطقی فندق‌کاری محسوب می‌شوند (Rahemi & Javadi, 2000).

یکی از مشکلات عمده در عملیات پوست‌شکنی فندق، شکستن مغزها و کاهش کیفیت محصول نهایی است. عملیات پوست‌شکنی منجر به تولید مغزهای صدمه‌دیده و خردشده می‌گردد که عمدتاً در اثر اعمال نیروهای مکانیکی وارد به مغز ایجاد می‌شوند. در ترکیه، صدمات وارد به مغز به هنگام انجام عملیات مغزکردن به عنوان یکی از مهم‌ترین دلایل کاهش کیفیت فندق ذکر شده است. در این بین، درصد صدمه بستگی به نیروهای

مکانیکی اعمال شده به فندق، سرعت دورانی واحد مغزکن، ضخامت پوسته، تعداد درجات طبقه‌بندی (اندازه‌بندی) و بازده اندازه‌بندی فندق دارد (Ozdemir, 1999).

در کشور کرواسی عمل فندق‌شکنی به صورت دستی یا دستگاه‌هایی ابتکاری ساخته شده توسط خودشان انجام می‌گیرد. به هنگام عملیات پوست‌شکنی، فندق به شدت تحت تأثیر کاهش کیفی قرار دارد. عملیات پوست‌شکنی منجر به تولید مغزهای صدمه دیده و خردشده در اثر اعمال نیروهای مکانیکی می‌گردد. در تحقیقی کیفیت دو نوع فندق‌شکن، نوع مخروطی مرسوم در کشور اسپانیا و فندق‌شکن نوع سنگی مرسوم در کشور ترکیه مورد ارزیابی قرار گرفت. در این مطالعه ترکیبات مختلف سیستم اندازه‌بندی/فندق‌شکن بر کیفیت کار دستگاه‌ها ارزیابی گردید. نتایج ارزیابی‌ها نشان داد که کیفیت مغز فندق حاصل از نوع مخروطی نسبت به نوع سنگی کم‌تر بود. علت آن را مسیر پوست‌شکنی فعال طولانی‌تر و سرعت دورانی زیاد (۴۵۳ دور در دقیقه) عنوان کردند. همچنین عملکرد هر دو سیستم فندق‌شکنی به میزان زیادی به محدوده قطر فندق بستگی داشته است (Ozdemir & Ozilgen, 1997).

به منظور بهبود عملکرد فندق‌شکن مخروطی با اعمال تغییرات و اصلاحاتی در طراحی آن کمیت و کیفیت کار آن با دستگاه فندق‌شکن نوع سنگی ارزیابی و مقایسه شد. این تغییرات عبارت بودند از کاهش سرعت چرخشی مخروط متحرک (کوبنده) به ۲۲۵ دور بر دقیقه و نیز کاهش مسیر ناحیه فعال پوست‌شکنی. نتایج این ارزیابی نشان داد که در فندق‌شکن مخروطی اصلاح شده، میزان مغزهای سالم به طور معنی‌داری بیشتر از نوع سنگی بود. ضمناً مغزهای باقیمانده در پوست، فندق‌های ترک‌خورده و کل فندق‌های قابل برگشت به دستگاه برای شکستن مجدد به طور معنی‌داری کم‌تر از نوع سنگی بود (Ozdamir, 1999).

پسته بررسی شد. عملکرد کلی این دستگاه مغزکن به طور متوسط ۹۲/۳ درصد مغز سالم مغز، ۷/۱ درصد مغز شکسته، و ۰/۶ درصد از مغز نشده بود.

در تحقیقی دستگاه مغزکن بادامزمینی بامبارا^۱ با در نظر گرفتن خواص فیزیکی آن طراحی، ساخت و ارزیابی شد (Atiku *et al.*, 2004). اصول کار و ساختمان این دستگاه بر اساس دو غلتک استوانه‌ای است که بر روی سطح رویه آن‌ها سه نوار تسمه‌ای فلزی به صورت مورب نصب شده و با فاصله مناسب از هم درون محفظه‌ای قرار گرفته‌اند و یکی از آن دو توسط موتور الکتریکی به حرکت در می‌آید. در ارزیابی این دستگاه اثر رطوبت محصول و سرعت تغذیه دستگاه بررسی شد. نتایج ارزیابی ماشین مورد نظر نشان داد که رطوبت، سرعت تغذیه مواد و اثر متقابل این دو پارامتر بسیار معنی‌داری (در سطح ۱ درصد) بر کیفیت پوست‌شکنی داشته است.

در تحقیقی دستگاه پوست‌کن بادام زمینی طراحی، ساخت و ارزیابی گردید (Rostami, 2008). ساختمان این دستگاه تشکیل شده است از استوانه دوار (کوبنده) و شبکه ضدکوبنده که غلاف بادام زمینی را شکسته و به همراه مغزها روی سینی ریخته شده، سپس توسط واحد پنکه و موتور الکتریکی پوست از مغز جدا می‌گردد. نتایج ارزیابی عملکرد دستگاه نشان داد که سرعت خطی کوبنده و فاصله کوبنده با ضدکوبنده بر راندمان پوست-گیری تأثیر معنی‌داری دارد، در حالی که تنها عامل فاصله بین کوبنده و ضدکوبنده بر درصد شکستگی مغز اثر معنی‌دار داشت. در تحقیقی دیگری فاکتورهای طراحی و ارزیابی دستگاه پوست‌کن بادام زمینی برای جدا کردن پوست بلوط مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت (Tahmasebi *et al.*, 2009).

دستگاه گردوشکن تک پوسته‌ای خمره‌ای ساخته شد و مورد ارزیابی قرار گرفت (Hejazipour *et al.*,

در تحقیقی برای شکستن پوست سخت گردو از ایجاد فشار بر سطح گردو در حین عبور از فاصله بین دو صفحه ثابت و متحرک که در فاصله معینی از هم قرار دارند استفاده شد (Khazaei, 1995). در این روش صفحه ثابت و صفحه متحرک از ورقه‌های فولادی عاج‌دار ساخته شده‌اند و به صورت V شکل مقابل هم قرار گرفته‌اند، به دلیل تنگ‌شدن مسیر به گردو فشار آمده و در نهایت پوست سخت در نقاط تماس گردو با صفحات شکسته می‌شود. حرکت صفحه متحرک با واسطه یک میل‌لنگ از یک دستگاه الکتروموتور تأمین می‌شود. لازمه نتایج رضایت‌بخش در این طرح وجود سامانه اندازه‌بندی مناسب بود. Spencer (1999) گردوشکنی به ثبت رسانید که اساس کار آن مشابه طرح گردوشکن خزائی (Khazaei, 1995) است. در این طرح نیز گردو از داخل مخزن به فضای بین صفحات ثابت و متحرک هدایت شده و با حرکت صفحه متحرک تنگ‌شدن مسیر عبور به پایین سبب شکسته شدن آن می‌گردد.

محققان عملکرد یک دستگاه مغزکن پسته رایج در منطقه کرمان معروف به چرخ تبریزی که کاربرد آن ابتدا در تبریز برای مغزکردن بادام بوده است را ارزیابی کردند (Shamsi & Yarbakht, 2004). ساختمان این دستگاه از یک محفظه استوانه‌ای شکل مشبک با محور افقی به نام قفس همراه با چهار تیغه قابل تنظیم روی آن و روتور تشکیل شده است. تیغه‌ها به صورت مقابل هم درون استوانه قرار گرفته‌اند و با توجه به اندازه پسته فاصله آن‌ها تا روتور قابل تنظیم است. روتور استوانه‌ای است که داخل و هم محور با قفس قرار دارد و روی محیط آن ۲۴ تورفتگی طولی به شکل نیم‌دایره وجود دارد. قفس و روتور با سرعت در خلاف جهت هم می‌چرخند. پسته‌ها در فاصله کم بین روتور و تیغه‌های قفس گیر افتاده، مغز شده و از شبکه‌های قفس پایین می‌ریزند. در این تحقیق عملکرد یک دستگاه مغزکن برای سه اندازه مختلف

مخروط شیاردار دارای حرکت دورانی و مخروط بیرونی روی شاسی ثابت شده است. حرکت به طرف پائین فندق در اثر نیروی ثقل و عبور از بین این دو سطح مخروطی در ناحیه‌ای که فاصله بین دو سطح کوچک می‌شود تحت عنوان ناحیه فعال شکستن موجب می‌گردد که فندق تحت اثر نیروهای فشاری و برشی قرار گرفته و پوست چوبی شکسته شده و مغز به صورت سالم خارج شده و روی سینی زیرین دو سطح مخروطی ریخته شده و توسط دهانه خروجی از دستگاه تخلیه شود (شکل ۲). است از: ۱- شاسی، ۲- واحد محرکه، ۳- واحد عملکردی دستگاه شامل دو پوسته مخروطی، ۴- مکانیزم تغییر و تنظیم اندازه ناحیه فعال شکستن پوست فندق، ۵- مخزن، و ۶- واحد جمع‌آوری و خروجی. طراحی دستگاه توسط نرم‌افزار طراحی اتودسک اینونتور^۱ انجام و نقشه‌های اجرایی برای ساخت دستگاه تهیه شد.

