

طراحی، ساخت و آزمایش ماشین پوست‌کن گردو

سید امیر ذکی^۱، کامل قادرنژاد^{۲*}، غلامرضا چگینی^۳ و محمد رضا ملکی^۴

چکیده

حذف سریع پوست سبز و خشک کردن از مراحل مهم فرآوری پس از برداشت گردو است. وجود ماده تانن در پوست سبز گردو که به سهولت در مجاورت با هوا اکسیده می‌شود، سبب سیاه شدن پوست سخت گردو و تسریع در تغییر رنگ مغز آن از سفید به زرد و قهوه‌ای روشن می‌شود. در این پژوهش ضمن بررسی خاصیت‌های مکانیکی پوست گردو و نتایج انرژی لازم در فرآیندهای برش، نفوذسنجی و لهیدگی از چهار نوع گردوی پرمصرف (Serr; Pedro; Z67; K72) از نوع Serr برای معیارهای طراحی دستگاه پوست‌کن گردو با توجه به شرایط مصرف کننده داخلی، انتخاب شد که سبب ارائه طرحی ابتکاری و اقتباسی ماشین پوست‌کن گردو شده و سپس اقدام به ساخت و ارزیابی آن شد. نتایج حاصل از ارزیابی نشان داد که برای دور ۳۶۸ دور بر دقیقه برس‌های سیمی و فاصله ۱۲ میلی‌متری استوانه شیاردار با برس‌های ساینده در مدت زمان بهینه ۶۰ ثانیه و با تعداد گردوی بین ۲۵ تا ۵۰ عدد (۳ تا ۵ کیلوگرم) در هر بار پوست‌کنی راندمان ۹۳ درصد به دست آمد. زمان پر و خالی کردن ماشین به وزن ۳ کیلوگرم گردو مدت ۱۵ ثانیه طول کشید و ظرفیت کاری ماشین بین ۱۲۰ تا ۲۴۰ کیلوگرم بر ساعت حاصل شد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی، دستگاه پوست‌کن، طراحی، گردو.

ارجاع: ذکی س. ا. قادرنژاد ک. چگینی غ. ر. و ملکی م. ر. ۱۳۹۳. طراحی، ساخت و آزمایش ماشین پوست‌کن گردو. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۴: ۴۷-۵۴.

۱- دانشجوی دکتری مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی.

۲- دانشجوی دکتری مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی.

۳- دانشیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه پردیس ابوریحان تهران.

۴- استادیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان.

* نویسنده مسئول: Kgadernejad@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۲/۱۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۹/۱۶

مقدمه

یکی از پرمحصول‌ترین میوه‌های باغی ایران گردو است. در حال حاضر میزان محصول هر هکتار گردو با به‌کارگیری روش‌های مکانیزه، به طور متوسط ۳/۵ تن در هکتار است. سطح زیرکشت گردوی بارور در ایران ۷۴۹۷۹ هکتار و سطح زیرکشت گردوی غیربارور ۶۳۳۸۸ هکتار است (بی‌نام، ۱۳۷۷). مهم‌ترین ارقام گردو که در ایران کشت می‌شوند عبارتند از: گردوی کاغذی، ماکویی، سوزنی، نوک کلاغی، خوشه‌ای، سبزواری، آمیخته خراسان، مازندران، شه‌میرزاد، سمنان، شاه‌رود، قزوین، طالقان، آذربایجان، همدان و تویسرکان. برنامه اصلاح از دهه ۶۰ در مؤسسه تحقیقات اصلاح بذر و نهال شروع شده و هفت رقم Z60- Z30- K72-Z63- B21- Z53-Z67 استخراج و در حال گسترش بوده و رقم‌های Serr-Hartley-Pedro-Lara-Franquette-Ronde de Montignac-Vina-Chandler در حال بررسی هستند (احمدی، ۱۳۷۵ و وحدتی، ۱۳۸۲). خارجی‌ترین سطح گردویی که تازه برداشت می‌شود از یک لایه سبز پوشیده شده است. این لایه به‌صورت گوشتی و به نسبت ضخیم بوده و به طور معمول تا مدت زیادی تازه و آبدار باقی می‌ماند و در اثر روی هم ماندن گردو سبب می‌شود که مشکلاتی مانند کپک‌زدگی، له‌شدگی، و سیاه شدن مغز گردو ایجاد شود. بنابراین ماشینی که بتواند به‌صورت سریع و آسان عمل پوست‌کنی گردو را انجام دهد، ضروری به نظر می‌رسد. در پژوهش‌ها نوعی ماشین پوست‌کن گردو طراحی شده که محفظه اصلی این ماشین دارای یک مجرای ورودی شیب‌دار برای ورود گردوها است. یک مجرای خروجی نیز با این مشخصات در انتهای پایینی برای خروج گردوهای پوست‌کنده شده قرار دارد. این محفظه دارای یک سری دیواره‌های عمودی و یک شفت مارپیچی دوار است (تجالدین، ۲۰۰۵؛ رضایی، ۱۳۸۴ و کاکو، ۱۹۷۸). همچنین در این زمینه تروگیلو (۲۰۰۳) موفق به اختراع پوست‌کن گردو مجهز به انگشتک‌های همزن شد که سبب افزایش به هم خوردگی گردوها و در نتیجه افزایش کارایی ماشین می‌شود. این روش ضمن سرعت بالای کار، برای پوست‌گیری پسته نیز مناسب است. همچنین دارای پوششی است که کمی آن را برجسته کرده و کار پوست‌کنی را بهتر می‌کند (کبگون، ۲۰۰۶). پوست‌کن مجهز به پدال‌های دوار را اختراع کرد. بعد از عمل پوست‌کندن گردوها تحت شست‌شوی پرفشار قرار می‌گیرند

