

Research Article

Vol. 15, No. 4, 2025, p. 529-546

Performance Analysis of a Walnut Peeler with a Rotating Cutting Plate

H. Samimi Akhijahani^{1*}, M. S. Barghi Jahromi²

1- Department of Bio Systems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

2- Department of Mechanical Engineering, University of Jiroft, Jiroft, Iran

(*- Corresponding Author Email: h.samimi@uok.ac.ir)

Received: 10 October 2024

Revised: 21 December 2024

Accepted: 12 January 2025

Available Online: 07 June 2025

How to cite this article:

Samimi Akhijahani, H., & Barghi Jahromi, M. S. (2025). Performance Analysis of a Walnut Peeler with a Rotating Cutting Plate. *Journal of Agricultural Machinery*, 15(4), 529-546. <https://doi.org/10.22067/jam.2025.90199.1294>

Introduction

Walnut (*Juglans regia* L.) is a highly valued horticultural product, and significant efforts are underway to enhance its production in Iran. Despite the development of various tools aimed at increasing productivity and improving harvesting efficiency, over 90% of walnuts in Iran are still harvested manually, often with the aid of specialized tools or by striking the trees with sticks. Although numerous mechanical devices have been introduced, the considerable height of walnut trees and the asynchronous ripening of the nuts continue to make traditional harvesting methods predominant. In this research, a novel walnut peeling system incorporating a horizontally rotating cutting plate was developed and evaluated. The cutting plate, designed with specific grooves and curvature, aims to enhance the mechanical efficiency of the peeling process. This analysis investigates the influence of rotational speed and groove depth on system performance. In addition, the life cycle assessment is conducted to evaluate the environmental and operational impacts of the proposed system, with comparative analysis against conventional peeling methods.

Materials and Methods

The designed and constructed system consists of three main parts: the container, the rotating disk, and the power system, which includes the electric motor. The rotating disk, as the heart of the system, is made from a 1.5 mm thick steel sheet with a diameter of 640 mm. It has been laser-cut with sufficient precision to cut and transfer walnuts. The third part of the system is the power unit, which includes a 3-hp, 1400 rpm electric motor. Power transmission is carried out using a V-shaped belt. In this system, the product is first collected from the designated garden and stored in equally weighted bags. The rotating plate is the most important component of the walnut peeler, essentially the heart of the system. On this plate, there are 12 oval grooves, each 5 mm in diameter and 150 mm in length. One side of each groove is raised, with a depth that can be varied. Increasing the groove depth increases the amount of peel removed and exposes a larger surface of the walnut. The plate is connected to the driven pulley and then to the electric motor via a shaft. In this research, a life cycle assessment was also used to evaluate the impact of various parameters of the walnut peeling system on the environment and its pollution level.

Results and Discussion

The findings from the variance analysis regarding the impact of groove depth and rotation speed on peeling percentage indicate that variations in plate groove depth and electric motor rotation speed during walnut peeling are significant at the 1% level. Furthermore, the impact of changes in the groove depth of the cutting plate on machine performance and the reduction of walnut losses is substantial, showing significance at the 1% probability



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

 <https://doi.org/10.22067/jam.2025.90199.1294>

level. The effect of this factor on the amount of damage to walnuts is significant at the 5% level. By increasing the groove depth from 1.5 to 3 mm and from 3 to 5 mm, changes of 6.99% and 5.12% in walnut skin removal were observed. By reducing the elevation of the groove, the amount of cutting removed from the walnut surface is also reduced, and the peeling process becomes more abrasive. In this case, for proper peeling, the cycle duration and retention time in the machine should be increased. By increasing the rotational speed from 218 to 275 rpm, the momentum and linear velocity increase, resulting in more green shell removal. Conversely, reducing the rotational speed decreases the impact, leaving more green skin on the product. The interaction between rotational speed and groove depth is also significant in the amount of peeled product at the 1% level. The results of the life cycle assessment showed that the human health index has the highest value due to the use of electric power, iron profile (in the system chassis and container), and copper wire in the electric motor armature. Optimizing the system and using clean energy can help improve system efficiency and reduce environmental impact.

Conclusion

Utilizing a walnut peeling machine achieves an impressive 94% efficiency in walnut peeling while ensuring less than 5% damage. The results of the life cycle assessment showed that the use of a walnut peeling machine has less environmental damage than the traditional method and is highly cost-effective.

Keywords: Damage, Life cycle assessment, Effective productivity, Rotary cutting plate, Walnut quality

ارزیابی عملکرد یک پوست‌کن گردو مجهز به صفحه برشی گردان

هادی صمیمی اخیبجانی^{۱*}، محمد صالح برقی جهرمی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۳

چکیده

در این تحقیق یک دستگاه پوست‌گیر گردو با قابلیت جابه‌جایی و مجهز به یک الکتروموتور معرفی و مورد ارزیابی قرار گرفت. به این منظور تأثیر تغییر سرعت دورانی و عمق شیار صفحه برش بر عملکرد سامانه شامل پوست‌گیری و تأثیر آن بر ترک و شکست مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش سرعت دورانی صفحه دوار، مدت زمان پوست‌کنی گردو کاهش یافته و کیفیت پوست‌گیری بهبود پیدا می‌کند. تأثیر سرعت دورانی صفحه برش (از ۲۱۸ تا ۳۲۲ دور بر دقیقه) بر میزان آسیب به محصول معنی‌دار بود. در سرعت دورانی ۳۲۲ دور بر دقیقه به‌طور میانگین بیش از ۶/۲۴ درصد گردوهای ریخته‌شده در سامانه آسیب دیده بودند. هرچند میزان پوست‌کنی بهبود پیدا کرده بود. این امر به دلیل افزایش مقدار حرکت خطی وارد شده به محصول و ایجاد ترک و شکستگی پوست محصول بود. همچنین افزایش عمق شیار باعث می‌گردد که سرعت برش پوسته‌ها افزایش یابد. در این حالت نیز تأثیر عمق شیار بر آسیب به محصول در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. حداکثر ظرفیت مؤثر کارایی پوست‌کننده برای گردو در سرعت دورانی ۲۸۰ دور بر دقیقه و عمق شیار صفحه ۳ میلی‌متر، ۱۲۰۰ کیلوگرم در ساعت با ۱۸ کیلوگرم محصول آسیب‌دیده به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: آسیب‌دیدگی، ارزیابی چرخه زیست، بهره‌وری مؤثر، صفحه برش گردان، کیفیت گردو

مقدمه

گردو (*Juglans regia* L.) یکی از محصولات باغی است که تلاش‌های زیادی برای تولید بیشتر آن در ایران انجام می‌شود. همه‌ساله ادوات زیادی در جهت بهره‌وری و تولید بهینه این محصول گران‌بها صورت می‌گیرد. ادوات عمل‌آوری این محصول شامل ادوات خاکورز، داشت و حتی پس از برداشت و فراوری آن می‌باشد (Ghafari, Chegini, Khazaei, & Vahdati, 2011). از بین این مراحل، مرحله برداشت و پوست‌کنی آن مشکل‌ترین و در عین حال پیچیده‌ترین مرحله است (Makarichian & Chegini, 2013). بیشتر از ۹۰ درصد گردوی ایرانی به‌دست‌آمده، به‌وسیله دست و با استفاده از ابزار مخصوصی یا با چوب چیده می‌شوند. ادوات زیادی برای برداشت این محصول تا به حال ساخته شده‌اند. اما به‌دلیل ارتفاع زیاد درختان و عدم هماهنگی در رسیدن محصول، هنوز هم برداشت محصول به‌صورت سنتی انجام می‌گردد. از طرف دیگر به دلیل تنوع

ژنوتیپ‌های زیاد محصول، عدم یکنواختی در چیدن گردو به‌وجود می‌آید (Ebrahimi, Sharifi, Rafiei, & Fatahi, 2009). به‌عبارت دیگر در یک باغ برخی از آن‌ها ترک برداشته و برخی سالم و بدون ترک هستند. منظور از پوست در این تحقیق پوست سبز محصول (در اصطلاح محلی کزال) است. تحقیقات نشان داده است اگر به درخت گردو فرصت داده شود که محصول آن به‌صورت پوست‌کنده شود، بخش اعظمی از مغز گردوها به‌صورت قهوه‌ای درآمده و بازارپسندی خود را از دست می‌دهد (Ghasemi, Arzani, & Hassani, 2012; Ramos, 1998). به‌ویژه اگر از گردو برای تولید مواد غذایی مانند شیرینی و ماست استفاده گردد، سالم و سفید بودن مغزها اهمیت خود را بیشتر نشان می‌دهد (Gachpazian et al., 2013). بر این اساس قبل از آن‌که به‌طور کامل پوست ترک داشته باشد، باید چیده شوند. اما این امر به‌نوبه خود باعث می‌گردد، جداشدن پوست سبز از پوسته چوبی به‌سختی انجام شود. بنابراین استفاده از ادواتی که بتوانند

۱- گروه مهندسی بیوسیستم دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، کردستان، ایران

۲- گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران

(Email: h.samimi@uok.ac.ir)

*- نویسنده مسئول

پوست‌کنی محصول را به‌طور کامل و همگن انجام دهد، ضروری به نظر می‌رسد.

استان آذربایجان شرقی به‌عنوان دومین تولیدکننده گردو در ایران نقش مهمی در صادرات این محصول دارد. گردوی آذرشهر در بسیاری از مناطق کشور به‌دلیل سفید و شیری بودن مغز آن منحصر به‌فرد بوده و طعم و مزه به‌خصوصی دارد. اقلیم منطقه آذربایجان شرقی طوری است که تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد و خشک دارد. به این دلیل معمولاً برداشت محصول از نیمه شهریور ماه شروع و تا اواسط آبان‌ماه ادامه می‌یابد. گردو به دلیل خواص پزشکی که دارد، طبع گرمی داشته و در سفره‌های اکثر مردم کشور دیده می‌شود. این محصول هم به‌صورت مغز و هم به‌صورت روغن در مواد غذایی و آرایشی و بهداشتی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Rastegar, Shojaee, & Tajeddin, 2019). پوست سبز گردو که در برخی موارد به‌صورت دورریز در نظر گرفته می‌شود حاوی مواد آنتی‌اکسیدان و ضد میکروب است (Ziaolhagh & Zare, 2022). علاوه بر آن کنسانتره آن مصرف دامی داشته و باعث از بین بردن انواع مختلف بیماری‌ها می‌گردد. میزان تولید گردو در ایران و سطح زیر کشت آن به‌ترتیب ۳۵۵۰۴۹ تن و ۵۲۱۵۰ هکتار در سال ۲۰۲۲، به‌عنوان سومین تولیدکننده گردو در جهان پس از چین و ایالات متحده آمریکا می‌باشد (FAO, 2022). میزان تولید آن به دلیل شرایط اقلیمی و سرمایه‌گذاری و خشکسالی از ۳۸۵۰۰۰ تن در سال ۲۰۲۱ به ۳۵۵۰۴۹ تن در سال ۲۰۲۲ کاهش یافته است. در ایران، استان آذربایجان شرقی با تولید ۲۴۵۶۰۰ تن پس از استان همدان دومین تولیدکننده گردو در ایران است.