پوسته‌های مخروطی از چدن خاکستری GG25 با ضخامت ۱۰ میلی‌متر به صورت ریخته‌گری تولید شدند. این آلیاژ چدنی دارای ویژگی‌های متعدد و مفیدی است از جمله برای ریخته‌گری اشکال پیچیده، تراش‌پذیری و قدرت جذب ارتعاش عالی و استحکام بالا با مقاومت کششی ۲۵۰ مگاپاسکال که در صنایع و ساخت قطعات، تجهیزات و ماشین‌های صنعتی دارای کاربرد فراوان است. زاویه سطح جانبی مخروط ثابت و مخروط دوار به ترتیب ۶۵ و ۶۰ درجه در نظر گرفته شد. در این زاویه‌ها که از زاویه اصطکاک فندق با فلز بیشتر است، فندق به راحتی جریان می‌یابد. روی سطح جانبی بیرونی مخروط دوار دارای شیارهایی در امتداد یال آن به عرض و عمق ۲ میلی‌متر به منظور گیرافتادن فندق و اعمال نیرو بر آن ایجاد شد (شکل ۱ الف). مخروط ثابت توسط سه بازوی نگهدارنده توسط پیچ‌های تنظیم به صفحه نگهدارنده بالایی شاسی تثبیت شده است (شکل ۱ ب).

(2014). در این دستگاه مخروط شیاردار از جنس فولاد به عنوان روتور دوران کننده در درون یک استوانه فولادی به چرخش در می‌آید. گردوها به صورت تک تک در درون شیارهای تعبیه شده دور تا دور روتور دوار داخل شده و در نهایت میان روتور و پوسته گیر کرده و می‌شکنند.

در تحقیقی دستگاهی برای مغزکن پسته وحشی (بنه) طراحی و ساخته و عملکرد آن ارزیابی شد (Karimi & Fadavi, 2014). مکانیزم مورد استفاده برای فرآیند مغزکردن بر مبنای فشار هسته بنه در بین دو استوانه محرک و متحرک بود. در ارزیابی دستگاه تأثیر پارامترهای سرعت دورانی، فاصله بین دو استوانه و رطوبت بر روی راندمان مغزکردن، درصد مغز سالم، درصد خاکه و درصد هسته‌های نشکسته مورد آزمون و ارزیابی قرار گرفت.

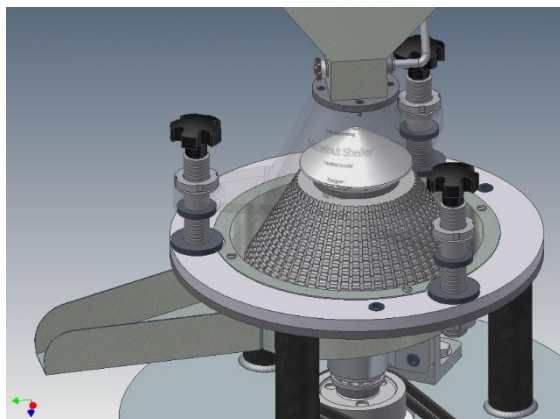
با توجه به استعداد کشور، امکان توسعه سطح زیر کشت فندق و نیز ایجاد صنایع غذایی وابسته، سیستم‌های فرآوری و بسته‌بندی به منظور ورود به بازارهای جهانی وجود دارد. از این رو جهت توفیق در این امر، ایجاد دستگاه‌های فرآوری پس از برداشت مناسب جهت عرضه محصول مرغوب و با کیفیت بالا اجتناب ناپذیر است. هدف از انجام تحقیق حاضر، طراحی و ساخت یک دستگاه فندق‌شکن با کارایی مناسب و بررسی اثر پارامترهای عملکردی آن بر کیفیت تولید مغز بود.

مواد و روش‌ها

زمینه فنی و طرح انتخابی دستگاه فندق‌شکن اصول کار بکار رفته برای انجام فرآیند فندق‌شکنی بر اساس دو پوسته مخروطی است. در این دستگاه یک پوسته مخروطی با سطح رویه شیاردار به صورت هم-محور و سطح غیرموازی در داخل پوسته مخروطی دیگر با سطح داخلی صاف قرار گرفته است (شکل ۱ الف).

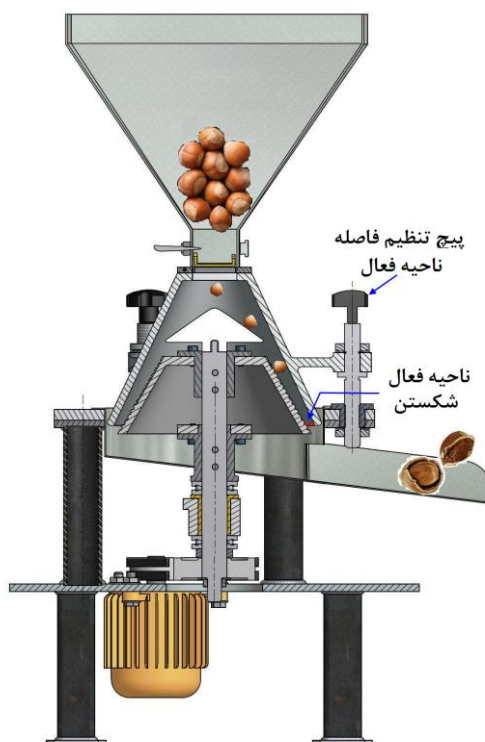


(ب)



(الف)

شکل ۱- الف) تصویر مخروط دوار (کوبنده) دستگاه و شیارهای روی آن، ب) دستگاه فندق شکن ساخته شده.



شکل ۲- نقشه نیمرخ فندق شکن مخروطی با محور عمودی ساخته شده.

برآورد توان محرکه دستگاه

در فرآیند شکستن فندق توسط دستگاه، دانه‌های فندق بین دو پوسته مخروطی تحت بار فشاری قرار می‌گیرند. شکل ۳ مؤلفه‌های نیروی‌های وارد بر یک عدد فندق در حین فرآیند شکستن را نشان می‌دهد. برای خواص فیزیکی و مکانیکی مورد نیاز در طراحی دستگاه از داده‌های تحقیق دیگر مؤلف برای فندق رقم گرد محلی استان قزوین استفاده شد (Kermani, 2012). نیروی

شکست فندق ($F_{fracture}$) برای رطوبت ۵ درصد (برپایه تر) و در راستای محور طولی به طور متوسط معادل ۲۸۰ نیوتن در نظر گرفته شد. قطر مخروط دوار در قاعده آن که در واقع ناحیه فعال شکست فندق است ۲۴ سانتی-متر در نظر گرفته شد. با عنایت به متوسط قطر فندق در جهت محورهای x و y برابر $17/2$ میلی‌متر تعداد ۴۷ فندق پیرامون آن قرار می‌گیرد. به منظور جریان یکنواخت ورود و خروج فندق برای انجام عملیات

(۱۰ عدد)، $F_{fracture}$ = نیروی شکست هر فندق (۲۸۰ نیوتن)، F_F = نیروی اصطکاک اعمال شده به مخروط در ناحیه شکست، μ_D = ضریب اصطکاک دینامیکی فندق روی سطح فولادی، r = شعاع مخروط دوار.