تا تکه‌های کوچک پوست سبز باقیمانده در سطح آن‌ها و در لابلای شیارهای پوست چوبی شسته شده و از بین بروند. (ولک و همکاران، ۱۹۸۱) یک ماشین پوست‌کن مجهز به استوانه شیاردار و صفحه شیاردار را ارائه کردند. این ماشین برای پوست‌کنی پسته طراحی شده است ولی چون قابل تغییر برای سایزهای متفاوتی است می‌توان از آن برای پوست‌کندن گردو نیز استفاده کرد. این ماشین از یک‌سری فشار دهنده تشکیل شده است که محصول را بین سطحی از ماشین که دارای برآمدگی است و سطحی که شکاف‌های باریک دارد فشار می‌دهد. شکاف‌ها باریک‌تر از اندازه محصولات هستند و سبب می‌شود تا پوست آن‌ها کنده شود. (فارلند و همکاران، ۱۹۹۷) موفق به اختراع یک ماشین پوست‌کن گردوی مجهز به غلتک‌های دندانه‌دار و نازل‌های شست و شو دهنده شدند. در این ماشین دو قسمت اصلی وجود دارد قسمت اول از یک جفت غلتک بزرگ تشکیل شده که گردو از بین آن‌ها عبور می‌کند و با وارد کردن فشار و خراش به برجستگی‌های پوست سبز و نرم گردو، پوست آن را تا حد زیادی می‌کند و مرحله دوم از تعداد زیادی غلتک‌های کوچک و باریک تشکیل می‌شود که بسیار نزدیک به هم قرار می‌گیرند و از عبور گردوهایی که پوست‌شان به طور کامل کنده نشده است جلوگیری می‌کند (گوپتا و همکاران، ۱۹۸۸). برای یک پوست‌کن بادام زمینی پدالی طراحی کردند که دارای چهار قسمت قیف تغذیه، کوبنده، واحد بوجاری و واحد درجه‌بندی بود. ظرفیت ماشین ۱۶۰-۱۸۰ کیلوگرم در ساعت، بازده ۹۸-۹۹ درصد و کمتر از ۳ درصد شکستگی با مصرف توان ۳۲۰ وات داشته است. در این پژوهش تلاش شده است با بررسی جامع در خصوص عیب‌ها و مزایای انواع ماشین‌های پوست‌کن پوست سبز گردو در دنیا اقدام به طراحی ابتکاری و اقتباسی یک ماشین پوست‌کن پوست سبز گردو متناسب با شرایط گردوهای غالب ایران شود. علاوه بر آن به دلیل اهمیت خواص مکانیکی پوست سبز گردو و تأثیر آن در طراحی و مصرف انرژی، نسبت به اندازه‌گیری برخی از مهم‌ترین این خواص، مانند تنش حد تسلیم پوست سبز گردو در آزمون‌های استاتیکی برش، نفوذ و لهیدگی اقدام شد تا نتایج مطلوب زیر به‌دست آید. تسریع در حذف پوست سبز گردو پس از برداشت و بهبود کیفیت و ارزش افزوده آن، جلوگیری از ایجاد و شیوع بیماری و آفات و رعایت اصول بهداشتی و حفظ محیط‌زیست کاهش عملیات

لازم و محاسبه انرژی لازم در فرایند لهیدگی، برش و نفوذسنجی ۲- طراحی و ساخت اولیه ماشین برای بررسی کیفیت عملکرد و مشخص شدن ظرفیت ماشین و توان مورد نیاز ۳- ارزیابی کیفیت و ظرفیت عملکرد ماشین با انجام آزمایش‌های لازم و ارزیابی توان مورد نیاز، طراحی اجزاء ماشین با توجه به حداکثر توان مصرفی آن و با ضریب اطمینان مناسب و سپس اعمال تغییرات لازم در اجزاء ماشین با توجه به طراحی انجام شده است.