عوامل زیادی بر میزان تولید و کیفیت تولید، فرآوری و بازارپسندی گردو تأثیر می‌گذارد. این عوامل می‌تواند شامل ژنوتیپ، آب و هوای منطقه کشت، عوامل بیماری‌زا، نحوه برداشت و روش فرآوری و خشک کردن آن باشد (Rebufa, Artaud, & Dréau, 2022). با تغییر هر کدام از عوامل اشاره‌شده ویژگی‌های محصول مانند پوست آن نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد. پوست‌کن‌های گردوی ساخته‌شده بسیار اندک بوده و تمام این ادوات به‌صورتی توانسته‌اند نیاز کشاورزان را به‌صورت مقطعی یا همیشگی برطرف نمایند. هرچند با به‌نژادی و تولید صنعتی گردو استفاده از پوست‌کن‌های گردو کاهش یافته است. اما همان‌طور که اشاره شد، در ایران به دلیل بودن بومی بودن درختان نیاز به این ادوات بسیار احساس می‌شود. تحقیقات اندکی در زمینه ارزیابی این سامانه‌ها صورت گرفته است و بیشتر این منابع قدیمی هستند. از جمله آن می‌توان به استفاده فرچه سیمی (Barton, 1956)، غلتک‌های دنداندار (Mcfarland & Saunders, 1977) و تیغه‌هایی فلزی (Cacho, 1978) اشاره نمود.

در سال‌های اخیر ادوات مشابهی برای پوست‌کنی طراحی و ساخته شده است. در ماشینی از سامانه انگشتی برای جدایش پوست گردو

استفاده شده است. اما سرعت این سامانه بسیار پایین بود (۹۵ ثانیه برای هر بار پر شدگی مخزن) (Trujillo, 2003). در سامانه‌ای برای پوست‌کنی از روش استوانه قفسی استفاده گردید. محصول بین استوانه گردان که دارای تیغه می‌باشد و استوانه قفسی قرار گرفته و با دوران استوانه وسطی عملیات جدایش پوست صورت می‌گرفت (Karimi, Minaei, Hasani, & Eyvani, 2008). به دلیل سایش به‌وجودآمده امکان وارد شدن خسارت و تلفات (شکستگی و خرد شدن) محصول بیشتر بود. در سامانه‌ای از یک صفحه افقی با شیارهای عمیق همراه با برس‌های سیمی استفاده شد. محیط استوانه مربوط به مخزن محصول نیز دارای شیارهایی برای پوسته محصول بود. برای پاک شدن کامل پوست سبز از روی محصول از پاشش آب نیز استفاده می‌شد (Makarichian & Chegini, 2013). در دستگاهی از خاصیت لایه‌برداری برای جداسازی لایه سبز گردو، با استفاده از کندن همراه با برش پوست شکسته و فشار پیچشی استفاده شد. به دلیل محدودیت پژوهش طرح آماری برای سامانه در نظر گرفته نشد (Jingtao, Pengxu, Xiaoxue, & Ye, 2016). در پژوهشی از مکانیزم گریز از مرکز چندمنظوره جدید برای فرآوری گردو و پوسته استفاده شد. سامانه ارائه‌شده قادر به پوسته کردن، شستشو و تخلیه محصول بود و چهار تیمار گردو برای ارزیابی سامانه لحاظ گردید. نتایج نشان داد، مناسب‌ترین حالت در سرعت دورانی پوسته به میزان ۳/۷۵ رادیان بر ثانیه، باردهی به وزن ۴ کیلوگرم و مدت زمان ۱۰ دقیقه اتفاق می‌افتد. همچنین داده‌ها نشان دادند، برای گردهای با قطر بزرگ‌تر نیاز به اینرسی بیشتر می‌باشد. از ضعف‌های سامانه به باردهی کم می‌توان اشاره نمود. در این پژوهش به میزان تلفات محصول اشاره نشده است (Younesi-Alamooti & Mahmoodi, 2015). در تحقیقی برای جدایش پوست سبز از محصول از روش پاشش Ethephone و Tween-80 بر روی محصول استفاده نمودند. نتایج نشان داد عملکرد حداکثری ۴ روز پس از پاشش ترکیب اتفاق می‌افتد. دستگاه مورد نظر شامل یک استوانه با ۱۸ میله بود که به‌صورت قفسی جدایش محصول را صورت می‌داد (Hussain, Ahad, Rather, & Naik, 2016).

همان‌طور که در مطالعات پیشین اشاره شد، سامانه‌های ساخته‌شده مورد ارزیابی دقیق قرار نگرفته و تأثیر پارامترهای مختلف بر کارایی و عملکرد آن‌ها صورت نگرفته است. از طرف دیگر این سامانه‌ها ایراداتی نظیر آسیب به محصول و سیاه شدن مغز را به همراه دارد. در این ادوات برای تمیز نمودن زاینده‌های پوست سبز از روی پوست محصول از آب استفاده می‌شود. این امر باعث به‌وجود آمدن مشکلاتی می‌گردد. در این حالت تلفات آب بیشتر بوده و از طرف دیگر به دلیل مخلوط شدن مایع پوسته سبز این ماده برای محیط‌زیست مضر بوده و نمی‌تواند مورد مصرف گیاه قرار گیرد. همچنین به دلیل عدم آب‌بندی وارپته‌های مختلف گردو و این که درصدی از محصول مورد آسیب قرار

باری خواهد شد. برای به دست آوردن سرعت‌های متنوع، از تسمه و پولی‌های مختلف استفاده می‌گردد. انتقال توان به صورت موازی و در یک خط بدون انحراف صورت می‌گیرد. پولی بزرگ‌تر به محوری که به تسمه متصل است، باعث دوران دیسک شده و عملیات پوست‌کنی صورت می‌گیرد. کل مجموعه روی یک شاسی قرار گرفته و برای حرکت مجموعه از چرخ لاستیکی استفاده می‌شود. برای جلوگیری از ارتعاش مجموعه دو پایه از آن بر روی سطح زمین روی لاستیک تخت قرار می‌گیرد. اجزای مختلف سامانه پوست‌کن گردو همراه با متعلقات و جزئیات آن شامل نوع، جنس، اندازه و ویژگی هر جزء در جدول ۱ لیست شده است. در ادامه ابتدا اجزای اصلی تشکیل‌دهنده سامانه و سپس زیر مجموعه هر عنصر با جزئیات توضیح داده می‌شود.

صفحه گردنده شیاردار

صفحه گردنده مهم‌ترین قسمت از پوست‌کن گردو و به عبارت دیگر به عنوان قلب سامانه می‌باشد. بر روی این صفحه ۱۲ شیار به صورت بیضی با قطر ۵ میلی‌متر به طول ۱۵۰ میلی‌متر ایجاد شده است. یک سمت از شیارها برآمده بوده و میزان ارتفاع قرارگیری این سمت می‌تواند متغیر باشد. با افزایش عمق شیار میزان برش ایجادشده افزایش یافته و سطح زیادی از گردو را بر می‌دارد. این صفحه به وسیله یک محور به پولی متحرک و سپس به پولی الکتروموتور اتصال پیدا می‌کند.

همان‌طور که اشاره شد، پوست‌گیری با استفاده از ضربه صورت می‌گیرد. که با استفاده از رابطه (۱) می‌توان نیروی واردشده به پوست گردو را محاسبه نمود (Meriam, Kraige, & Bolton, 2018):

$$G=mv, \int_0^t f \cdot dt = \Delta G \quad (1)$$

که در آن f مقدار نیرویی است که به پوست گردو در مدت زمان t وارد می‌شود. برای محاسبه این نیرو ابتدا محصول را درون سامانه قرار داده و سپس با شروع به کار الکتروموتور، صفحه شروع به دوران می‌کند و زمان برای رسیدن به سرعت دورانی ثبت می‌گردد. نیروی وارد ایستایی نیز از گشتاورسنج در محل محور اندازه‌گیری می‌شود.

بررسی خواص مکانیکی اندازه‌گیری‌شده

گردوی تازه برداشت‌شده پس از برداشت برای تمامی تست‌های فشاری مورد استفاده قرار گرفت. گردوها توسط دستگاه تست Instron بارگیری شدند تا زمانی که پارگی پوسته سبز شروع شود. رفتارهای مکانیکی گردو بر حسب حداکثر نیروی لازم برای برش پوسته، تغییر شکل خاص گردو، انرژی جذب‌شده و توان لازم برای پارگی پوسته گردو بیان شد. این مقادیر از هر منحنی فشرده‌سازی، به دست آمده از دستگاه تست Instron، توسعه یافته است. در این آزمایش، بیشترین نیروی ثبت‌شده برای برش پوست گردو ۷۹۸ نیوتن بود.

می‌گیرد، آب به داخل محصول شده و مغز محصول به رنگ قهوه‌ای یا سیاه درمی‌آید. بنابراین استفاده از راه‌های جایگزین توصیه می‌شود. در این تحقیق از یک سامانه جدید برای پوست‌گیری گردو استفاده شده است. با توجه به خواص مکانیکی اندازه‌گیری‌شده، طراحی پوست‌کن گردو با صفحه دوار با شیارها و انحنا باعث بهبود کارایی سامانه خواهد شد. بر این اساس تأثیر سرعت دورانی و عمق شیارها بر میزان کارایی سامانه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. علاوه بر آن ارزیابی چرخه زیست سامانه مورد بررسی و تفسیر قرار گرفته و با روش سنتی مورد مقایسه قرار می‌گیرد. با توجه به تحقیقات پیشین چنین مطالعه‌ای با لحاظ نمودن یک سامانه آب‌گیر قبلاً انجام نگرفته است.