با جای گذاری مقدار گشتاور محاسبه شده رابطه ۴ در رابطه ۱، توان مورد نیاز برای چرخش مخروط دوار (کوبنده) برابر ۱/۵ کیلووات، معادل ۲ اسب بخار برآورد گردید (رابطه ۵).

(رابطه ۵)

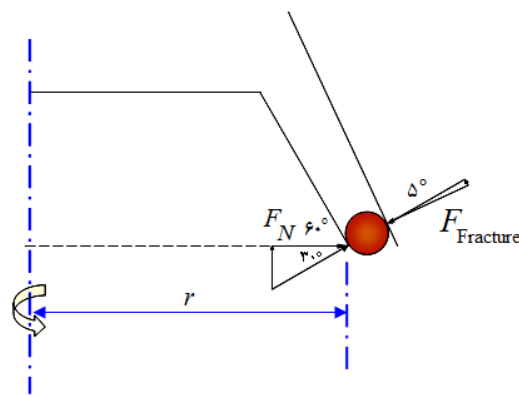
$$P = \frac{T \cdot n}{9549} = \frac{57.98 \times 250}{9549} = 1.52 \text{ kW} \cong 2 \text{ hp}$$

با عنایت به شرایط کاری دینامیکی دستگاه و حرکت دورانی مخروط دوار شکستن پوست فندق در اثر نیروهای فشاری و برشی خواهد بود. در این صورت انرژی و در نتیجه توان لازم برای شکستن فندق از حالت فرضی فوق که تنها به طور خالص شکستن را ناشی از بار فشاری در نظر گرفته شده و نیز شکل پوسته‌ای فندق کمتر خواهد بود. به عبارت دیگر توان برآورد شده بالا برای شکستن هم‌زمان تعداد بیشتر فندق انجام پذیر است.

محور و تسمه انتقال توان

حرکت دورانی کوبنده از طریق محور دوار قائم تأمین می‌گردد. توان الکتروموتور از طریق مکانیزم انتقال توان تسمه و پولی، گشتاور مورد نیاز محور را تأمین می‌کند (شکل ۲). در طول محور اجزای مختلفی شامل پایه نگهدارنده چدنی دارای بوش از جنس فسفر برنز به عنوان یاتاقان جا زده شده که وجود گریس در داخل بوش از طریق گریس‌خور باعث کاهش بیشتر اصطکاک در هنگام چرخش محور اصلی می‌گردد. فسفر برنز یکی از آلیاژهای مس با نسبت ۰/۵ تا ۱۱ درصد قلع و ۰/۱ تا ۰/۴ درصد فسفر می‌باشد. عنصر قلع خواص مقاومت در برابر خوردگی و استحکام و عنصر فسفر خواص مقاومت در برابر سایش و سختی را افزایش می‌دهند. از خواص دیگر این آلیاژ می‌توان به سختی، استحکام،

شکستن و احیاناً حرکت آن‌ها، فرض شد که در آن واحد، حدود ۲۰٪ این محیط درگیر عملیات شکستن پوست فندق باشد. در این شرایط فرض می‌شود که حدود ۱۰ عدد فندق (N) در معرض شکستن قرار بگیرد.



شکل ۳- نیروی وارد بر یک دانه فندق و مؤلفه‌های آن در حین فرآیند شکستن بین دو مخروط.

توان مورد نیاز برای چرخش پوسته مخروطی دوار از رابطه ۱ محاسبه گردید (Srivastava et al., 2006).

$$P = \frac{T \cdot n}{9549} \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن؛ T = گشتاور اعمال شده بر مخروط دوار (نیوتن متر)، n = سرعت دورانی (دور در دقیقه) و P = توان (کیلووات). گشتاور مورد نیاز برای چرخش مخروط دوار، عبارت است از حاصل ضرب نیروی اصطکاک (F_F) که به طور مماس بر قاعده مخروط دوار و عمود بر صفحه و شعاع (r) آن (شکل ۳) می‌باشد که توسط رابطه‌های ۲ الی ۴ محاسبه گردید. ضریب اصطکاک دینامیکی (μ_D) فندق روی سطح فولادی ۰/۲ در نظر گرفته شد (Aydin, 2002).

(رابطه ۲)

$$F_N = N \cdot F_{fracture} \cdot \cos 5 \cdot \cos 30 = 2415.64 \text{ N}$$

(رابطه ۳)

$$F_F = \mu_D \cdot F_N = 0.2 \times 2415.64 = 483.13 \text{ N}$$

(رابطه ۴)

$$T = r \cdot F_F = 0.12 \times 483.13 = 57.98 \text{ N.m}$$

که در آن؛ F_N = مؤلفه نیروی شکست در راستای شعاع قاعده مخروط دوار، N = تعداد فندق در حین شکست

اینچ) به طول خارجی ۷۱۰ میلی‌متر استفاده شد. در این صورت برای نصب محل پولی محرک روی الکتروموتور فاصله مرکز به مرکز پولی‌ها از رابطه ۷ معادل ۱۸۵ میلی‌متر تعیین شد (Srivastava et al., 2006).

(رابطه ۷)

$$L = 2C + \frac{\pi}{2}(D_1 + D_2) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{2C} = 2C + \pi D$$

که در آن: C = فاصله مرکز به مرکز پولی‌های محرک و متحرک (mm)، L = طول تسمه (mm)، D_1 و D_2 = به ترتیب قطر متوسط پولی‌های محرک و متحرک (mm).

آماده‌سازی نمونه فندق برای ارزیابی عملکرد

برای انجام آزمایش‌های ارزیابی عملکرد دستگاه فندق-شکن ساخته شده، حدود ۶۰ کیلوگرم فندق رقم گرد محلی (رقم غالب منطقه) نسبتاً تر از منطقه الموت استان قزوین تهیه شد. برای تعیین رطوبت اولیه فندق مطابق دستورالعمل ASAE S410.1 سه نمونه ۷۰ گرمی در دمای ۱۳۰ درجه سلسیوس به مدت ۶ ساعت، حدود ۸/۵ درصد بر پایه تر تعیین گردید (Anon., 1998). مقدار نصف فندق‌های تهیه برای رساندن به سطح رطوبت ۵ درصد مقابل آفتاب پهن شد و با توزین-های پی در پی یک نمونه میزان رطوبت نمونه تنظیم شد. اندازه‌بندی فندق در سه سطح در اندازه‌های ریز (کوچک‌تر از ۱۴ میلی‌متر)، متوسط (بزرگ‌تر از ۱۴ و کوچک‌تر از ۱۶ میلی‌متر) و درشت (بزرگ‌تر از ۱۶ میلی‌متر) توسط دستگاه اندازه‌بندی تسمه‌ای واگرا انجام شد (Kermani & Kouravand, 2016).

روش آزمون و ارزیابی عملکرد

آزمایش‌هایی برای ارزیابی عملکرد دستگاه فندق‌شکن صورت گرفت. پارامترهای مؤثر در عملکرد دستگاه عبارتند از: رطوبت فندق، اندازه فندق و سرعت دورانی واحد کوبنده. ابتدا دستگاه برای سرعت‌های مختلف محور کوبنده و نیز اندازه‌های مختلف فندق کالیبره شد. برای کنترل و تنظیم سرعت محور کوبنده از طریق نصب

ضریب اصطکاک پایین اشاره کرد. برنزی به علت ضریب اصطکاک پائین به محور دوار صدمه وارد نمی‌کند. همچنین دو عدد بلبیرینگ کف‌گرد روی محور قرار دارد که آن را روی صفحه نگهدارنده متصل به شاسی به صورت عمودی نگه داشته است (شکل ۲). انتهای بالایی این محور، مخروط دوار (کوبنده) قرار دارد. از این رو، به محور تنها گشتاور پیچشی اعمال می‌گردد. محور از جنس فولاد CK45 با توجه به خواص مکانیکی و متالورژی خوب و نیز قیمت مناسب با مقاومت برشی تسلیم ۳۸۰ MPa ساخته شد. بر اساس آئین نامه ASME در طراحی محورهای انتقال توان، به طور کلی برای تعیین قطر یک محور تحت بارهای پیچشی و خمشی هم‌زمان بر اساس تئوری تنش برشی حداکثر از رابطه ۶ استفاده می‌شود (Spotts et al., 2004)، که در این دستگاه مقدار گشتاور خمشی صفر می‌باشد.

$$D^3 = \frac{16}{\pi S} \sqrt{(K_t M_t)^2 + (K_b M_b)^2} \quad (\text{رابطه ۶})$$

که در آن، D = قطر محور (mm)، S = مقاومت برشی (MPa)، M_t = گشتاور خمشی (N.mm)، M_b = گشتاور پیچشی (N.mm)، K_t = ضریب ناگهانی و خستگی برشی (بدون بعد)، K_b = ضریب ناگهانی و خستگی خمشی (بدون بعد) است.