تعیین خواص مکانیکی

برای تعیین خواص مکانیکی چهار نوع گردوهای K72, Serr, Pedro, Z67 که بیش از سایر ارقام در ایران به آن توجه می‌شود، تنش حد تسلیم پوست سبز گردو در آزمون‌های استاتیکی برش کرامر، نفوذسنجی و لهیدگی بررسی شد. ابزار بافت‌سنج مورد استفاده مدل HOUNSFIELD-H5KS بوده و با همکاری آزمایشگاه تجهیزات و ابزار دقیق بخش تحقیقات مهندسی صنایع غذایی و فناوری پس از برداشت مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی انجام شد. جدول ۱ خلاصه‌ای از شرایط انجام آزمایش‌های تعیین خواص را و شکل ۲ نمایی از گردو در زیر بار برای هر آزمایش را نشان می‌دهد.

طراحی و ساخت اولیه ماشین

دستگاه ساخته شده، از هشت قسمت اصلی زیر تشکیل شده است: الکتروموتور، پولی متحرک، مجموعه پولی‌های محرک، شافت، صفحه نگهدارنده استوانه شیاردار به همراه مجموعه بلبرینگ‌ها، برس‌های سیمی ساینده، استوانه شیاردار و شاسی. شکل ۳ نمای گسترده اجزاء ماشین ساخته شده را نشان می‌دهد.

فرآوری محصول گردو به دلیل کاهش در عملیات مربوط به سفید کردن پوست چوبی گردو و رنگ‌زدایی، امکان انبار کردن گردو به مدت طولانی‌تر و کاهش هزینه مربوط به پوست‌کنی باشد.

مواد و روش‌ها

معیارهای طراحی ماشین

ماشین پوست‌کن گردو در گروه فنی کشاورزی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران ساخته و ارزیابی شد (شکل ۱). معیارهای طراحی این ماشین حجم و وزن حداقل برای امکان جابه‌جایی راحت ماشین، امکان استفاده از ماشین با ظرفیت و دوره‌های متفاوت، دوام مناسب، کیفیت خوب در عمل پوست‌کنی (حداقل درصد شکستگی و آسیب‌دیدگی) و ظرفیت کاری خوب است.



شکل ۱- دستگاه پوست‌کن گردو

مراحل طراحی و ساخت ماشین

مراحل طراحی و ساخت ماشین به ترتیب عبارتند از: ۱- بررسی خواص مکانیکی پوست گردو با انجام آزمایش‌های

جدول ۱- آزمایش‌های تعیین خواص مکانیکی انجام شده روی گردو

نوع آزمایش	شرح آزمایش	تجهیزات به کار رفته
آزمون برش	نیروی برشی لازم برای پوست گردو از طریق Load Cell الکترونیکی به صورت Real time اندازه‌گیری و در کامپیوتر ثبت و نمودار نیرو- جابه‌جایی ترسیم می‌شود.	بافت‌سنج مدل H5HS- تیغه برش - گردو
آزمون نفوذسنجی	نیروی نفوذکننده پانچ متصل به فک بالایی به داخل پوست سبز گردو از طریق Load Cell الکترونیکی به صورت Real time اندازه‌گیری و در کامپیوتر ثبت و نمودار نیرو- جابه‌جایی ترسیم می‌شود.	پانچ به قطر ۴/۶ میلی‌متر - بافت‌سنج مدل HOUNSFIELD-H5HS- گردو
آزمون لهیدگی	نیروی مربوط به مقاومت له شدگی پوست سبز گردو متصل به فک متحرک بالایی از طریق Load Cell الکترونیکی به صورت Real time اندازه‌گیری و در کامپیوتر ثبت و نمودار نیرو- جابه‌جایی ترسیم می‌شود.	فک ثابت و متحرک - بافت‌سنج مدل HOUNSFIELD-H5HS- گردو

انتخاب می‌شود. براساس رابطه ۱ با احتساب ۷/۲ سانتی‌متر برای پولی محرک، ۱۴۲۰ دور در دقیقه برای دور الکتروموتور و ۳۶۸ دور در دقیقه، برای پولی متحرک (دور بهینه به دست آمده از ارزیابی ماشین)، قطر پولی متحرک ۲۷ سانتی‌متر به دست می‌آید:

$$\frac{D}{d} = \frac{n_2}{n_1} \quad (۱)$$

که n_1 سرعت زاویه‌ای شافت اصلی ماشین (rpm)، D قطر پولی متحرک متصل به شافت اصلی ماشین (mm)، n_2 سرعت زاویه‌ای پولی متصل به الکتروموتور، d قطر پولی محرک متصل به الکتروموتور (mm)، برای تعیین فاصله مرکز به مرکز پولی‌ها با توجه به رابطه ۲ خواهیم داشت:

$$D \leq C \leq 2(D+d) \Rightarrow 27 \leq C \leq 2(27+7) \quad (۲)$$

$$\Rightarrow 27\text{cm} \leq C \leq 68\text{cm}$$

که C فاصله مرکز به مرکز پولی‌ها (cm)، D قطر پولی بزرگ (cm)، d قطر پولی کوچک (cm) است، که این فاصله ۲۸ سانتی‌متر در نظر می‌گیریم. از رابطه ۳ می‌توان طول تسمه را مشخص کرد.