مواد و روش‌ها

شرح دستگاه پوست‌کن گردو و متعلقات آن

سامانه‌ای که در این تحقیق (شکل ۲) طراحی و ساخته شده است، از سه قسمت اصلی شامل محفظه، دیسک دوار و سیستم تواندهی که شامل الکتروموتور است تشکیل شده است. در مرحله اول سامانه متناسب با یک کیسه استاندارد در نظر گرفته شد که ابعاد تقریبی آن به شکل استوانه به قطر ۴۵۰ میلی‌متر و ارتفاع ۹۰۰ میلی‌متر طراحی شد. هرچند در صورت توسعه سامانه می‌تواند به حالت پیوسته نیز طراحی و ساخته شود. بر این اساس ابعاد این محفظه که به صورت استوانه‌ای نیز می‌باشد، قطر ۶۵۰ میلی‌متر و ارتفاع ۷۰۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد. ورودی محصول از بالا و خروجی آن از درپچه کناری که در شکل ۱ نشان داده شده است، صورت می‌گیرد. دیسک دوار به عنوان قلب سامانه از یک ورق فولاد ضد زنگ به ضخامت ۱/۵ و به قطر ۶۵۰ میلی‌متر طراحی و ساخته شده است. برش این ورق با لیزر صورت گرفت تا دقت کافی برای برش و انتقال گردوها را داشته باشد. علاوه بر آن بر روی سطح این ورق شیارهایی به صورت بیضی در نظر گرفته شده است. این شیارها با انحرافی که به وسیله دستگاه خم‌کن صورت می‌گیرد، به میزان یک الی ۵ میلی‌متر می‌تواند از سطح اولیه ورق فاصله گرفته و عملیات برش پوست سبز گردو توسط همین شیارها صورت می‌گیرند. همچنین برای زیر و رو کردن محصول حین پوست‌گیری و انتقال گردوهای رویی به سطح زیرین، انحنا به میزان نصف قطر گردوها (حداکثر ۱۵ میلی‌متر) در صفحه گردنده در نظر گرفته شده است. این انحنا (یا اعوجاج) هم‌زمان هم باعث زیر و رو کردن محصول می‌شود و هم باعث تخلیه سریع در مرحله آخر پس از اتمام پوست‌گیری از سامانه می‌گردد. قسمت سوم مجموعه، سامانه تواندهی مجموعه است که این سامانه شامل یک الکتروموتور با توان ۳ hp و سرعت ۱۴۰۰ دور بر دقیقه است. انتقال توان به وسیله تسمه V شکل و پولی صورت می‌گیرد. این امر باعث جلوگیری از خسارت به سامانه در صورت به وجود آمدن حالت بیش

جدول ۱- جزئیات پوست‌کن گردوی طراحی و ساخته شده

Table 1- Components details of the designed and constructed walnut dehuller

سیستم اصلی Base system	توصیفات اجزا Description of element	جزئیات زیرمجموعه اجزا Details of sub element
مخزن Container	شکل استوانه‌ای Cylindrical shape	ورق (ST37)، به ابعاد (قطر: ۶۵۰ میلی‌متر، ارتفاع: ۷۰۰ میلی‌متر، ضخامت ۱ میلی‌متر) رنگ‌شده با رنگ ضد آب Steel (ST37) (diameter: 650 mm, height: 700 mm, thickness: 1 mm), coated with waterproof paint
	پاروک‌ها Paddles	ورق فولادی به ابعاد ۱۳۰ میلی‌متر در ۱۳۰ میلی‌متر با ضخامت ۱ میلی‌متر، نصب‌شده با شیب ۴۵ درجه عمود به دیواره مخزن Stainless steel plate 130 mm × 130 mm, 1 mm thickness, installed at a 45° inclination perpendicular to the inner container face
	صفحه گردنده Rotary disk	ورق فولادی (قطر: ۶۵۰ میلی‌متر، ضخامت ۱/۵ میلی‌متر) Stainless steel (diameter: 650 mm, thickness: 1.5 mm)
صفحه برش Cutting plate	شیارها Grooves	۱۲ شیار به شکل بیضی از طریق دیسک، با عمق ۱/۵-۳ میلی‌متر 12 grooves in oval shape through the disk, with 1.5-3 mm depth
	پیچ ثابت‌کننده Fixing screw	یک پیچ و مهره ۱۵ میلی‌متری برای ثابت کردن صفحه در محور سامانه A 15 mm screw and nut used to fix the plate on the powered shaft
	محور Shaft	شفت با قطر ۲۰ میلی‌متر و طول ۳۰۰ میلی‌متر متصل به پولی A shaft with a diameter of 20 mm and 300 mm length connected to pulley
سامانه توان‌دهی Power system	الکتروموتور Electromotor	یک الکتروموتور تک فاز ۳ اسب بخار ۲۲۰ ولت ۱۴۰۰ دور در دقیقه مدل: موتوژن-۱.۱- CR90L4A 1.1-1500 54F تبریز، ایران A single phase 3 hp electromotor, 220 V, 1400 rpm, Model: Motogen, CR90L4A 1.1-1500 54F, Tabriz, Iran
	پولی Pully	یک جفت پولی با شیار V شکل با سه قطر مختلف ۵۵، ۸۰ و ۱۰۵ میلی‌متر برای پولی کوچک و ۲۷۰ میلی‌متر برای قطر پولی بزرگ A pair of V-grooved with three various diameters, d = 55, 80, and 105 mm, and D = 270 mm
	تسمه Belt	تسمه V شکل تقویت‌شده تک کانال، مگاداین PL 1270 ساخت ابتکار صنعت تهران، ایران A refrained V shape belt in single channel, Megadyne PL 1270, made by Ebtekar Sanat, Tehran, Iran
شاسی Chassis	طراحی‌شده بر اساس ابعاد سامانه Designed based on the system dimensions	ورق فولادی (ST37)، با پروفیل گالوانیزه‌شده ۲۰×۴۰، رنگ‌شده با رنگ ضد آب Steel plate (ST37), reframed by 20×40 galvanized profile, coated with waterproof paint
		یک جفت چرخ لاستیکی (قطر ۱۵۰ میلی‌متر) نصب شده روی شاسی به منظور انتقال مکانیزم A pair of rubber wheels (150 mm diameter) installed in order to transfer the mechanism

$$\varepsilon = \frac{L_u - L_f}{L_u} \quad (2)$$

که در این رابطه L_u و L_f به ترتیب ابعاد گردو بدون تغییر شکل و تغییر شکل ایجادشده در جهت محور فشاری می‌باشد. تغییر شکل موردنیاز برای پارگی (کشش زیاد) گردو بین ۱/۸۰ تا ۳/۱۵ میلی‌متر متغیر است.

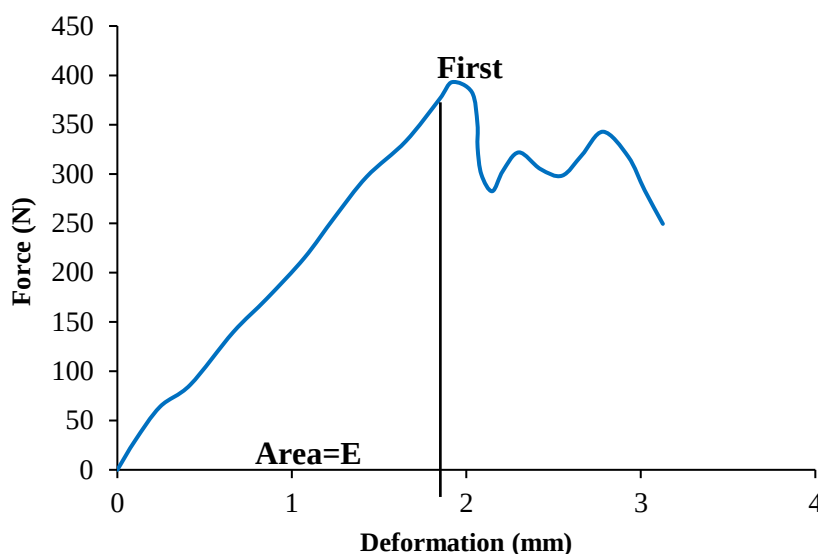
توان موردنیاز نیز به صورت رابطه (۳) محاسبه می‌شود (Khazaei, Rasekh, & Borghei, 2002; Sharifian et al., 2008).

$$P = \frac{E \times V}{60000 \times \Delta l} \quad (3)$$

انرژی جذب‌شده مستقیماً از طریق اندازه‌گیری ناحیه زیر منحنی (نیرو- تغییر شکل) تعیین می‌شود (Koyuncu, Ekinci, & Savran, 2004; Sharifian, Rahmani Didar, & Haddad Derafshi, 2008). این اندازه‌گیری با استفاده از یک پلاتومتر دیجیتالی با دقت ± 0.2 درصد انجام شد (Sharifian et al., 2003; Güner, Dursun, & Dursun, 2008). بیشترین انرژی مورد نیاز برای پارگی پوسته گردو ۹۵۰ مگاژول ثبت شد. شکل ۱ منحنی نیرو- تغییر شکل را برای پوست گردو را نشان می‌دهد. تغییر شکل یا کرنش (ε) از رابطه (۲) محاسبه می‌شود (Sharifian et al., 2008).

در پژوهش حاضر حداکثر توان ۱/۹۸ وات و سرعت بارگذاری ۵۰۰ میلی متر بر دقیقه محاسبه شد.

که در این رابطه، P توان مورد نیاز بر حسب وات، E انرژی جذب شده بر حسب مگاژول، V سرعت بارگذاری بر حسب میلی متر بر دقیقه و Δl تغییر شکل تا پارگی اولیه پوست بر حسب میلی متر است.