با توجه به گشتاور پیچشی محاسبه شده از رابطه ۴ معادل حدود 58×10^3 نیوتن میلی‌متر، ضریب ناگهانی و خستگی برشی برابر ۱، و مقاومت برشی فولاد محور ۳۸۰ MPa، قطر محور برابر ۹/۲ mm تعیین گردید. قطر محور انتقال نیرو دستگاه فندق‌شکن ۳۵ میلی‌متر است. از این‌رو، محور بکار رفته بدون مشکل کار خواهد کرد.

برای انتقال توان و گشتاور الکتروموتور به محور مخروط متحرک از مکانیسم تسمه و پولی استفاده شد. قطر پولی‌های متصل به محرک اولیه و محور مخروط کوبنده دارای قطر یکسان و به اندازه ۱۱۵ mm بود. تعداد دو عدد تسمه V شکل پر ظرفیت از نوع ۳۷ (۲۸

جمع‌آوری خروجی دستگاه و جداکردن مغز فندق‌های از پوست (شکل ۴) وزن کلی مغز توسط ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم تعیین شد. نمونه مغز فندق‌های خروجی از دستگاه مطابق شکل ۵ به پنج گروه؛ ۱- مغزهای لپه شده، ۲- مغزهای خرد شده، ۳- مغزهای صدمه دیده، ۴- مغزهای سالم^۴ و ۵- فندق‌های بازگشت مجده^۵ تفکیک شدند. مغزهای لپه شده، مغز فندق‌های دو نیمه شده است. مغزهای خرد شده، مغزهایی که از لپه فندق کوچک‌تر باشد. مغزهای صدمه دیده، به مغزهایی اطلاق می‌شود که میزان صدمه روی آن‌ها دارای قطر بزرگ‌تر ۲ میلی‌متر و عمق بیش از یک میلی‌متر باشد. مغزهایی که هیچ صدمه‌ای نداشته باشد و یا صدمه آن کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر قطر باشد، مغز سالم می‌باشد. فندق‌های بازگشت مجدد به فندق‌هایی که پوست آن‌ها شکسته نشده یا ترک‌خورده و یا مغز فندق درون آن باقیمانده اطلاق گردید (Ozdemir & Ozilgen, 1997).



شکل ۴- خروجی فندق‌های شکسته شده و تفکیک مغز از پوست.

یک دستگاه اینورتر در تابلو برق انجام شد. اینورتر با تغییر فرکانس برق ورودی به موتور موجب تغییر سرعت محور گردنده می‌گردد که این امر از طریق کلیدهای روی آن انجام شد. با اندازه‌گیری سرعت دورانی محور کوبنده توسط دورسنج دیجیتالی مدل testo در چند فرکانس مختلف تنظیمات مورد نظر صورت پذیرفت. تنظیم دستگاه برای شکستن فندق‌های با اندازه‌های مختلف از طریق تغییر فاصله ناحیه فعال شکستن فندق توسط مکانیزم پیچ و مهره‌ای جابجایی ضد کوبنده (شکل ۲) اعمال گردید. پس از تنظیم فاصله مورد نظر و کالیبره نمودن شاخص نصب شده روی ضدکوبنده، تنظیم برای اندازه‌های مختلف نیز به سادگی قابل اعمال شد. آزمایش‌های اولیه نشان داد که دستگاه در سرعت‌های دورانی کم‌تر از ۳۰۰ دور بر دقیقه عملکرد تولید مغز سالم بهتری داشت. آزمون عملکرد دستگاه به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی با سه پارامتر مؤثر رطوبت فندق در دو سطح ۵ و ۸/۵ درصد (بر پایه تر)؛ اندازه فندق در سه سطح اندازه‌بندی شده فندق ریز (۱۴ میلی‌متر < اندازه)، متوسط (۱۶ میلی‌متر < اندازه ≤ ۱۴ میلی‌متر) و درشت (۱۶ میلی‌متر ≥ اندازه) توسط دستگاه اندازه‌بندی تسمه‌ای فندق (Kermani & Kouravand, 2016)؛ و سرعت دورانی محور کوبنده در سه سطح ۱۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ دور بر دقیقه انجام شد. بنابراین عملیات فندق‌شکنی با ۱۸ تیمار آزمایشی مختلف و هر تیمار در سه تکرار صورت پذیرفت. از این رو مجموعاً ۵۴ آزمایش برای ارزیابی عملکرد دستگاه انجام شد. به منظور انجام هر آزمایش بعد از انجام تنظیمات برای اندازه فندق و راه‌اندازی دستگاه و رسیدن به سرعت دورانی مشخص مربوطه حدود یک کیلوگرم از نمونه فندق مورد نظر به طور یکنواخت از مخزن ورودی وارد دستگاه شد. پس از



شکل ۵- تفکیک انواع مغزهای خروجی از دستگاه فندق شکن.

مغزهای خردشده، M_5 = وزن مغز فندقهای بازگشت مجدد، و M_6 = تلفات کلی^۱ شامل مجموع مغزهای لپه شده، صدمه دیده و خرد شده، همگی بر حسب گرم هستند. به منظور بررسی اثر پارامترهای مؤثر بر عملکرد دستگاه داده‌های حاصل توسط نرم‌افزار آماری MSTAT-C مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج ارزیابی عملکرد دستگاه فندق شکن در جدول ۱ نتایج تجزیه واریانس اثر پارامترهای رطوبت فندق، طبقه اندازه فندق و سرعت دورانی محور مخروط دوار دستگاه فندق شکن بر شاخص‌های عملکردی فرآیند فندق شکن را که از روابط ۸ تا ۱۳ محاسبه شدند، ارائه شده است. داده‌های جدول ۱ نشان می‌دهد که رطوبت و طبقه اندازه بندی فندق بر درصد مغزهای سالم، درصد مغزهای لپه شده، درصد مغزهای صدمه دیده و تلفات کلی مغز اثر معنی داری داشته است. سرعت دورانی واحد کوبنده دستگاه بر هیچ کدام از شاخص‌های عملکردی مغزهای تولید شده اثر معنی دار نداشته است، لیکن بر درصد فندقهای بازگشت مجدد به دستگاه برای شکستن اثر معنی داری داشته است.

با توزین میزان مغز فندق هر یک از گروه‌های چهارگانه فوق برای ارزیابی عملکرد دستگاه فندق شکن شاخص‌های درصد مغز سالم، درصد مغز لپه شده، درصد مغز صدمه دیده، درصد مغزهای خرد شده، درصد مغزهای جدا شده از پوست فندقهای بازگشت مجدد و تلفات کلی مغز به ترتیب توسط روابط ۸ تا ۱۳ محاسبه گردید.