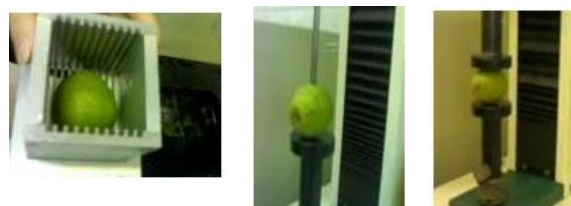
$$L = \frac{\pi}{2}(D+d) + 2C + \frac{(D-d)^2}{4C} \quad (۳)$$

که L طول تسمه (cm)، C فاصله مرکز به مرکز پولی‌ها (cm)، D قطر پولی بزرگ (cm)، d قطر پولی کوچک (cm). بنابراین مقدار طول تسمه معادل ۱۱۲/۹۵ سانتی‌متر معادل ۴۷/۰۶ اینچ به دست می‌آید. بنابراین با توجه به تسمه‌های موجود در بازار تسمه ۴۸ اینچ معادل ۱۱۵/۲ سانتی‌متر برای طول تسمه در انتخاب شد. برای محاسبه سرعت محیطی تسمه از رابطه ۴ خواهیم داشت (شادروان، ۱۳۷۷):

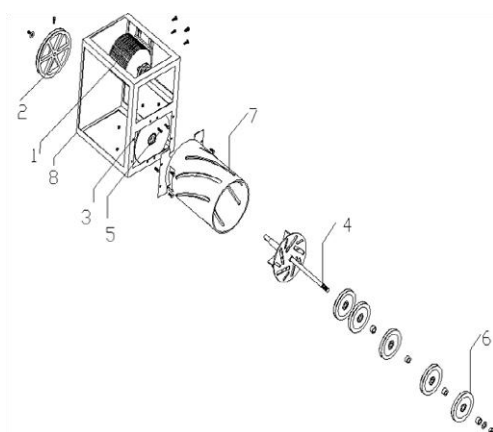
$$V = R\omega = \frac{2\pi Rn}{60} = \frac{\pi \times 7 \times 1420}{60} \quad (۳)$$

$$V = 520.2\text{cm s}^{-1} = 1030\text{ ft min}^{-1}$$

که V سرعت محیطی تسمه (cm)، R شعاع پولی محرک (cm)، ω سرعت زاویه‌ای (rad/s)، n سرعت زاویه‌ای (rpm). برای راه‌اندازی ماشین لازم است کشش اولیه‌ای را در تسمه ایجاد کرد تا از لغزش آن روی پولی‌ها جلوگیری شود. با علم به اینکه پس از به حرکت در آمدن تسمه، مقدار کشش در یکی از شاخه‌ها افزایش و در دیگری به همان اندازه کاهش می‌یابد، مقدار هر یک از این نیروها را که در شکل ۴ نشان داده شده است، محاسبه می‌کنیم. محاسبه این نیروها به این دلیل مهم است که



شکل ۲- گردو در زیر بار، الف: آزمون برش کرامر، ب: آزمون نفوذسنجی، ج: آزمون لهیدگی



شکل ۳- نمای گسترده اجزاء ماشین و نمایش قسمت‌های اصلی دستگاه شامل، (۱) الکتروموتور (۲) پولی متحرک (۳) مجموعه پولی‌های محرک (۴) شافت (۵) صفحه نگه دارنده استوانه شیاردار به همراه مجموعه بلبرینگ‌ها (۶) برس‌های سیمی ساینده (۷) استوانه شیار دار (۸) شاسی

طراحی اجزاء ماشین

توان الکتروموتور باید به اندازه‌ای باشد که گشتاور و دور مورد نیاز قسمت‌های متحرک ماشین را فراهم کند. زمانی که برقراری نسبت دقیق سرعت‌ها لازم نباشد، از سیستم پولی و تسمه برای انتقال قدرت استفاده می‌شود. از ویژگی‌های رانش تسمه‌ای آن است که ضربه را تخفیف می‌دهد، نیاز به روغن کاری نداشته و خارج از خط بودن در آن‌ها به اندازه سایر سیستم‌های انتقال قدرت، مهم نیست. با توجه به میزان توان انتقالی، نوع تسمه A برای این ماشین انتخاب می‌شود (شادروان، ۱۳۷۷). حداقل قطر پولی محرک در تسمه نوع ۳A اینچ ۷/۲ سانتی‌متر است و برای انتقال توان با توجه به پژوهش‌های که توسط ترجیلو (۲۰۰۳) در طراحی و ساخت ماشین پوست‌کنی ۲ اسب بخار در نظر گرفته شده بود بر این مبنا انجام شد. بنابراین برای ماشین، قطر حداقل یعنی معادل ۷/۲ سانتی‌متر