شکل ۱- نمودار نیرو- تغییر شکل برای پوست گردو

Fig. 1. Force-Deformation graph for walnut green shell

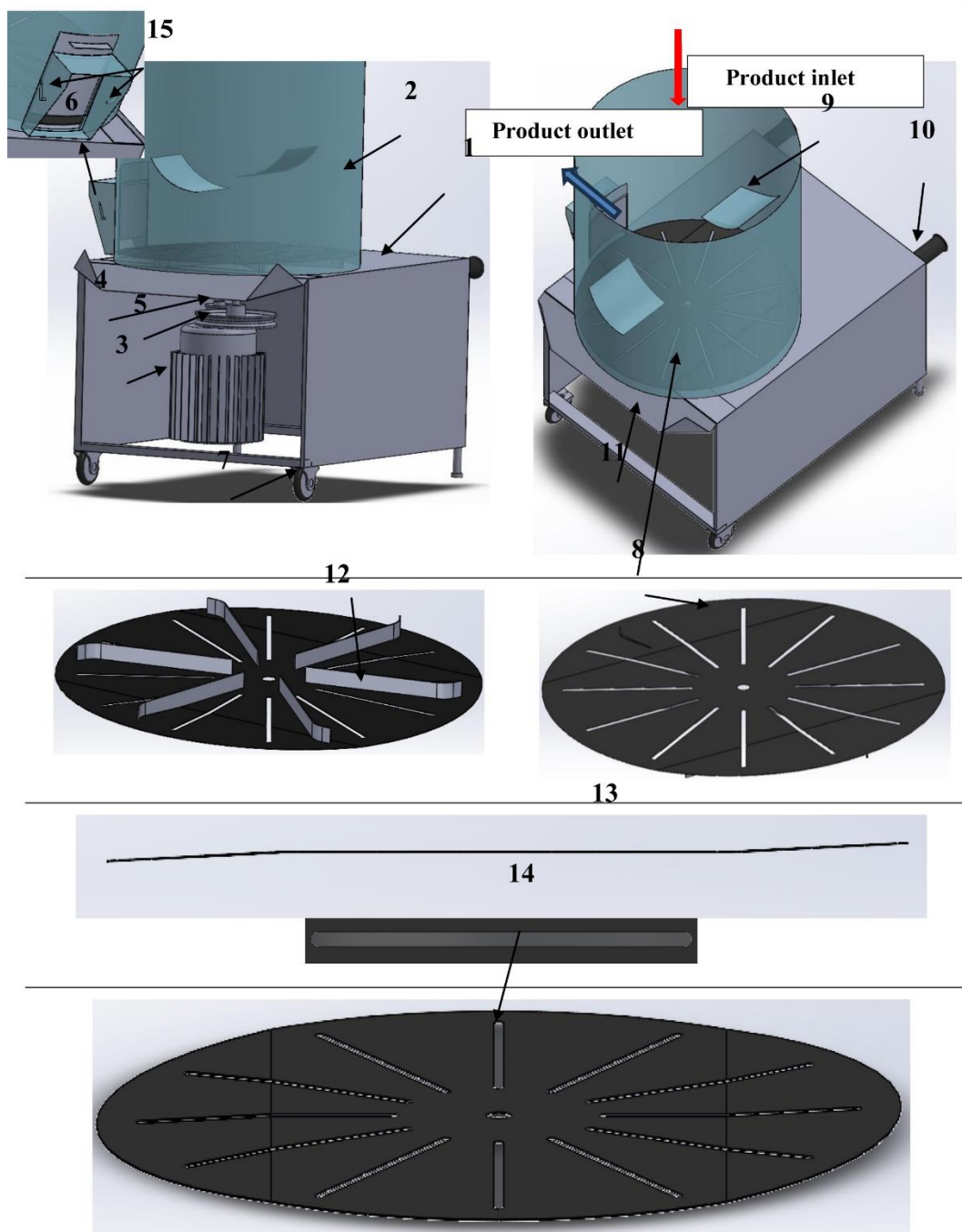
که اشاره شد، ژنوتیپ استفاده شده برای این تحقیق ژنوتیپ فرنور برای تمام آزمایش ها یکسان در نظر گرفته شد. پس از وزن کشی برای هر آزمایش یک کیسه را در نظر گرفته و با روشن شدن دستگاه گردوها در داخل محفظه ریخته شدند. مدت زمان پوست گیری برای هر آزمایش ۲ دقیقه لحاظ گردید. این زمان براساس میانگین کمترین و بیشترین سرعت پوست گیری و با توجه به نظر کشاورز مبنی بر مطلوب بودن پوست گیری در نظر گرفته شد. برای جلوگیری از نفوذ مایع به درون گردوها، پس از ۱ دقیقه عملیات پاشش پودر آبگیر (پودر آره) به روی محصول صورت گرفت. برای هر آزمایش ۷۵۰ گرم پودر آبگیر لحاظ گردید که این مقدار بر اساس رطوبت فعال سطحی گردوها تعیین گردید. برای محاسبه میزان پودر آبگیر، ابتدا گردوهای پوست گیری شده، بدون آبگیر از سامانه خارج شده و وزن می شوند و سپس در پودر آبگیر مستغرق شده و سپس دوباره جمع آوری شده و دوباره وزن می شوند. اختلاف دو وزن نشان دهنده می میزان پودر آبگیر مورد نیاز برای گردو جهت کاهش رطوبت محصول و جلوگیری از نفوذ آب به درون گردو هاست. پس از پایان یافتن مرحله پوست گیری، دریچه تخلیه دستگاه باز شده و محصول مورد نظر (گردو) از مخزن خارج می شود. محصول روی یک سطح صاف و مشخص ریخته می شود و گردوهای آسیب دیده، پوست گیری نشده و کمتر پوست گیری شده جدا می شوند و در مرحله بعد وزن می شوند. ترتیب مراحل انجام شده برای پوست گیری گردو در شکل ۳ نشان داده شده است.

طرح آزمایش ها

در این تحقیق هدف به دست آوردن ترکیب بهینه برای پوست کنی گردو با بیشترین کارایی و کمترین اتلاف و آسیب به گردو می باشد. به این منظور سرعت دوران صفحه برش در سه سرعت و عمق شیارهای برشی در سه سطح مورد ارزیابی قرار گرفتند. به عبارت دیگر سرعت دورانی در سه سطح ۲۱۸، ۲۷۵ و ۳۲۲ دور بر دقیقه و عمق شیار در سه سطح ۱/۵، ۳ و ۵ میلی متر بر کیفیت گردوهای پوست کنده شده مورد ارزیابی قرار گرفتند. لازم به ذکر است که سطوح مربوط به سرعت با توجه به سرعت دورانی لازم برای برش قسمت سبز و چوب گردو در حالت ایستایی در نظر گرفته شده است. همچنین سطوح مربوط به عمق شیار نیز با توجه به حداکثر ضخامت پوست سبز در نظر گرفته شده است. کیفیت مطرح شده در این طرح شامل میزان پوست کنی با حداقل ترک یا شکست محصول است. آزمایش ها در سه تکرار برای هر تیمار انجام شدند. محصول گردوی استفاده شده برای ارزیابی سامانه از باغ های گردو شهرستان آذرشهر واقع در استان آذربایجان شرقی تهیه شد. برای حصول نتیجه مناسب گردوها از یک وارسته و یک باغ با شرایط اقلیمی و دوره آبیاری یکسان انتخاب گردیدند.

توضیح روند کارکرد سامانه

در این سامانه ابتدا محصول از باغ مورد نظر تهیه شده و در کیسه های هم وزن (به $1/2 \pm 40$ کیلوگرم) نگهداری شدند. همان طور



شکل ۲- اجزای اصلی سامانه پوست‌کن گردو طراحی و ساخته شده برای تحقیق شامل: ۱- شاسی دستگاه، ۲- محفظه قرارگیری محصول، ۳- الکتروموتور، ۴- پولی محرک، ۵- پولی متحرک، ۶- دریچه خروجی محصول، ۷- چرخ‌های انتقال دستگاه، ۸- صفحه برش گردان، ۹- پاروی فشار، ۱۰- دستگیره انتقال، ۱۱- خروجی پوست گردو، ۱۲- پاروک زیرین (برای پوست)، ۱۳- انحنای صفحه، ۱۴- شیار صفحه و ۱۵- قلاب‌های کیسه

Fig. 2. The main components of the walnut peeling system designed and built for research include: 1- Machine chassis, 2- Product container, 3- Electro-motor, 4- Driving pulley, 5- Moving pulley, 6- Product outlet valve, 7- Wheels for moving the system, 8- Rotary cutting disk, 9- Pressure paddle, 10- Transferring handle, 11- Walnut peels outlet, 12- Lower paddle (for peels), 13- Disk curvature, 14- Disk grooves, and 15- Bag hookers



شکل ۳- مراحل انجام پژوهش برای پوست گیری، پوست سبز گردو در سرعت دورانی و عمق شیارهای مختلف
 Fig. 3. Research steps for peeling of walnut at various rotational speeds and groove depths

آب پوسته به درون محصول اتفاق خاصی به وجود نمی آید. در صورتی که با نفوذ آب پوست سبز گردو به دلیل وجود ترکیبات فنولی و اسیدی (Latifi et al., 2021) باعث سیاه شدن رنگ مغز گردو خواهد شد، که به شدت باعث کاهش بازارپسندی محصول خواهد شد. علاوه بر آن بر اثر وجود ترک حشرات و عوامل قارچی سریع تر به درون مغز راه پیدا کرده و باعث آلودگی محصول می شود (Wei et al., 2020). رابطه (۵) برای محاسبه میزان آسیب به گردو در نظر گرفته می شود:

$$\eta' = \frac{L}{H + R + L} \times 100 \quad (5)$$

η' بیانگر درصد گردوی تلف شده پس از خارج شدن از سامانه (شامل هرگونه ترک و شکستگی) است (Zhou, He, Karkee, & Zhang, 2014).

برای بررسی اثر فاکتورهای اشاره شده بر نحوه عملکرد دستگاه پوست کن به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار با استفاده از نرم افزارهای SAS (V 9.2.1) و Matlab2018 انجام شد. علاوه بر آن برای مقایسه میانگین ها از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده گردید.