(رابطه ۸)

$$\text{درصد مغز سالم} = \frac{M_1}{M_t} \times 100$$

(رابطه ۹)

$$\text{درصد مغز لپه} = \frac{M_2}{M_t} \times 100$$

(رابطه ۱۰)

$$\text{درصد مغز صدمه دیده} = \frac{M_3}{M_t} \times 100$$

(رابطه ۱۱)

$$\text{درصد مغز خرد شده} = \frac{M_4}{M_t} \times 100$$

(رابطه ۱۲)

$$\text{درصد مغز بازگشت مجدد} = \frac{M_5}{M_t} \times 100$$

(رابطه ۱۳)

$$\text{درصد تلفات کلی} = \frac{M_6}{M_t} \times 100$$

که در این روابط؛ M_t = وزن کل مغز فندق در هر آزمایش، M_1 = وزن مغزهای سالم، M_2 = وزن مغزهای لپه شده، M_3 = وزن مغزهای صدمه دیده، M_4 = وزن

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر متغیرهای فرآیند فندق شکنی بر شاخص‌های عملکردی دستگاه فندق شکن

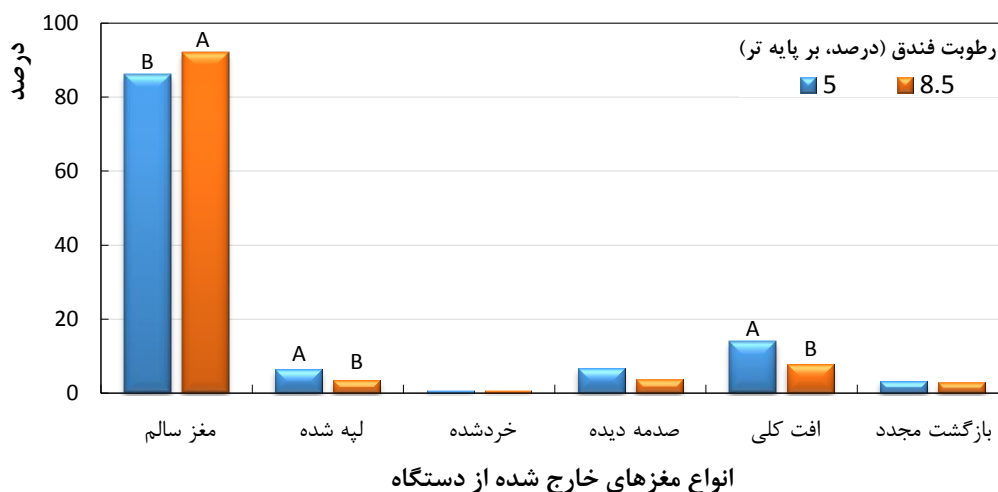
منبع تغییرات	درجه آزادی	مغزهای سالم	مغزهای لپه شده	مغزهای خرد شده	مغزهای صدمه دیده	تلفات کلی مغز	فندق‌های بازگشت مجدد
رطوبت فندق (A)	۱	۴۸۳/۶۶۳**	۱۰۵/۹۵۲**	۰/۰۰۶ ns	۱۳۵/۱۵۳**	۴۸۳/۶۶۳**	۴/۵۳۰ ns
طبقة اندازه‌بندی فندق (B)	۲	۵۲/۷۶۳**	۲۲/۳۴۴**	۰/۴۰۵ ns	۵/۰۵۸*	۵۲/۷۶۳**	۲۶/۵۵۹**
A × B	۲	۱۳/۵۰۸**	۱/۵۹۲ ns	۰/۲۳۲ ns	۸/۸۱۷**	۱۳/۵۰۸**	۱/۷۴۶ ns
سرعت دورانی کوبنده (C)	۲	۳/۹۵۵ ns	۱/۹۲۵ ns	۰/۰۱۶ ns	۰/۴۹۷ ns	۳/۹۵۵ ns	۱۶/۲۷۳**
A × C	۲	۳/۳۳۷ ns	۰/۰۷۶ ns	۰/۰۱۹ ns	۳/۱۸۶ ns	۳/۳۳۷ ns	۰/۵۵۷ ns
B × C	۴	۸/۵۶۳*	۴/۰۱۲ ns	۰/۱۴۰ ns	۲/۲۵۵ ns	۸/۵۶۳*	۰/۳۳۹ ns
A × B × C	۴	۵/۱۱۹ ns	۱/۳۷۸ ns	۰/۳۵۳ ns	۲/۴۵۲ ns	۵/۱۱۹ ns	۰/۶۷۸ ns
خطا	۳۶	۲/۵۶۷	۱/۶۶۸	۰/۱۷۵	۱/۳۰۷	۲/۵۶۷	۱/۴۴۹
ضریب تغییرات		٪ ۱/۸۰	٪ ۲۵/۸۱	٪ ۲۳/۷۷	٪ ۲۱/۸۶	٪ ۱۴/۷۱	٪ ۱۹/۲۱

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪، * معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪، ns عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪.

اثر رطوبت فندق بر عملکرد دستگاه

شکل ۶ اثر رطوبت فندق در حین عملیات فندق شکنی بر انواع مغزهای تولید شده توسط دستگاه را نشان می‌دهد. نمودار نشان می‌دهد که درصد مغزهای سالم تولید شده از فندق‌های دارای رطوبت ۸/۵ درصد (بر پایه تر) بیش از ۹۲ درصد است، در حالی که این میزان برای فندق‌های خشک (دارای رطوبت ۵ درصد) کم‌تر از ۸۶/۵ درصد بود. شکل ۶ همچنین نشان می‌دهد که درصد مغزهای لپه شده در رطوبت ۵ درصد، ۶/۵ و برای رطوبت ۸/۵ درصد، دارای مقدار ۳/۶ بوده است. این بدین معنی

است که با انتخاب فندق‌ها با رطوبت حدود ۳-۴ درصد بالاتر از حالت خشک موجب کاهش ۴۵ درصدی در ایجاد مغزهای نیمه شده می‌گردد. همچنین این موضوع سبب کاهش بیش از ۴۵ درصدی در مغزهای صدمه دیده گردید. نتایج مشابهی در توسعه و ارزیابی عملکرد دستگاه مغزکن صفحه چرخان برای میوه آجیلی شیبا (Oluwole et al., 2004) و مغزکن گریز از مرکز برای بادام هندی (Kilanko et al., 2018) در خصوص اثر رطوبت اولیه محصول گزارش شده است.

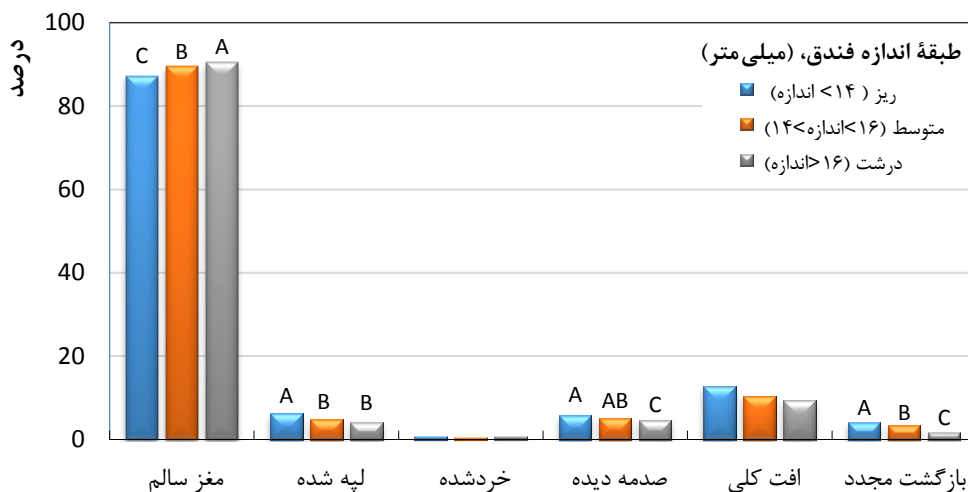


شکل ۶- اثر رطوبت فندق بر درصد انواع مغزهای دستگاه فندق شکن، شاخص‌های عملکردی دارای حروف لاتین متفاوت بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

بررسی اثر اندازه‌بندی فندق

مغز سالم به میزان ۹۰/۶ درصد و برای طبقه اندازه ریز کم‌ترین مقدار به میزان ۸۷/۲ درصد را داشته است. این موضوع علاوه بر فضای خالی بیشتر بین مغز و پوست به راندمان اندازه‌بندی نیز مربوط باشد که برای دسته اندازه ریز کم‌تر بود. Ozdemeir & Ozilgen (1997) در ارزیابی عملکرد دو نوع فندق‌شکن برای اندازه‌های مختلف فندق نتایج مشابهی گزارش کردند.