قدرت بیشتری احتیاج داشته باشد، کشش اولیه تسمه را با تغییر موقعیت موتور با پیچ تنظیم شاسی موتور، افزایش می‌دهیم. بنابراین براساس رابطه ۹ و ۱۰ برابر است:

$$\begin{cases} \frac{F_1 + F_2}{2} = 150 \\ \frac{(F_1 - F_2)d}{2} = T = 10 \end{cases} \quad (9)$$

$$\Rightarrow F_1 = 151.5N, F_2 = 148.5N$$

و در سخت‌ترین شرایط (در حداکثر کشش اولیه برای انتقال حداکثر توان) براساس رابطه ۱۱ خواهیم داشت:

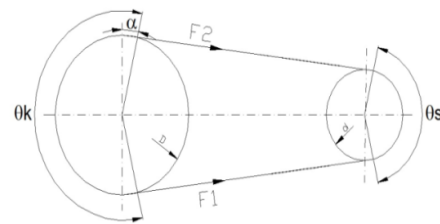
$$\begin{cases} \frac{F_1 + F_2}{2} = 182 \\ \frac{(F_1 - F_2)d}{2} = T = 10 \end{cases} \quad (11)$$

$$\Rightarrow F_1 = 183.5N, F_2 = 180.5N$$

شافت وظیفه انتقال نیرو به برس‌های ساینده و نیز هم زدن گردوها در داخل استوانه شیاردار را بر عهده دارد. ابتدای شافت به مجموعه پولی‌ها متصل می‌باشد و دارای یک جای خار است، انتهای دیگر آن آزاد و دارای رزوه است. بر روی شافت نیز یک صفحه همزن و تکیه‌گاه نگه دارنده آن جوش داده شده است و این مجموعه را به‌صورت یک قطعه واحد تبدیل کرده است. پارامترهای مهم طراحی شافت عبارتند از: تعیین گشتاور و دور انتقالی با شافت، انتخاب جنس مناسب، تعیین حدود هندسی شافت و مشخص کردن مکان‌های قرار گرفتن یاتاقان و پولی‌ها و تعیین نیروها و گشتاورهای برشی و ممان‌های خمشی و محاسبه تنش‌های اعمالی و محاسبه حداقل قطر لازم شافت. سرعت دورانی مناسب برای عمل پوست‌کنی گردو (۳۶۸ دور در دقیقه)، همان سرعت دورانی شافت است و توان انتقال نیز دو اسب بخار در نظر گرفته می‌شود، بنابراین براساس رابطه ۷ گشتاور انتقالی ۱۰ N.m است.

که T حداکثر گشتاور انتقالی (N.m)، P توان (watt)، ω سرعت زاویه‌ای (rad s^{-1})، جنس شافت بر اساس جدول استاندارد DIN17200، از نوع فولاد C45 که دارای تنش تسلیم بین ۳۳۵ تا ۴۳۰ مگاپاسکال است، انتخاب شد. در این بخش اقدام به تعیین حداکثر تنش برشی در مجموعه و مشخص کردن نقاط بحرانی و نیز تعیین مقدار لازم قطر شافت در مکان‌های مختلف با ضریب اطمینان پنج، می‌شود. برای تعیین نقاط بحرانی براساس شکل ۵، دو نقطه ۱ و ۲ در نظر گرفته شد. در نقطه ۱ که تکیه‌گاه ساده

نیروی ایجاد شده در تسمه با پولی به بلبرینگ و در نهایت به شافت منتقل و در آن ایجاد ممان خمشی می‌کند. بنابراین برای انتخاب بلبرینگ و طراحی شافت، محاسبه نیروی ایجاد شده در هر شاخه تسمه ضروری است. برای محاسبه نیروهای کششی ایجاد شده در هر یک از شاخه‌های تسمه در هنگام کار رابطه‌های ۵، ۶ و ۷ استفاده می‌کنیم (شادروان، ۱۳۷۷):



شکل ۴- نمایش دو نیروی اعمال شده بر دو سوی تسمه در سیستم انتقال توان پولی و تسمه

$$\frac{F_1 + F_2}{2} = F_0 \quad (5)$$

$$F_1 \geq F_2 \quad \frac{(F_1 - F_2)d}{2} = T \quad (6)$$

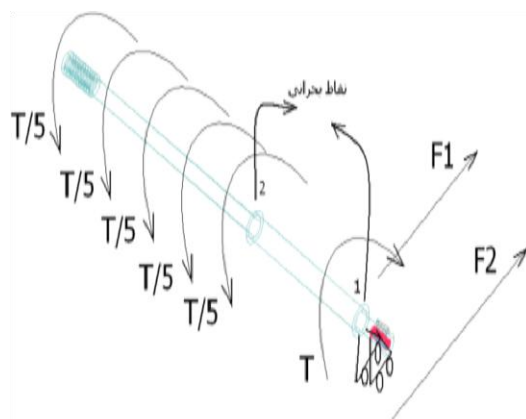
$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{1500 \text{ watt}}{2 \times \pi \times 1420 / 60} \cong 10 \text{ N.m} \quad (7)$$