پارامترهای اندازه گیری شده

در هر آزمایش، وزن محصول به دست آمده، وزن محصولی که پوست کنده شده و وزن محصول آسیب دیده به دست می آید. مجموع موارد اشاره شده با وزن محصول ریخته شده در محفظه برابر خواهد بود. گردوهای خارج شده از قسمت خروجی پوسته سبز نیز به عنوان محصول آسیب دیده در نظر گرفته شد. بنابراین با استفاده از رابطه (۴)، درصد گردوی پوست کنده شده سالم به دست آمد (Hussain et al., 2016):

$$\eta = \frac{H}{H + R + L} \times 100 \quad (4)$$

در رابطه (۴)، η بیانگر درصد گردو پوست کنده شده، H وزن محصول پوست کنده شده، R وزن گردوهایی که پوست آن ها یا کنده نشده و یا کمتر کنده شده و L وزن محصول آسیب دیده است. یکی دیگر از عواملی که در پوست کردن محصول مورد توجه است، میزان شکستگی و یا آسیب دیدگی گردو (شامل هرگونه ترک و شکستگی) می باشد (Montero et al., 2009). این عامل در گردو بسیار مورد توجه است. زیرا در مورد محصولاتی مانند بادام، فندق و پسته، با نفوذ



قسمتی از مغز گردو که در اثر نفوذ آب گردو سیاه شده است.
A part of the walnut kernel that has turned black due to the penetration of walnut shell juice.



شکل ۴- گردو با مغز سالم و با مغز آسیب‌دیده در اثر نفوذ آب گردو به درون مغز (هر دو با دستگاه پوست‌کنی شده‌اند)
Fig. 4. Walnut with a healthy nut and with a damaged nut due to the penetration of walnut shell juice to the inside section (both were peeled with a machine)

تعیین ترکیب بهینه

برای تعیین ترکیب بهینه از روش سطح پاسخ استفاده گردید. در این روش سعی می‌شود تا با استفاده از یک طرح آزمایش مناسب، راهی برای تخمین برهمکنش‌ها، اثرات درجه دوم و حتی شکل موضعی سطح پاسخ مورد مطالعه یافته شود. به عبارتی دیگر؛ روش سطح پاسخ به طراحی یک آزمایش تجربی می‌پردازد که تأثیرات چندگانه متغیرها را مدل‌سازی می‌نماید. با استفاده از این روش، تعداد

آزمایش‌ها تا حدی کاهش یافته و بسیاری از محدودیت‌هایی که در روش‌های دیگر بهینه‌سازی اعمال می‌شود، برطرف می‌شود. در این تحقیق برای تعیین ترکیب مناسب، از قسمت بهینه‌سازی نرم‌افزار Design Expert 12 استفاده شده است. در این روش با تعیین تعداد متغیرها و حدود حداقل‌ها و حداکثرها برای پارامترها، ماتریس مناسب برای آزمایش به صورت کدبندی‌شده در محدوده ۱- تا ۱ طراحی می‌شود. سطوح کدبندی‌شده برای متغیرهای آزمایش در جدول ۲ مشخص شده است.

جدول ۲- سطوح کدبندی‌شده متغیرهای آزمایش با در نظر گرفتن مقادیر واقعی

Table 2- The coded levels of the test variables, considering the actual values

متغیر Variable	سطح ۱ Level 1	سطح ۰ Level 0	سطح -۱ Level -1
عمق شیار برش Plate cutting depth (mm)	5	3	1.5
سرعت دورانی Rotational speed (rpm)	322	275	218

ارزیابی چرخه زیست

ارزیابی چرخه عمر یک روش نوآورانه است که به طور گسترده برای تعیین کمیت نیازهای انرژی و تأثیرات بالقوه زیست‌محیطی یک محصول یا سیستم تولید در طول چرخه عمر آن استفاده می‌شود. در این روش از فرآیند «گهواره تا گور» برای ارزیابی تأثیر پارامترهای مهم بر تحولات زیست‌محیطی استفاده می‌شود. این روش شامل تجزیه و تحلیل تمام مراحل استخراج منابع، تولید مواد، تولید قطعات و مدیریت مصرف محصولات به شکل زباله، بازیافت یا دفع نهایی است (Guinee, 2002). مجموعه‌ای از دستورالعمل‌ها بر اساس استاندارد (International Organization for standardization) ISO تدوین شده است که مطالعات ارزیابی چرخه زیست (Life Cycle Assessment) LCA باید بر اساس آن انجام شود. بنابراین، تمام مدل‌های توسعه‌یافته بر اساس دستورالعمل‌های ISO 14040

ساخته شده‌اند. بر این اساس، پژوهش حاضر نیز بر اساس همین رهنمودها است. طبق استاندارد ISO 14040، هر پروژه LCA شامل چهار مرحله اساسی است که در چهار قسمت اشاره شده است: ۱. تعریف هدف و محدوده، ۲. تجزیه و تحلیل موجودی، ۳. ارزیابی گروه‌های تأثیر (LCIA) و ۴. تفسیر نتایج. در این تحقیق تأثیرات مصرف منابع و انتشار آلاینده‌ها بر انسان و طبیعت مورد ارزیابی قرار گرفتند. به عبارت دیگر، در (Life Cycle Assessment) LCIA Impact از ورودی‌های مرحله دوم برای ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی استفاده گردید و برای این منظور روش ارزیابی IMPACT 2002+ در نرم‌افزار SIMAPRO نسخه ۹ مورد استفاده قرار گرفت. این روش توسعه‌یافته، توسط موسسه فناوری فدرال سوئیس، یک رویکرد ترکیبی شامل چندین گروه با اثر اصلی و گروه‌های آسیب، از جمله ۱۵ نقطه میانی و چهار گروه تأثیر نقطه

را داشت. هرچه انعطاف پذیری بیشتر باشد، میوه های آسیب دیده در فرآیند ترک خوردگی کمتر است (Sharifian et al., 2008).

ابعاد گردو تأثیر قابل توجهی بر نیروی گسیختگی، انرژی و توان مورد نیاز برای پارگی پوست گردو نداشت. بنابراین این امر باعث شد طراحی دستگاه مستقل از ابعاد گردو باشد. با این حال، کرنش پارگی به طور معنی داری تحت تأثیر اندازه گردو قرار گرفت. اما از طرف دیگر به دلیل تغییر شکل گردو طراحی سامانه با توجه به میزان انعطاف پذیری میوه گردو صورت گرفت. میزان کرنش پارگی به مقدار 0.07% با سرعت 500 میلی متر بر دقیقه اندازه گیری شد. با در نظر گرفتن حداکثر و حداقل ابعاد گردو ($25-45$ میلی متر)، دامنه تغییر شکل $1/80$ تا $3/15$ میلی متر محاسبه شده است.

همان طور که اشاره شد، در این تحقیق هدف افزایش میزان پوست گیری پوست سبز گردو با بیشترین کارایی و کمترین آسیب فیزیکی به محصول است. پس از داده گیری تحلیل بر روی محصول صورت گرفته و نتایج آن در این قسمت نمایش داده می شود.

جدول ۳ نتایج تحلیل واریانس را برای تأثیر عمق شیار و سرعت چرخش بر درصد پوست گیری نشان می دهد. یافته ها حاکی از آن است که تغییرات عمق شیار و سرعت موتور به طور قابل توجهی بر پوست کندن گردو در سطح یک درصد تأثیر می گذارد. به بیان دیگر سرعت های دورانی مختلف معنی داری در سطح یک درصد بر عملکرد دستگاه داشته و عملکرد در هر سه سطح متأثر از سرعت بوده است. همچنین اثر تغییرات عمق شیار صفحه برش بر میزان عملکرد دستگاه و کاهش تلفات گردوها در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار است. تأثیر این عامل بر میزان آسیب به گردو در سطح ۵ درصد معنی دار می باشد.

پایانی تأثیرات نقطه میانی شامل تشعشعات یونیزه، سرطان زا، غیر سرطان زا، تخریب لایه ازن، مواد آلی تنفسی، سمیت زیست محیطی آب، سمیت زیست محیطی، اسید/نوتری، اشغال زمین، اسیدی شدن آب، اوتروفیکاسیون آب، گرمایش جهانی، انرژی غیر قابل استخراج معدنی است. چهار دسته اصلی نیز وجود دارد که تأثیرات نقطه میانی در آن ها طبقه بندی می شوند: سلامت انسان، کیفیت اکوسیستم، تغییرات آب و هوا و منابع (Mirzaei, Salami, Samimi- Akhijahani, & Zareei, 2023). نتایج مرحله دوم و سوم به عنوان مبنایی برای مرحله «تفسیر» خلاصه می شود. پس از تعریف هدف و محدوده، نتیجه گیری، پیشنهادات و تصمیمات مورد بحث قرار خواهد گرفت. همچنین با در نظر گرفتن عوامل تأثیرگذار تأثیرات زیست محیطی پوست کن گردو مورد بررسی قرار می گیرد.

نتایج و بحث

نتیجه بررسی خواص مکانیکی

آزمایش های بیومکانیکی نشان داد که جهت نیروی وارد شده به گردو بر کرنش پارگی تأثیری ندارد. بنابراین نیازی به کنترل جهت نیروی اعمالی نبود و این امر به طرز قابل توجهی طراحی ماشین پوست کن گردو را ساده کرد. حداکثر نیرو، انرژی و توان برای پارگی پوست گردو به ترتیب 798 نیوتن، 950 مگاژول و $1/98$ وات اندازه گیری شد. این مقادیر برای طراحی ماشین مورد استفاده قرار گرفت. سرعت نیروی اعمالی برای ایجاد ترک 500 میلی متر بر دقیقه بود. پوست گردو در این سرعت بیشترین کرنش (انعطاف پذیری)

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس تأثیر عمق برش و سرعت دورانی صفحه بر درصد پوست کنی گردو

Table 3- The results of analysis of variance of the effect of cutting depth and rotational speed of the plate on the percentage of walnut peeling

منابع تغییرات Variation sources	درجه آزادی Degree of Freedom	F	آسیب Damage (%)	میزان پوست گیری Peeling amount (%)	
			میانگین مربعات (MS)	F	میانگین مربعات (MS)
			Mean squares		Mean squares
عمق شیار برش Cutting depth (mm)	2	17.14**	69.72	154.16*	295.32
سرعت دورانی Rotational speed (rpm)	2	5.21*	29.04	49.26**	105.11
ارتفاع *سرعت Depth *Speed	4	128.29**	4.01	11.26**	1.87
خطا Error	18	-	0.029	-	0.179

** معنی دار در سطح یک درصد و * معنی دار در سطح ۵ درصد

**Significant at the level of 1%, and *Significant at the level of 5%

جدول ۴ نتایج مقایسه میانگین میزان گردوهای پوست‌کنده شده سالم در عمق شیار و سرعت‌های مختلف را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود پارامتر ارتفاع و سرعت دورانی الکتروموتور دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد است. با افزایش عمق شیار از ۱/۵ به ۳ میلی‌متر و از ۳ به ۵ میلی‌متر، در میزان گردوهای سالم پوست‌کنده شده به میزان ۶/۹۹ و ۵/۱۲ درصد افزایش یافت. با کاهش ارتفاع شیار، میزان برشی که از سطح سبز گردو برداشته می‌شود نیز کاهش می‌یابد و بیشتر به صورت سایشی عمل پوست‌کنی را انجام می‌دهد. در این حالت برای پوست‌کنی مناسب، مدت زمان

دوران و ملدن در دستگاه بایستی افزایش یابد. از طرف دیگر با افزایش سرعت دورانی درصد پوست‌کنی افزایش می‌یابد به طوری که با افزایش آن از ۲۱۸ به ۲۷۵ دور بر دقیقه و از ۲۷۵ تا ۳۲۲ دور بر دقیقه، میزان پوست‌گیری گردو به ترتیب ۱۲/۷۲ و ۹/۶۵ درصد افزایش یافت. با افزایش سرعت دورانی، از ۲۱۸ به ۲۷۵ دور بر دقیقه، مومنتوم و ضربه خطی در اثر سرعت وارد شده افزایش یافته میزان جدایش پوسته سبز نیز افزایش می‌یابد. با کاهش سرعت دورانی ضربه کاهش یافته و پوست سبز بیشتری روی محصول باقی می‌ماند.