در نمودار شکل ۷ اثر طبقه اندازه فندق بر درصد انواع مغزهای تولید شده در عملیات فندق‌شکنی توسط دستگاه ساخته شده را نشان می‌دهد. نتایج مقایسه میانگین به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد نشان می‌دهد که درصد مغزهای سالم تولید شده در سه دسته اندازه مختلف فندق در سه گروه آماری قرار می‌گیرند. برای اندازه درشت بالاترین تولید



انواع مغزهای خارج شده از دستگاه

شکل ۷- اثر اندازه‌بندی فندق بر درصد انواع مغزهای دستگاه فندق‌شکن، شاخص‌های عملکردی دارای حروف لاتین متفاوت بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

بود. نمودار شکل ۸ ضمن نشان دادن مقادیر متوسط درصد انواع مغزهای تولید شده، نتایج آزمون مقایسه میانگین به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد را نشان می‌دهد. مقادیر میانگین‌ها نشان می‌دهد که ۴/۱ درصد فندق‌های دسته ریز نیازمند به ورود مجدد به دستگاه برای انجام فرآیند فندق‌شکنی دارد. این مقدار برای فندق‌های دسته‌های متوسط و ریز به ترتیب ۲/۷ و ۲/۳ درصد بود. در تحقیق Ozdemir & Ozilgen (1997) در مقایسه دو دستگاه متفاوت در سرعت دورانی ۴۵۳ دور در دقیقه، کیفیت تولید مغز نمونه فندق‌شکن مخروطی طرح اسپانیایی که در طرح آن ناحیه فعال فندق شکنی مسیر طولانی‌تر بوده است

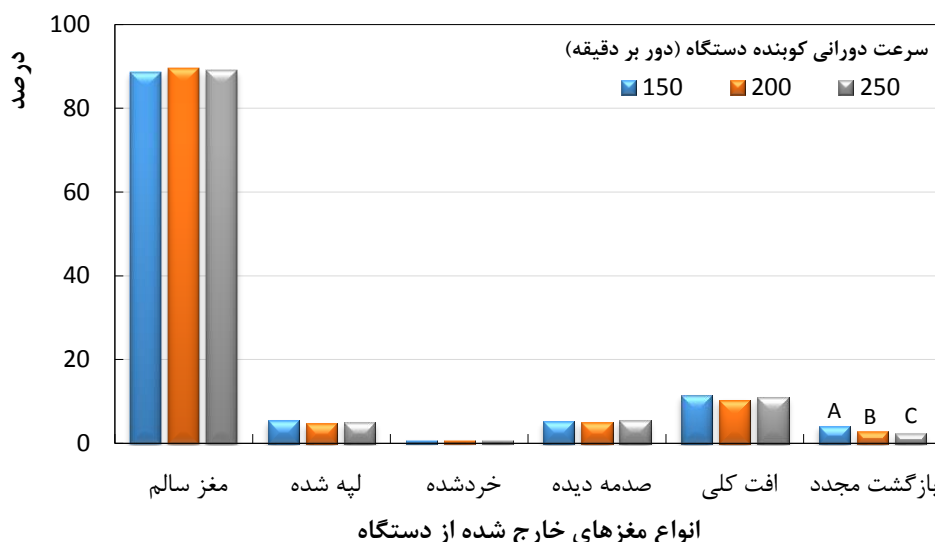
درصد مغزهای لپه شده برای دسته اندازه ریز به طور معنی‌داری از فندق‌های دسته متوسط و درشت بیشتر بود. درصد فندق‌های بازگشت مجدد برای فندق‌شکنی برای دسته اندازه زیر و متوسط در یک گروه آماری و با مقادیر ۴ و ۳/۵ درصد بیش‌ترین مقدار را داشت. فندق‌های گروه اندازه درشت با مقدار ۱/۷ درصد کم‌ترین میزان فندق‌های بازگشت مجدد را داشت.

بررسی اثر سرعت واحد کوبنده

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که سرعت دورانی واحد کوبنده دستگاه فندق‌شکن اثر معنی‌داری بر انواع مغزهای خارج شده از دستگاه نداشته است و تنها اثر آن بر درصد فندق‌های بازگشت مجدد معنی‌دار

زاویه یال‌های مخروط‌ها ناحیه فعال شکستن کوچک است، از این‌رو در سرعت‌های مختلف مسیر اعمال نیرو کوچک و اعمال نیروی بیش از شکستن پوست بر مغزها اعمال نشده و منجر به عدم اثر سرعت دورانی بر انواع مغز شده است.

کم‌تر بود. از این‌رو، Ozdamir (1999) با انجام اصلاحات و کاهش ناحیه فعال شکستن و همچنین کاهش سرعت دورانی به ۲۲۵ دور در دقیقه عملکرد بهبود یافت. لازم به ذکر است که در هر دو تحقیق سرعت‌های مختلف بررسی نشده است. در این تحقیق با توجه به شکل ۲ و



شکل ۸- اثر سرعت دورانی واحد کوبنده دستگاه بر درصد انواع مغزهای دستگاه فندق‌شکن، مقادیر میانگین دارای حروف لاتین متفاوت بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است. سرعت دورانی بر شاخص‌های بدون حرف لاتین در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نیست.

فندق در دو گروه آماری با مقادیر نزدیک به هم و در محدوده ۹۱/۲ تا ۹۳/۳ درصد بود. از این‌رو، با رساندن رطوبت فندق به میزان رطوبت ۸/۵ درصد بر پایه تر برای هر سه طبقه اندازه فندق کارایی این ماشین فندق‌شکن بالا رفته و میزان تولید مغز سالم افزایش و در نتیجه درصد تلفات کلی ماشین کاهش خواهد یافت. افزایش رطوبت فندق موجب افزایش انرژی شکست مغز فندق می‌گردد، از این‌رو منجر به کاهش مقاومت مغز به صدمه و شکست کاهش می‌یابد. از طرفی بر اساس خواص فیزیکی در فندق‌های با اندازه متوسط و درشت فاصله بین مغز و پوست در فندق بیشتر است (Kermani, 2012).

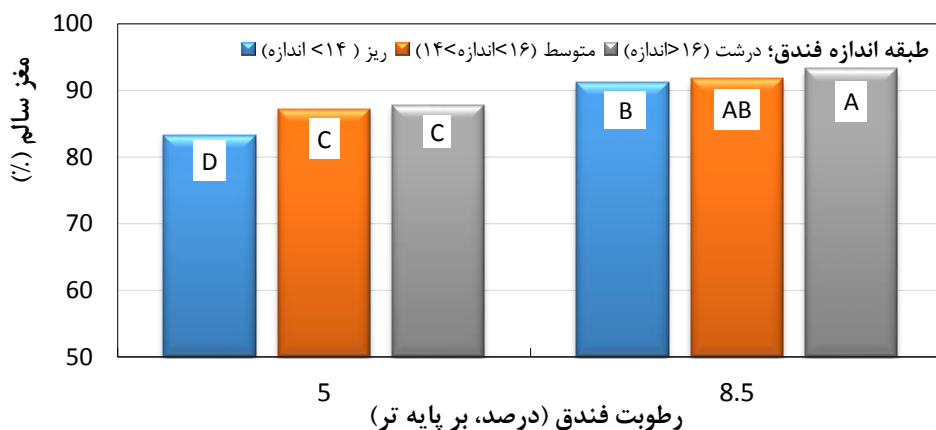
در شکل ۱۱ نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل رطوبت فندق و طبقه اندازه فندق بر درصد مغز صدمه دیده را نشان می‌دهد. بر اساس داده‌های نمودار با مرطوبت کردن فندق‌های با رطوبت ۵ درصد و رساندن