که F_0 کشش اولیه تسمه، (N) که با توجه به جنس تسمه و مقدار تنش مجاز وارد بر آن قابل محاسبه است. F_1 و F_2 نیروهای کششی ایجاد شده در دو سوی تسمه بر روی پولی در هنگام انتقال توان (N)، d قطر پولی محرک (m)، T ، حداکثر گشتاور انتقالی (N.m)، P توان (watt)، ω سرعت زاویه‌ای (rad s^{-1}). مقدار کشش مجاز در تسمه‌های چرمی باید به اندازه‌ای اختیار شود که از تنش حداکثر کمتر باشد. این تنش در تسمه چرمی معادل ۱/۷۵ مگاپاسکال است. همچنین براساس جدول‌های استاندارد ۵، سطح مقطع تسمه A برابر ۱۰۴ میلی‌متر مربع است (دیباپی‌نیا، ۱۳۷۸). بنابراین براساس رابطه ۸ داریم.

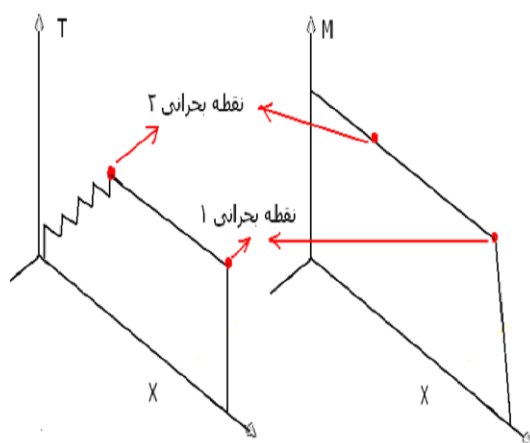
$$\frac{F_0}{A} = 1.75 \quad A = 8 \times 13 = 104 \text{ mm}^2 \quad (8)$$

$$\Rightarrow F_0 = 1.75 \times 104 = 182N$$

بنابراین کشش اولیه تسمه را ۱۵۰ نیوتن اختیار می‌کنیم. البته از آنجایی که با افزایش کشش اولیه تسمه، قابلیت انتقال نیرو افزایش می‌یابد، اگر در هنگام کار، ماشین به



شکل ۵- شماتیک شافت و نیرو، گشتاور و ممان های اعمال شده به آن، نقاط بحرانی ۱ و ۲



شکل ۶- ممان خمشی و گشتاور پیچشی شافت و نمایش نقاط بحرانی آن

ارزیابی کیفیت و ظرفیت عملکرد ماشین

برای هماهنگی بیشتر فرض‌های طراحی با عمل، آزمون‌هایی ترتیب داده شد تا مقادیر مناسبی برای دور برس‌های سیمی و فاصله آن‌ها با استوانه شیاردار به شکلی مشخص شود که درصد آسیب‌دیدگی و گردوهای پوست‌کننده نشده، حداقل و درصد مورد قبولی از گردوها سالم پوست‌کننده شوند. بدین منظور از شش ترکیب سرعت و فاصله استفاده شد و هر آزمون نیز در سه تکرار انجام شد. و درصد گردوهای پوست‌کننده شده کامل و پوست‌کننده نشده و آسیب دیده شامل گردوهای ترک خورده و شکسته شده کامل، مشخص شد. چون شدت عمل در هر آزمون متفاوت است از زمان‌های متفاوتی در هر آزمون استفاده شده است. جدول ۲، ترکیب‌های دور و فاصله به کار رفته در آزمون‌ها را نشان می‌دهد. برای بررسی کیفیت عملکرد و مشخص

شافت نیز است، نیروهای F_1, F_2 تسمه که در بحث طراحی پولی‌ها تعیین شد سبب ایجاد ممان خمشی می‌شود که در سمت راست تکیه‌گاه و در محل تکیه‌گاه دارای مقدار بیشینه خود است. دو نیروی ذکر شده در بالا در فاصله ۵ سانتی‌متری ابتدای شافت (محل قرارگیری پولی‌های متحرک) ضرب شده تا حداکثر ممان خمشی به دست آید. نیروی تکیه‌گاهی ایجاد شده در این قسمت سبب می‌شود که در سمت چپ تکیه‌گاه ممان خمشی ثابت بماند. بنابراین نقطه بحرانی شماره ۲ در مقایسه با نقطه بحرانی شماره ۱ دارای شرایط اعمال بار برابر از نظر ممان خمشی و نیز گشتاور است ولی دارای تغییر ضخامت آنی و تمرکز تنش ناشی از آن و نیز قطر کمتر شافت در آن نقطه است، پس وضعیت نقطه ۲ بررسی شد. در شکل ۶، ممان خمشی و گشتاور پیچشی شافت و نقاط بحرانی آن نشان داده شده است. با استفاده از روش آیین‌نامه ASME براساس رابطه ۱۲ و ۱۳ به دست آمد (موتابی، ۱۳۸۰):