جدول ۴- میانگین درصد محصول پوست‌کنده شده مربوط به متغیرهای اندازه‌گیری شده (عمق شیار صفحه برش و سرعت دورانی)

Table 4- The average percentage of the peeled walnut product related to the measured variables (groove depth of the cutting plate and rotational speed)

منبع Source	عمق شیار صفحه برش Groove depth (mm)			سرعت دورانی Rotational speed (rpm)		
	1.5	3	5	218	275	322
درصد محصول پوست‌کنده شده Percentage of peeled product	85.42 ^a	91.18 ^b	95.31 ^c	86.54 ^a	89.85 ^a	92.69 ^b

برش ۱/۵ میلی‌متر و سرعت دورانی ۲۱۸ دور بر دقیقه با میانگین ۸۱/۴۳ درصد اتفاق می‌افتد. میزان بازده یک پوست‌کن گردو با شیارهای موجود در جداره به میزان ۸۲٪ گزارش شده است (Makarichian & Chegini, 2013). همچنین در تحقیق دیگری که از یک موتور گازوئیلی برای انرژی‌دهی استفاده شده بود، برای تیمارهای مختلف درصد پوست‌کنی از ۷۱/۶٪ تا ۹۸/۲٪ بر اساس وزن پوست‌کنده شده از محصول متغیر بود (Karimi et al., 2008).

اثر متقابل دو عامل سرعت دورانی و عمق شیار برش نیز در میزان محصول پوست‌کنده شده در سطح یک درصد معنی‌دار است (جدول ۳). در جدول ۵، نیز میانگین اثر متقابل سرعت دورانی و عمق شیار برش نشان داده شده است. با افزایش عمق شیار برش، میزان محصول پوست‌کنده شده افزایش می‌یابد. علاوه بر آن با افزایش سرعت دورانی نیز میزان محصول پوست‌کنده شده، افزایش می‌یابد. بیشترین میزان محصول پوست‌کنده شده، در عمق برش ۵ میلی‌متر و سرعت دورانی ۳۲۲ دور بر دقیقه، با میانگین ۹۵/۷۱ درصد و کمترین آن در عمق

جدول ۵- مقایسه میانگین درصد محصول پوست‌کنده شده در اثر متقابل عمق شیار صفحه و سرعت دورانی آن

Table 5- Comparison of the average percentage of peeled product with the interaction between the depth of the plate groove and the rotational speed

منبع Source	میانگین درصد گردوهای پوست‌کنده شده Mean percentage of peeled walnuts (%)		
	سرعت دورانی صفحه Rotational speed (rpm)		
	218	275	322
عمق شیار صفحه برش Groove depth (mm)			
1.5	81.43 ^h	83.95 ^g	85.05 ^f
3	92.06 ^e	88.16 ^d	92.06 ^c
5	90.15 ^e	93.24 ^b	95.71 ^a

مختلف نشان داده شده است. با توجه به جدول ۶، عمق شیار برش و سرعت‌های دوران مختلف دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال

در جدول ۶ نتایج آنالیز داده‌ها با استفاده از آزمون دانکن برای میانگین درصد آسیب به گردو در عمق برش و سرعت‌های دورانی

دقیقه، میزان درصد تلفات گردوهای پوست کنده شده افزایش ۱/۴۱ برابری داشته است. با افزایش سرعت دورانی، با آن که میزان محصول پوست کنده شده افزایش می یابد، اما در اثر برخورد ضربه ای به پوست سبز و سپس پوست چوبی افزایش یافته و متعاقباً باعث افزایش تلفات و آسیب به محصول می گردد.

به ترتیب یک و پنج درصد هستند. با افزایش عمق صفحه برش، از ۳ میلی متر به ۵ میلی متر، میزان شکستگی به میزان ۷۲/۲۵ درصد بیشتر بود. این میزان برای تغییر عمق از ۱/۵ میلی متر تا ۳ میلی متر به میزان ۲۵/۶۲ درصد بود. میزان آسیب به محصول با تغییر عمق از ۳ به ۵ میلی متر معنی دار نبود. با افزایش سرعت دورانی از ۲۱۸ به ۳۲۲ دور بر

جدول ۶- میانگین آسیب محصول مربوط به متغیرهای اندازه گیری شده (و عمق شیار و سرعت دورانی)

Table 6- The average damage of product related to the measured variables (groove depth and rotational speed)

منبع Source	عمق شیار صفحه برش Groove depth (mm)			سرعت دورانی Rotational speed (rpm)		
	1.5	3	5	218	275	322
درصد تلفات Damage percentage	2.46 ^a	3.075 ^c	5.29 ^e	4.05 ^b	4.35 ^b	6.24 ^d

بیشترین میزان تلفات گردو در عمق شیار ۵ میلی متر و سرعت دورانی ۳۲۲ دور بر دقیقه با میانگین ۶/۸۳ و کمترین آن در عمق ۱/۵ میلی متر با سرعت دورانی ۲۱۸ دور بر دقیقه با میانگین ۱/۹۲ درصد اتفاق می افتد. ترکیب های دیگر در گروه های بعدی قرار می گیرند که در جدول ۷ نشان داده شده است. در تحقیقات مشابه میزان آسیب دیدگی به گردوهای تحت پوست کنی از ۰/۷٪ و ۲/۴٪ در تیمارهای مختلف به دست آمد (Karimi et al., 2008).

میزان آسیب دیدگی محصول از نظر کشاورز بسیار مورد توجه است. همان طور که قبلاً اشاره شد، با ترک، شکستگی و یا کنده شدن حتی قسمت جزئی از گردو، کیفیت محصول به شدت افت نموده و علاوه بر نفوذ مایع پوست گردو به درون آن، در بلندمدت باعث می شود حشرات و قارچ ها رشد کرده و بازارپسندی محصول به شدت افت کند. نتایج مقایسه میانگین های اثر متقابل عمق شیار صفحه و سرعت دورانی نشان می دهد که هرچه عمق شیار صفحه افزایش می یابد، میزان تلفات و آسیب دیدگی محصول نیز افزایش می یابد.

جدول ۷- مقایسه میانگین آسیب پوست کنی گردو در اثر متقابل عمق شیار و سرعت دورانی صفحه برش

Table 7- Comparison of the average walnut peeling damage due to the mutual effect of groove depth and rotational speed of the cutting blade

منبع Source	میانگین آسیب به گردوهای پوست کنده شده Mean percentage of damaged peeled walnuts (%)		
	سرعت دورانی صفحه Rotational speed (rpm)		
	عمق شیار صفحه برش Groove depth (mm)	218	275
1.5	1.92 ^a	2.04 ^a	3.05 ^b
3	4.07 ^c	4.15 ^c	4.62 ^d
5	5.64 ^e	6.17 ^f	6.83 ^f

شرط های بهینه سازی مطابق با جدول ۸ تعیین شد. مقادیر پارامترهای مذکور برای بیشینه کردن میزان عملکرد سامانه، کمینه کردن میزان محصول آسیب دیده و کاهش مدت زمان انجام عملیات پوست کنی در محدوده های به دست آمده از آزمایش ها تعیین گردید. مقدار بهینه برای عمق برش ۳/۴ میلی متر با سرعت دورانی ۲۸۱ دور بر دقیقه با مطلوبیت ۹۵٪ به دست آمد. برای این تیمار مقادیر درصد پوست کنی، زمان آزمایش، محصول آسیب دیده به ترتیب ۹۳/۵ درصد، ۵۳ ثانیه و ۱/۷ درصد، محاسبه شد.

با توجه به بحث اقتصادی و این که زمان در این مرحله از برداشت گردو از مزرعه بسیار حایز اهمیت است، بنابراین عمق برش کم و سرعت های دورانی کم باعث اتلاف زمان پوست کنی و افزایش هزینه کارگری خواهد بود. چرا که در این حالت قسمت اعظمی از محصول پوست کنی نشده و دوباره بایستی در فرآیند پوست کنی وارد چرخه شود که این خود مستلزم صرف هزینه و وقت است. از طرف دیگر با افزایش عمق برش و سرعت دورانی بیشتر صفحه، باعث می شود، آسیب بیشتری به محصول رسیده و کیفیت محصول کاهش یابد. برای تعیین مقادیر بهینه برای عمق برش و سرعت دورانی، حد و

جدول ۸- شروط و محدوده بهینه‌سازی

Table 8- Limitations and ranges for optimization

محدوده	پارامتر	شرط بهینه‌سازی
Data range	Parameter	Optimization condition
5 1.5	عمق برش Cutting depth (mm)	-
322 218	سرعت دورانی Rotational speed (rpm)	-
95 80	درصد پوست‌کنی Peeling percentage (%)	بیشینه Maximize
72 40	زمان انجام آزمایش Experiment duration (s)	کمینه Minimize
9.5 1	میزان محصول آسیب‌دیده Amount of the damaged product (%)	کمینه Minimize

سامانه‌های پیشین می‌توان دریافت، دستگاه طراحی‌شده با ظرفیت ۱۲۰۰ کیلوگرم در ساعت نسبت به دستگاه‌های دیگر عملکرد بهتری دارد. دستگاه سانتریفیوژ توری‌دار با ۹۰۰ کیلوگرم در ساعت نزدیک‌ترین ظرفیت را ارائه می‌دهد. بازدهی دستگاه طراحی‌شده (۹۳/۵٪) بالاتر از سایر دستگاه‌هاست. بازده دستگاه قفسی و انگشتی به ترتیب ۸۵٪ و ۸۶٪ است که نشان‌دهنده پیشرفت در طراحی است. میزان آسیب به محصول در دستگاه طراحی‌شده تنها ۱/۸٪ است که به‌طور قابل‌توجهی کمتر از دیگر دستگاه‌هاست (آسیب ۵٪ تا ۱۰٪). این امر به حفظ کیفیت محصول و افزایش بازارپسندی کمک می‌کند. دستگاه ساخته‌شده در این پژوهش با مصرف ۲/۵ کیلووات در ساعت از نظر انرژی بهینه‌ترین است. دستگاه‌های دیگر به‌ویژه سیستم‌های قفسی و انگشتی به دلیل استفاده از الکتروموتورهای بزرگ‌تر مصرف انرژی بیشتری دارند (۳/۵ تا ۴ کیلووات).