بررسی اثرات متقابل دوگانه فاکتورها

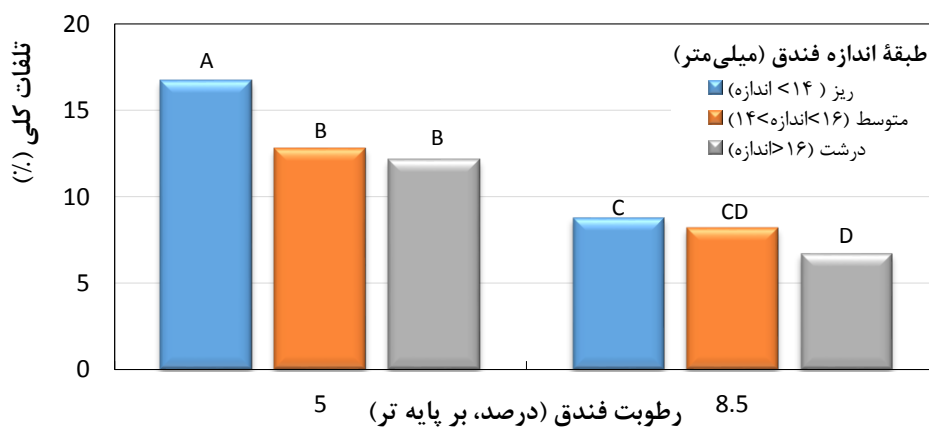
با توجه به داده‌های جدول ۱ در بین اثرات متقابل دوگانه پارامترهای فرآیند فندق‌شکنی اثر متقابل دوگانه رطوبت فندق و اندازه‌بندی فندق (در سطح ۱ درصد) و اثر متقابل طبقه اندازه فندق و سرعت دورانی مخروط دوار (در سطح ۵ درصد) بر دو شاخص عملکردی درصد مغزهای سالم و صدمه دیده فندق داشته است. نمودار شکل ۹ نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل رطوبت فندق و اندازه‌بندی فندق بر درصد مغز سالم نشان می‌دهد که در انجام عملیات فندق‌شکنی درصد مغز فندق سالم تولید شده از فندق‌های دسته ریز با رطوبت اولیه ۵ درصد (بر پایه تر) به میزان ۸۳/۳ درصد بوده که مقدار بسیار کوچکی است. به عبارت دیگر، میانگین درصد تلفات کلی برای این گروه از فندق‌ها، ۱۶/۷ درصد می‌باشد (شکل ۱۰). تغییرات مقادیر میانگین درصد مغز سالم در رطوبت ۸/۵ درصد برای هر سه گروه اندازه

رطوبت ۵ درصد با اندازه متوسط و درشت که در یک گروه آماری قرار دارند، به طور معنی داری از فندق‌های با رطوبت ۸/۵ درصد بیشتر است. به طور کلی درصد فندق‌های صدمه دیده در رطوبت ۵ درصد در محدوده ۶/۱-۸/۱ درصد و برای رطوبت ۸/۵ درصد در محدوده ۳/۳-۴/۲ درصد با توجه به طبقه اندازه فندق بود.

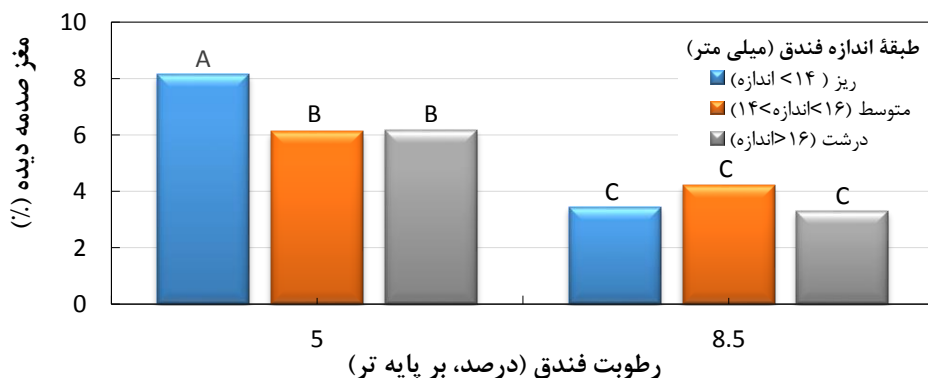
به رطوبت ۸/۵ درصد قبل از عملیات شکستن درصد مغزهای صدمه دیده به طور معنی داری کاهش یافته و بین دسته‌ها یا طبقات اندازه‌بندی مختلف تفاوت معنی داری وجود نداشت. در صورتی که برای فندق خشک درصد مغز فندق‌های صدمه دیده دسته ریز به طور بسیار معنی داری با شدت زیاد صدمه دید. برای فندق‌های با



شکل ۹- اثر متقابل رطوبت فندق و اندازه‌بندی فندق بر درصد مغزهای سالم دستگاه فندق‌شکن، مقادیر میانگین دارای حروف لاتین متفاوت بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن دارای اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد است.



شکل ۱۰- اثر متقابل رطوبت و طبقه اندازه‌بندی فندق بر درصد تلفات کلی مغز دستگاه فندق‌شکن، مقادیر میانگین دارای حروف لاتین متفاوت بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن دارای اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

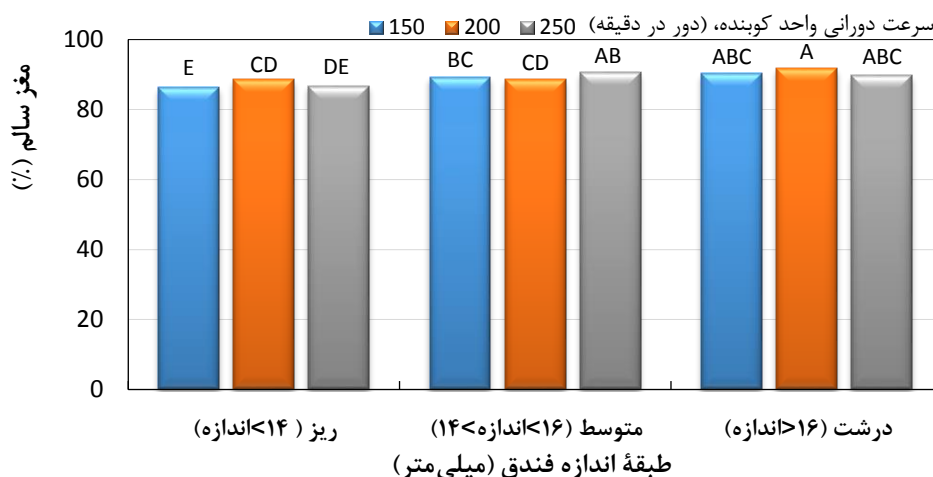


شکل ۱۱- اثر متقابل رطوبت و اندازه‌بندی فندق بر درصد مغزهای صدمه دیده دستگاه فندق‌شکن، مقادیر میانگین دارای حروف لاتین متفاوت بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن دارای اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

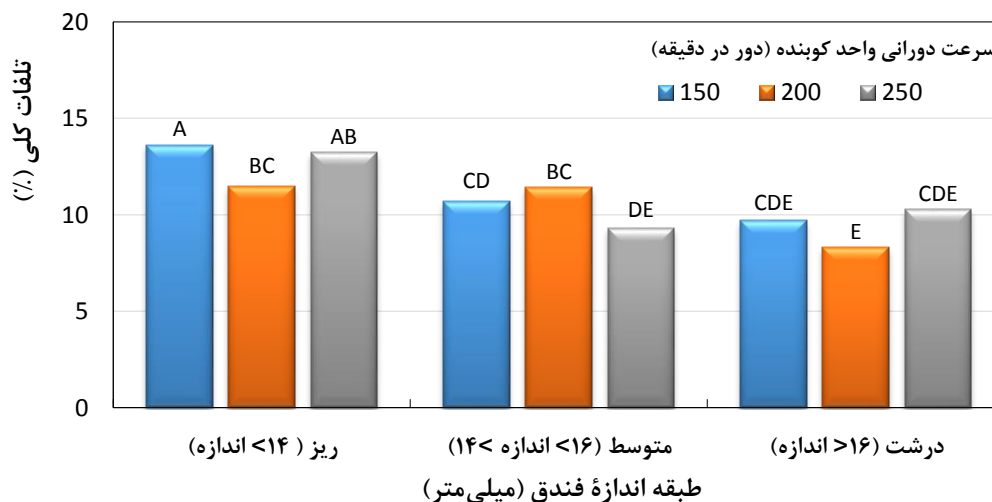
دورانی به ۲۲۵ دور در دقیقه به عملکرد بهتری دست یافت.