$$d = \left\{ \left(\frac{32n}{\pi\sigma_{yp}} \right) \left[(C_m M)^2 + (C_t T)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3} \quad (12)$$

$$T = 10 N.m \quad C_m = 2 \therefore C_t = 1.5$$

$$M = (F_1 + F_2) \times (L_1) = (2F_0) \times (L_1) \quad (13)$$

$$M = 364 \times 0.05 = 18.2 N.m$$

که d قطر شافت، n ضریب اطمینان، σ_{yp} تنش تسلیم (N/m^2) ، M ممان خمشی انتقالی با شافت $(N.m)$ ، T گشتاور انتقالی با شافت $(N.m)$ ، C_m ضریب عددی ضربه‌ای خستگی، C_t ضریب عددی ضربه‌ای-خستگی. ضریب‌های C_m ، C_t با فرض اعمال ناگهانی بار به صورت ضربه‌های کوچک، از جدول استاندارد (موتابی، ۲۰۰۱)، به ترتیب ۱/۵ و ۲ به دست آمدند. بنابراین با اعمال ضریب اطمینان ۵، مقدار قطر شافت معادل ۱۸/۲ میلی‌متر محاسبه شد. که ۲۰ میلی‌متر برای ساخت آن انتخاب شد. استوانه شیاردار به عنوان محفظه‌ای عمل می‌کند که در آن عمل سایش و سپس پوست‌کنی گردوها اتفاق می‌افتد و از سه قسمت پایه (برای اتصال به شاسی با پیچ)، بدنه اصلی و دریچه خروجی تشکیل شده است.

شدن ظرفیت ماشین آزمایش‌های زیر روی آن انجام شد: (کیلوگرم به ازای ساعت) و تعیین توان مورد نیاز ماشین. ارزیابی کیفیت عملکرد، تعیین ظرفیت پوست‌کنی ماشین

جدول ۲- دور و فاصله به‌کار رفته در آزمون‌های ارزیابی کیفیت پوست‌کنی ماشین

آزمایش	دور (rpm)	فاصله (cm)	زمان (s)	تکرار
۱	۴۷۳	۱۶	۳۰	۳
۲	۳۶۸	۱۶	۶۰	۳
۳	۲۶۳	۱۶	۱۲۰	۳
۴	۴۷۳	۱۶	۳۰	۳
۵	۳۶۸	۱۶	۶۰	۳
۶	۲۶۳	۱۶	۱۲۰	۳

نتایج و بحث

نتایج بررسی خواص مکانیکی پوست سبز گردو

نتایج نهایی مقدار انرژی (میلی‌ژول)، در فرایند آزمون‌های برش کرامر، نفوذسنجی و لهیدگی، بر حسب میلی‌ژول در جدول ۴، ارائه شده است با توجه به نتایج به دست آمده نوع Serr برای طراحی دستگاه انتخاب شد چون انرژی برش کرامر این رقم از ارقام ذکر شده دیگر بیشتر بود.

جدول ۳ متوسط نتایج به دست آمده از نیروی حد تناسب (نیوتن) در تمام آزمون‌های برش کرامر، نفوذسنجی و لهیدگی را نشان می‌دهد.

جدول ۳- نتایج محاسبه انرژی لازم در فرایندهای برش کرامر، نفوذسنجی و لهیدگی

رقم گردو	آزمون نفوذسنجی (N)	آزمون لهیدگی (N)	آزمون برش کرامر (N)
Z67	۳۵	۲۰۳	۷۵۶
Serr	۵۰/۹	۳۲۰	۸۲۵
K72	۵۵/۴	۴۰۰	۷۵۵
Pedro	۶۳/۷	۳۹۹	۶۳۸

جدول ۴- انرژی مصرفی (میلی‌ژول)، در آزمون‌های برش، نفوذسنجی و لهیدگی

آزمون لهیدگی	آزمون برش کرامر	آزمون نفوذپذیری	رقم
۸۰۹/۲۹۹۲	۲۰۴/۷۸۳	۲۸/۳۱۶۶۷۳	k72
۲۱۱/۸۸۱۳	۲۰۴۳/۸۱۳	۲۴/۷۳۴۸۵	Z67
۴۱۶/۸۹۳۹	۱۵۲۱/۷۸	۲۹/۸۵۶۰۶	Pedro
۲۴۳/۲۳۲۳	۲۰۴۹/۷۴۷	۲۸/۶۴۵۴۵	Serr

نتایج ارزیابی کیفیت و ظرفیت عملکرد ماشین

کیلوگرم گردو مدت ۱۵ ثانیه طول کشید و ظرفیت کاری ماشین بین ۱۲۰ تا ۲۴۰ کیلوگرم بر ساعت حاصل شد.