با توجه به تحلیل‌های انجام‌گرفته و نتایج آن، می‌توان چنین ابراز نمود که استفاده از ماشین پوست‌کن گردو، می‌تواند عمل پوست‌کنی را با عملکرد بیش از ۹۳ درصد و آسیب کمتر از ۲ درصد انجام دهد. در ارزیابی کلی کار دستگاه پوست‌کن، نتایج به‌دست‌آمده نشان داد تأثیر عمق برش صفحه و سرعت دورانی بر پوست‌کنی گردو در سطح یک درصد معنی‌دار است. در محدوده‌های موردآشاره، عمق ۵ و سرعت دورانی ۳۲۲ دور بر دقیقه بالاترین میزان عملکرد را حاصل نمود، اما با لحاظ نمودن درصد تلفات، عمق ۳ میلی‌متر و سرعت دورانی ۲۷۵ دور بر دقیقه برای عملکرد مطلوب پیشنهاد می‌شود. علاوه بر آن خروجی حاصل از بهینه‌سازی نشان داد بالاترین میزان بهره‌وری در عمق برش ۳/۴ میلی‌متر و سرعت دورانی ۲۸۱ دور بر دقیقه حاصل می‌شود.

در جدول ۹، مقایسه دستگاه پوست‌کن ساخته‌شده با سه پوست‌کن مشابه نشان داده شده است. با تحلیل و مقایسه سامانه حاضر با

جدول ۹- مقایسه دستگاه حاضر با سه پوست‌کن گردو

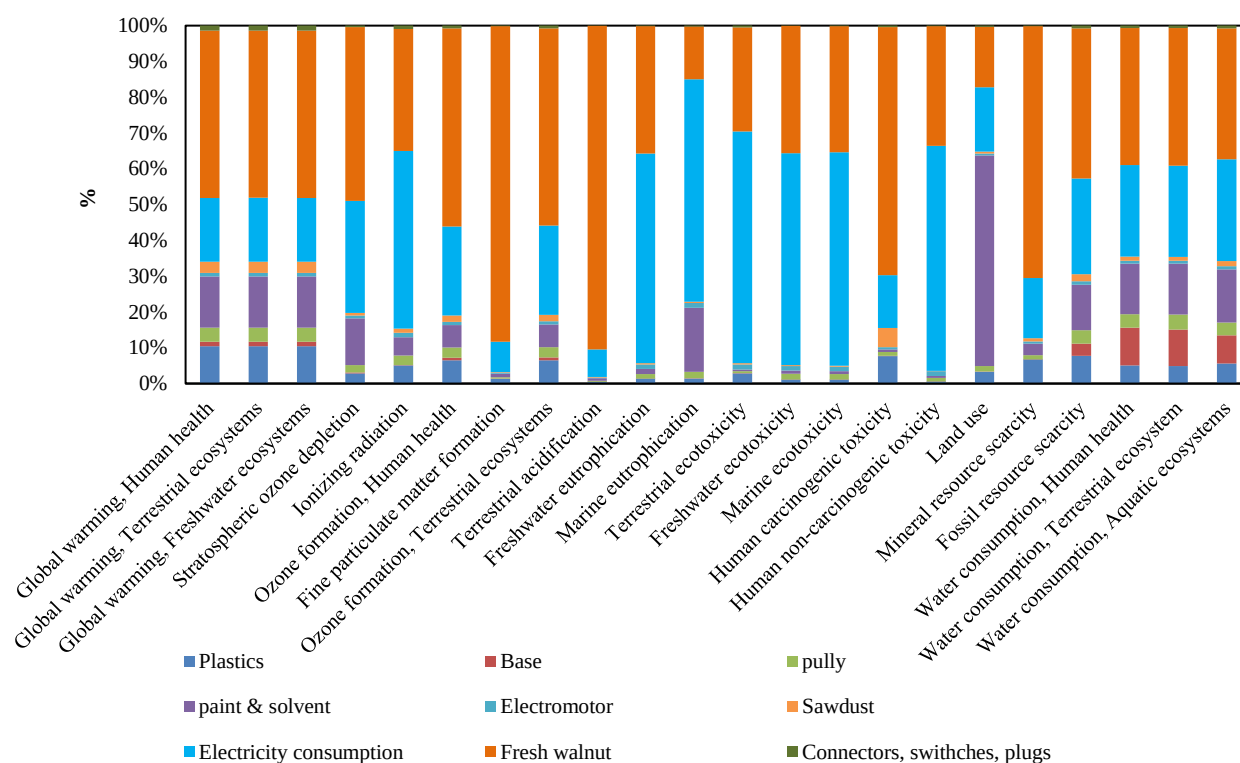
Table 9- Comparison of the present device with three walnut peelers

پارامتر	دستگاه سانتریفیوژ (Zhong et al., 2018) Centrifugal Net peeler	دستگاه قفسی (Karimi et al., 2008) Cage peeler	دستگاه انگشتی (Hussain et al., 2016) Finger peeler	دستگاه حاضر Present system
ظرفیت Capacity (kg h ⁻¹)	900	800	750	1200
بازدهی پوست‌کنی Peeling efficiency (%)	90	85	86	93.5
درصد آسیب Damage (%)	5	10	8	1.8
مصرف انرژی Energy consumption (kW)	3.2	3.5	4.0	2.5

نتایج ارزیابی چرخه زیست

شکل ۵ نتایج ارزیابی تأثیر چرخه حیات (LCIA) را بر حسب درصد برای پوست کن گردو نشان می‌دهد. جریان الکتریکی مصرف شده، ۶۲/۹ درصد بزرگترین سهم در رده اول قرار دارد. پس از آن همان طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، گردوی تازه در اکثر شاخص‌ها به جز گرم شدن کره زمین در فرآیند عمل‌آوری بیشترین تأثیر را بر آلودگی دارد. این بدان معناست که بخش عمده آلودگی

مربوط به مرحله تولید گردو است که به فرآیند پوست‌کنی گردو مربوط نمی‌شود. بقیه نهاده‌ها تنها حدود یک درصد از مواد سرطان‌زا را تشکیل می‌دهند (Mao & Hua, 2012). به غیر از اشغال زمین و استخراج مواد معدنی، شاخص‌های دیگر شامل تخریب لایه اوزون، مواد آلی تنفسی، سمیت آبزیان، سمیت زمینی، اسیدی شدن زمین، اسیدی شدن آب، اوتروفیکاسیون آبزیان و انرژی‌های تجدیدناپذیر است. اثر مصرف برق بیشتر از تولید گردوی تازه و سایر نهاده‌ها بود.

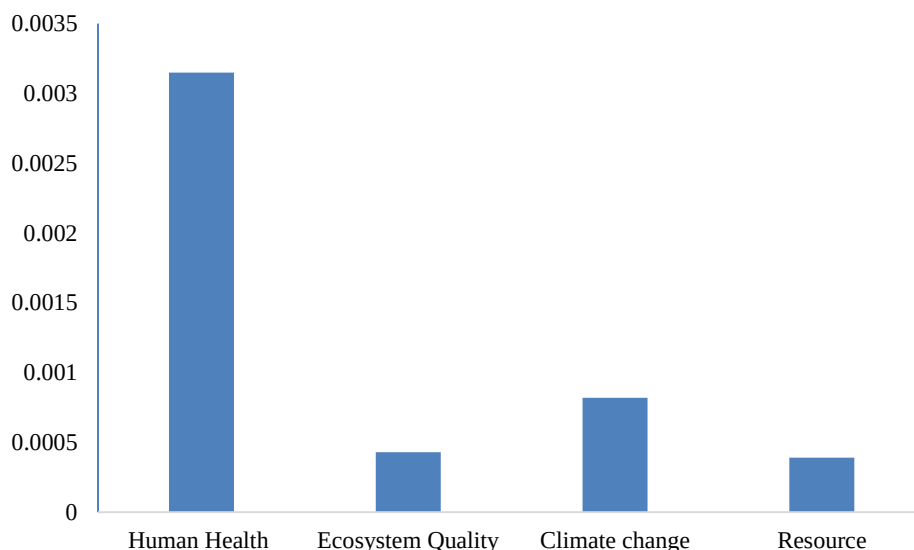


شکل ۵- سهم هر ورودی در نتایج ارزیابی تأثیر چرخه حیات (LCIA) پوست کن گردو بر حسب درصد

Fig. 5. The share of each input in the results of the Life Cycle Impact Assessment (LCIA) of the walnut peeler, in percentage points

می‌باشد. گازهای گلخانه‌ای به‌طور عمده شامل گازهای CO_2 و NO_x و SO_x که با پراکندگی در فضا علاوه بر آثار زیست‌محیطی در بلندمدت باعث تغییرات اقلیمی می‌گردد. کیفیت اکوسیستم و منابع در رده‌های بعدی از تأثیر آلودگی قرار می‌گیرند. با بهینه نمودن سامانه، کاهش وزن آن و استفاده از انرژی پاک خورشیدی به جای انرژی الکتریکی می‌توان تا حد زیادی از تأثیرات زیست‌محیطی ناشی از استفاده از جریان الکتریکی و منبع مورد نیاز کاست.