شکل ۱۳ نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل طبقه اندازه فندق و سرعت دورانی مخروط دوار (کوبنده) بر درصد تلفات کلی مغز را نشان می‌دهد. بر اساس داده‌ها کم‌ترین تلفات کلی مغز فندق برای طبقه اندازه‌های مختلف فندق در سرعت‌های دورانی مختلف مخروط دوار بوجود آمده است. برای فندق‌های با اندازه‌های ریز و درشت کم‌ترین تلفات کلی در سرعت دورانی ۲۰۰ دور در دقیقه و برای اندازه متوسط در سرعت ۲۵۰ دور در دقیقه بوده است.

شکل ۱۲ نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل طبقه اندازه فندق و سرعت دورانی مخروط دوار (کوبنده) بر درصد مغز صدمه سالم را نشان می‌دهد. بر اساس داده‌های نمودار مشخص می‌گردد برای فندق‌های با اندازه مختلف بیش‌ترین درصد مغز فندق سالم، در سرعت‌های دورانی مختلف مخروط دوار بوده است. برای فندق با اندازه ریز و درشت در سرعت دورانی ۲۰۰ دور در دقیقه به ترتیب با مقادیر ۸۶/۸ و ۹۱/۷ درصد، و برای اندازه متوسط در سرعت ۲۵۰ دور در دقیقه با مقدار ۹۰/۷ درصد بوده است. Ozdamir (1999) با انجام اصلاحات بر روی فندق‌شکن مخروطی تحقیق Ozdemir & Ozilgen (1997) از جمله کاهش سرعت



شکل ۱۲- اثر متقابل اندازه بندی فندق و سرعت دورانی مخروط دوار بر درصد مغزهای سالم، مقادیر میانگین دارای حروف لاتین متفاوت بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.



شکل ۱۳- اثر متقابل اندازه بندی فندق و سرعت دورانی مخروط دوار بر درصد مغزهای سالم حاصل از فندق‌شکنی، مقادیر میانگین دارای حروف لاتین متفاوت بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

نتیجه‌گیری

- درصد به ترتیب ۸۶/۱ و ۹۲/۱ درصد بود.
- عملکرد دستگاه در تولید مغز سالم برای طبقه اندازه‌های درشت و ریز به ترتیب ۹۰/۶ و ۸۷/۲ درصد بود.
 - مناسب‌ترین درصد مغز سالم به میزان ۹۳/۳ درصد برای فندق اندازه درشت با رطوبت اولیه فندق ۸/۵ درصد بدست آمد.
 - بالاترین تلفات کلی و مغزهای صدمه دیده برای فندق‌های با رطوبت اولیه ۵ درصد و اندازه کوچک‌تر از ۱۴ میلی‌متر بود.
 - سرعت دورانی واحد کوبنده دستگاه بر هیچ‌یک از شاخص‌های عملکردی مغزهای تولید شده اثر معنی‌دار نداشته است، لکن در فندق‌های بازگشت مجدد به دستگاه برای شکستن اثر معنی‌داری داشته است.
 - هیچگونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد.
- در این تحقیق یک دستگاه فندق‌شکن مخروطی با محور عمودی طراحی، ساخت و عملکرد آن در تولید مغز سالم آن تحت شرایط مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. سه فاکتور رطوبت فندق در دو سطح ۸/۵ و ۵/۰ درصد (بر پایه تر)، طبقه اندازه فندق در سه سطح اندازه‌بندی ریز (کوچک‌تر از ۱۴ میلی‌متر)، متوسط (بزرگ‌تر از ۱۴ و کوچک‌تر از ۱۶ میلی‌متر) و درشت (بزرگ‌تر از ۱۶ میلی‌متر) و سه سطح سرعت دورانی ۱۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ دور در دقیقه مورد بررسی قرار گرفت. به طور کلی نتایج حاصله از ارزیابی عملکرد دستگاه به شرح زیر بود:
- رطوبت محصول و طبقه اندازه‌بندی فندق بر درصد مغزهای سالم، درصد مغزهای لپه شده، درصد مغزهای صدمه دیده و تلفات کلی مغز اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد داشت.
 - درصد فندق سالم در رطوبت‌های فندق ۵/۰ و ۸/۵

REFERENCES

- Anon. (1998). Moisture measurement - Peanuts. *ASAE Standards*, S368.3, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan 49085.
- Atiku, A., Aviara, N., & Haque, M. (2004). Performance evaluation of a bambara ground nut sheller. *Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development*. Manuscript PM 04 002. Vol. VI. July.
- Aydin, C. (2002). Physical properties of hazelnuts. *Biosystems Engineering*, 82(3), 297-303.
- Brgvnyv, F., Germain, A., & Sarakvyyn, C. (1992). *Hazelnuts: cultivation and production*. Translated by: Mahmoud Darvishian, Iran Technical Publisher, Tehran, 176 pp. (In Farsi)
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2019). *Data*. Retrieved January 12, 2021, from <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Hejazipour, H., Ebrahimi, R., & Ghasemi-Varnamkhasti, M. (2014). Fabrication and evaluation of a single-shell barrel-type mechanized walnut cracker. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 14(4), 105-116.
- Karimi, F., & Fadavi, A. (2014). Design, construction and evaluation of wild pistachio sheller. *Journal of Agricultural Machinery*, 4(2), 133-140. (In Farsi)
- Kermani, A. M. (2012). Evaluation of some physical and mechanical properties of hazelnut. *Journal of Food Science and Technology*, Vol. 4, No. 2, 69-78. (In Farsi)
- Kermani, A. M., & Kouravand, Sh. (2016). Design, construction and evaluation of sizing machine for hazelnuts. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 47(2), 375-381. (In Farsi)
- Khazaei, J. (1995). Design and manufacture of walnut cracker. Master of Science Thesis, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University.
- Kilanko, O., Ojolo, S. J., Inegbenebor, A. O.,

- Ilori, T. A., Leramo, R. O., Babalola, P. O., & Oyedepo, S. O. (2018). Design and performance evaluation of centrifugal cashew nut sheller for improving the whole kernel recovery. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 20(1), 162–170.
- Oluwole, F. A., Aviara, N. A., & Haque, M. A. (2004). Development and performance tests of a sheanut cracker. *Journal of Food Engineering*, 65, 117–123.
- Ozdemir, M. (1999). Comparison of the quality of hazelnuts unshelled with modified conical sheller and stone sheller. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 72(3), 211–216.
- Ozdemir, M., & Ozilgen, M. (1997). Comparison of the quality of hazelnuts shelled with different sizing and cracking systems. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 67, 219–227.
- Rahemi, M., & Javadi, D. (2000). Effect of pollen source on nut and kernel characteristics of hazelnut. *Acta Horticulture*, 556, 371–376.
- Rostami, M. A. (2008). Design, development and evaluation of a peanut sheller. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 9(1), 1–14. (In Farsi)
- Shamsi, M., & Yarbakht, M. (2004). Investigating the performance of a pistachio kernel machine. *3rd National Conference on Agricultural Machinery and Mechanization of Iran*, September 11–12, 2004, Shahid Bahonar University, Kerman.
- Spencer, K. (1999). SpencCracker, an apparatus for shucking pecans. *U. S. Patent*, No. 5931087.
- Spotts, M. F., Shoup, T. E., & Hornberger, L. E. (2004). *Design of Machine Elements, Eighth Edition*. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA.
- Srivastava, Ajit K., Goering, Carroll E., & Rohrbach, R. (2006). *Engineering Principles of Agricultural Machines*. 2nd ed., American Society of Agricultural and Biological Engineering, St. Joseph, Michigan, United States.
- Tahmasebi, M., Tavakoli Hashjin, T., & Khoshtaghaza, M. H. (2009). Investigation of design factors and evaluation of oak peeling machine. *4th National Symposium on Losses Agricultural Product*, November 11, 2009, Tarbiat Modares University, Tehran.