با توجه به نمودارها و نتایج به دست آمده در جدول ۵، برای دور ۳۶۸ دور بر دقیقه برس‌های سیمی و فاصله ۱۲ میلی‌متری استوانه شیاردار با برس‌های ساینده در مدت زمان بهینه ۶۰ ثانیه و با تعداد گردوی بین ۲۵ تا ۵۰ عدد (۳ تا ۵ کیلوگرم) در هر بار پوست‌کنی راندمان ۹۳ درصد به دست آمد. زمان پر و خالی کردن ماشین به وزن ۳

جدول ۵- نتایج ارزیابی کیفیت کار ماشین Serr (به طور خلاصه)

درصد پوست کنده (%)	درصد آسیب دید (%)	درصد پوست کنده سالم (%)	تعداد تکرار (n)	زمان (s)	فاصله ساییده از استوانه شیاردار (mm)	سرعت دورانی (rpm)
.	۲۹.۳	۸۹.۳	۳	۳۰	۱۲	۴۷۳
.	۱۹	۸۱	۳	۳۰	۱۶	۴۷۳
.	۷	۹۳	۳	۶۰	۱۲	۳۶۸
.	۸	۹۲	۳	۶۰	۱۶	۳۶۸
۵.۳	۵.۳	۸۹.۳	۳	۱۲۰	۱۲	۲۶۳
۱.۳	۵.۳	۹۳.۳	۳	۱۲۰	۱۶	۲۶۳

نتیجه گیری

ماشین ۲- قابلیت حمل و نقل آسان دستگاه ۳- سهولت کار با دستگاه ۴- کیفیت بالا در عمل پوست ژئوتیپ های مختلف گردوی ایرانی ۵- داشتن راندمان بالا ۶- پایین بودن قیمت تمام شده دستگاه نسبت به دستگاه های مشابه ۷- کاهش عملیات فراوری محصول گردو پس از برداشت.

نتایج حاصل از این پژوهش که از طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه پوست کن گردو، پس از بررسی و بهینه کردن زمان چرخش، تعداد دور در دقیقه شافت و فاصله پرس های سیمی از استوانه شیاردار به دست آمد، به صورت زیر است: ۱- در دسترسی بودن قطعات یدکی و ساده بودن اجزای

منابع

۱. احمدی ح. ۱۳۷۵. طراحی و ساخت ماشین جمع آوری گردو، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی مکانیک ماشین های کشاورزی. ۸۷ ص.
۲. بی نام. ۱۳۷۷. خشکبار، آمار و مرایا، اداره کل آمار و اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه ریزی و بودجه ۵۳-۱۰۰. ۱۷۵ ص.
۳. تاج الدین ب. ۱۳۸۴ بسته بندی گردو گامی مؤثر در جهت بهبود صادرات، مجموعه مقالات اولین همایش ملی خشکبار کشور. ۱۲۵ ص.
۴. رضایی غ. ر. ۱۳۸۴ تأثیر زمان برداشت و سرعت خشک کردن بر جلوگیری از سیاه شدن مغز گردو، مجموعه مقالات اولین همایش ملی خشکبار کشور. ۱۲۵ ص.
۵. دیبایی نیا ب. ۱۳۷۸ طراحی اجزاء در مهندسی مکانیک، ترجمه، انتشارات مرکز نشر دانشگاهی. ۴۹۸ ص.
۶. شادروان ا. ۱۳۷۷. طراحی اجزاء ماشین، ترجمه انتشارات علم و صنعت. ۴۸۵ ص.
۷. موتابی ه. ۱۳۸۰. طراحی اجزاء ماشین، ترجمه، انتشارات آشینا تبریز. ۵۲۲ ص.
۸. وحدتی ک. ۱۳۸۲. احداث خزانه و پیوند گردو، انتشارات خانیان. ۱۱۳ ص.
9. Cacho M. 1978. Nut huller or Sheller, United States patent. 868-320.
10. Gupta C. Singh G. and Gore K. 1988. Design and operation of paddle operated peanut. Conference on Agricultural Engineering, Australia, National Conference Publication. 25-30.
11. McFarland J. and Saunders E. 1977. Pistachio huller. United States patent. 587-918
12. Motabi H. 2001. Machine element design. Ashina Press.
13. Trujillo G. 2003. Nut Hulling tub Agitating fingers. united states patent. 10: 424-241.
14. Volk J. and Volk B. 1981. Method of hulling pistachio nut. United States patent. 275-263.