همان طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، نتایج مقایسه شاخص‌های LCIA نشان داده شده است. با توجه به نمودار شاخص مربوط به سلامت انسانی نسبت به بقیه شاخص‌ها، در بالاترین سطح قرار دارد. این امر به دلیل استفاده از جریان الکتریکی، استفاده از پروفیل و ورق آهن و سیم مسی درون الکتروموتور می‌باشد، که برای استحصال این مواد نیاز به پروسه‌هایی نظیر خالص‌سازی و پالایش در رده بعدی تغییرات اقلیمی قرار دارد که بیشترین تأثیر در این عامل در اثر آزاد شدن گازهای گلخانه‌ای ناشی از محصول و اجزای سامانه



شکل ۶- مقایسه شاخص‌های اصلی نرمال شده LCIA برای دستگاه پوست کن گردو

Fig. 6. Comparison of the main normalized LCIA indices for the walnut peeling machine

نتیجه‌گیری

با استفاده از دستگاه پوست کنی گردو، می‌توان عمل پوست کنی گردو را با کارایی بالای ۹۴ درصد و آسیب کمتر از ۵ درصد انجام داد. در ارزیابی کلی عملکرد دستگاه چنین استنباط شد که تأثیر عمق شیارهای برش و سرعت دورانی بر پوست کنی گردو در سطح یک درصد معنی‌دار است. در محدوده‌های مورد اشاره، عمق برش ۳ میلی‌متر و سرعت دورانی ۲۷۵ دور بر دقیقه مناسب‌ترین عملکرد را از نظر پوست کنی و آسیب به گردوها داشت. علاوه بر آن خروجی حاصل از بهینه‌سازی نشان داد بالاترین میزان بهره‌وری در عمق ۳/۴ میلی‌متر و سرعت دورانی ۲۸۱ دور بر دقیقه حاصل می‌شود. نتایج ارزیابی چرخه زیست نشان داد، شاخص مربوط به سلامت انسان به دلیل استفاده از جریان الکتریکی (جهت توان‌دهی سامانه)، پروفیل آهن (در شاسی و مخزن سامانه)، سیم مسی در آرمیچر الکتروموتور

بیشترین مقدار را دارد. بهینه نمودن سامانه و استفاده از انرژی‌های پاک می‌تواند به بهبود کارایی سامانه و کاهش تأثیرات زیست‌محیطی کمک کند.

سپاسگزاری

نویسندگان از حمایت‌های مالی و معنوی دانشگاه کردستان و شرکت خودباوران صنعت آذرشهر تشکر و سپاسگزاری می‌نمایند.

مشارکت نویسندگان

هادی صمیمی اخچه‌پانی: مفهوم‌سازی، تحقیق، جذب سرمایه، تحلیل رسمی، نرم‌افزار، مرور و ویرایش.
محمد صالح برقی جهرمی: مفهوم‌سازی، روش‌شناسی، مصورسازی، تحلیل داده‌ها، نگارش، پیش‌نویس اصلی، مرور و نگارش.

References

- Barton, R. P. (1956). Nut Hulling Machine. *United States patent*, 2,747.632.
- Cacho, M. (1978). Nut Huller or Sheller. *United States patent*, Pp, 868-320.
- Ebrahimi, A., Sharifi, M., Rafiei, Sh., & Fatahi, M. (2009) Determination of Physical and Morphological Properties in Four Genotypes of Walnut. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 40(1), 63-70. (in Persian). [20.1001.1.20084803.1388.40.1.8.0](https://doi.org/10.1001.1.20084803.1388.40.1.8.0)
- FAO. (2022). Statistics of Quantity of walnut Production in Iran. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Gachpazian, A., Azadmard Damirchi, S., Hesari, J., Peighambaroust, S. H., Nemat, M., Alijani, S., & Ahmadi, E. (2013). Production of Yoghurt Fordified with Walnut Powder. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 9(4), 66-73. <https://doi.org/10.22067/iftstr.v9i4.31361>
- Ghafari, A., Chegini, G. R., Khazaei, J., & Vahdati, K. (2011) Design, Construction and Performance Evaluation of the Walnut Cracking Machine. *International. Journal of Nuts and Related Science*, 2(1), 11-16.

- <https://doi.org/10.22034/jon.2011.515757>
7. Ghasemi, M., Arzani, K., & Hassani, D. (2012). Evaluation and identification of walnut (*Juglans regia* L.) genotypes in Markazi province of Iran. *Crop Breeding Journal*, 2(2), 119-124. <https://doi.org/10.22092/cbj.2012.100429>
8. Guinee, J. B. (2002). Handbook on life cycle assessment operational guide to the ISO standards. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 7(5), 311-313. <https://doi.org/10.1007/BF02978897>
9. Güner, M. E. T. İ. N., Dursun, E. R. G. İ. N., & Dursun, I. G. (2003). Mechanical behavior of hazelnut under compression loading. *Biosystems Engineering*, 85(4), 485-491. [https://doi.org/10.1016/S1537-5110\(03\)00089-8](https://doi.org/10.1016/S1537-5110(03)00089-8)
10. Hussain, S. Z., Ahad, T., Rather, A. H., & Naik, H. R. (2016). Development of walnut dehulling machine and assessment of its performance using Ethephon and Tween-80 as pre-treatments for hull loosening. *Journal of Food Science Technology*, 53, 2835-2843. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2261-5>
11. Jingtao, Z., Pengxu, S., Xiaoxue, W., & Ye, F. (2016). Design of the mechanism principle of the new green walnut peeling machine. *Food and Machinery*, 32(8), 20. <https://doi.org/10.13652/j.issn.1003-5788.2016.08.020>
12. Karimi, N., Minaei, S., Hasani, D., & Eyvani, A. (2008). Parameters involved in walnut peeling process. *Journal of Agricultural Machinery Science*, 4(4), 389-393.
13. Khazaei, J., Rasekh, M., & Borghei, A. M. (2002). Physical and Mechanical Properties of Almond and its Kernel related to cracking and peeling. In 2002 ASAE Annual Meeting (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers. <https://doi.org/10.13031/2013.10847>
14. Koyuncu, M. A., Ekinici, K. A. M. İ. L., & Savran, E. (2004). Cracking characteristics of walnut. *Biosystems Engineering*, 87(3), 305-311. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2003.11.001>
15. Latifi, Y., Chaharlang, M., Daneshniya, M., Khaki Arani, S., Barzanoi, M., & Boghori, P. (2021). Antioxidant and antimicrobial properties of methanolic extract of green walnut skin. *FSCT*, 17(108), 127-136. <https://doi.org/10.52547/fsct.17.108.127>
16. Makarichian, A., & Chegini, G.R. (2013). Design and Construction a Walnut peeler. *International Journal of Nuts and Related Science*, 5, 19-29. <https://doi.org/10.22034/JON.2014.515692>
17. Mao, X., & Hua, Y. (2012). Composition, Structure and Functional Properties of Protein Concentrates and Isolates Produced from Walnut (*Juglans regia* L.). *International Journal of Molecular Science*, 13, 1561-1581. <https://doi.org/10.3390/ijms13021561>
18. McFarland, J., & Saunders, E. (1977). Pistachio huller. *United States patent*. 587, 918.
19. Meriam, J. L., Kraige, L. G., & Bolton, J. N. (2018). *Engineering Mechanics: Dynamic*. Published by Wiley, New York. 9th edition.
20. Mirzaei, P., Salami, P., Samimi-Akhijahani, H., & Zareei, S. (2023). Life cycle assessment, energy and exergy analysis in an indirect cabinet solar dryer equipped with phase change materials. *Journal of Energy Storage*, 61, 106760. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.106760>
21. Montero, C. R. S., Schwarz, L. L., Dos, L. C., Santos, C. S., Andreazza, C. P., & Kechinski, R. J. (2009). Postharvest mechanical damage affects fruit quality of 'Montenegrina' and 'Rainha' tangerines. *Brazilian Agricultural Research*, 44(12), 1636-1640. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009001200011>
22. Ramos, D. (1998). *Walnut Production Manual*. University of California. 328 pp.
23. Rastegar, S., Shojaee, A., & Tajeddin, B. (2019). The effect of packaging method on the physical, chemical, and organoleptic characteristics of walnut kernel during its storage. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 14(5), 699-713. <https://doi.org/10.22067/ifstrj.v14i5.68814>
24. Rebufa, C., Artaud, J., & Dréau, Y. L. (2022). Walnut (*Juglans regia* L.) oil chemical composition depending on variety, locality, extraction process and storage conditions: A comprehensive review. *Journal of Food Composition and Analysis*, 110, 104534. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104534>
25. Sharifian, F., Rahmani Didar, A., & Haddad Derafshi, M. (2008). Design of a walnut cracking machine based on acquired mechanical properties. In V: 10th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture. Antalya, Turkey. (pp. 826-831).
26. Trujillo, G. (2003). Nut Hulling tub Agitating fingers. *United States patent*, 10, 424, 241.
27. Wei, L., Fu, H., Lin, M., Dang, H., Zhao, Y., Xu, Y., & Zhang, B. (2020). Identification of dominant fungal contamination of walnut in Northwestern China and effects of storage conditions on walnut kernels. *Scientia Horticulture*, 264, 109141. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109141>
28. Younesi Alamooti, Y., & Mahmoodi, S. (2015). Evaluation of a new multipurpose centrifugal mechanism for nut process. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 32, 186-192. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.09.002>
29. Zhong-qiang, Y., Kuan-bo, C., Sheng-kun, Y., Li-na, S., Ba-siti, A., Zhong-xin, L., & Qing-hui, W. (2018). Design and experiment of centrifugal-mesh green walnut peeling machine. *Science and Technology of Food Industry*, 39(8), 195-198. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.08.035>
30. Zhou, J., He, L., Karkee, M., & Zhang, Q. (2014). Effect of excitation position of a handheld shaker on fruit removal efficiency and damage in mechanical harvesting of sweet cherry. *Biosystems Engineering*, 125, 36-44. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2014.06.016>

31. Ziaolhagh, S. H., & Zare, S. (2022). Effect of ultrasound on the extraction of phenolic compounds and antioxidant activity of different parts of walnut fruit. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 18(3), 85-98. <https://doi.org/10.22067/ifstrj.2021.72602.1114>