

طراحی، ساخت و ارزیابی ماشین پوست کن پسته

چکیده

پسته یکی از مهمترین محصولات باغبانی کشور و دومین محصول صادراتی غیرنفتی بعد از فرش می باشد. در ایران، پسته بوسیله ماشین پوست کنی از نوع "پیچی" پوست گیری می شود و عملیات شستشو و نم گیری توسط فرآیندهای دیگری انجام می گیرد. این پوست کن ها که بدون در نظر گرفتن خواص مکانیکی پسته ساخته شده اند درصد قابل توجهی از پسته را می شکنند. بنابراین، وجود دستگاهی با کارایی بالا که بتواند عملیات پوست گیری، شستشو و نم گیری را توانان انجام دهد لازم به نظر می رسد. در این راستا، یک ماشین پوست کن پسته که سه عمل پوست گیری، شستشو، نم گیری را بطور هم زمان انجام دهد، طراحی و ساخته شده است. طراحی بر اساس خواص فیزیکی و مکانیکی پسته صورت گرفته و کلیه محاسبات مربوط به مقاومت مصالح قطعات انجام شده است. به منظور پوست گیری پسته، در این ماشین از "نیروی گریز از مرکز" استفاده شده است. ماشین مورد نظر از دو قسمت اصلی شامل مجموعه پوست گیری و سیستم انتقال توان تشکیل می شود. مجموعه پوست گیری از یک استوانه دوار با قاعده مجزا تشکیل شده است که حرکت دورانی هر یک، مستقل از هم، توسط الکترو موتور انجام می شود. سیستم انتقال توان در این ماشین، از نوع مکانیکی بوده و توسط تسمه و پولی انجام می شود، که توان مورد نیاز ۳hp را از الکترو موتورها به محورهای کف و دیواره مخزن منتقل می کند. بعد از ساخت ماشین، عملکرد آن مورد ارزیابی قرار گرفت. از بین پارامترهای مؤثر بر عملکرد ماشین، فقط سرعت خطی صفحه دوار کف و درصد رطوبت به عنوان متغیرهای آزمون انتخاب شدند. آزمون و ارزیابی ماشین در قالب طرح فاکتوریل بر پایه کرت‌های کاملاً تصادفی با پارامترهای سرعت خطی صفحه دوار در چهار سطح ۴، ۵، ۶ و ۷ متر بر ثانیه و درصد رطوبت در چهار سطح ۴، ۱۰، ۱۵، ۲۸، ۵۰ و ۳۶، ۱۰ در چهار تکرار انجام شد. راندمان پوست گیری ماشین و درصد شکستگی پسته در زمان انجام آزمون مورد بررسی و اندازه گیری قرار گرفتند و در نهایت تیمار سرعت خطی ۷ متر بر ثانیه و محتوای رطوبتی ۴، ۱۰ درصد با درصد شکستگی ۸، ۷ درصد و راندمان پوست گیری ۹۶، ۵ درصد که بیشترین راندمان پوست گیری در بین تیمارهای مورد بررسی را دارا می باشد به عنوان بهترین تیمار معرفی گردید.

واژگان کلیدی: پسته، خواص مکانیکی، ماشین پوست کن، نیروی گریز از مرکز.

:

عضو هیات علمی گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد bayat@um.ac.ir

عضو هیات علمی گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد shakeri_mohsen@yahoo.com

عضو هیات علمی گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد mkhpoor@yahoo.com

دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد ra_kh544@stu-mail.um.ac.ir

مقدمه

پسته از حدود ۷۰ سال پیش با شروع صادرات، ارزش تجاری و اقتصادی ویژه ای پیدا کرد و ایران به عنوان اولین و مهمترین صادر کننده پسته در دنیا، شهرت یافت. از آن زمان سطح زیر کشت این محصول مرتب در حال افزایش است. گسترش این محصول در خیلی از مناطق به دلیل محدودیت شرایط آب و هوایی عملی نبوده، بنابراین برای حفظ موقعیت جهانی، باید میزان عملکرد محصول را افزایش داد [۲]. پسته از محصولاتی است که پس از برداشت نمی توان آنرا مستقیماً وارد بازار نمود بلکه بایستی مراحل را طی کند تا آماده ارائه به بازار گردد. از این مراحل به عنوان مراحل ضبط و نگهداری یاد می کنند که در واقع پروسه هائی است برای بازار پسند شدن آن، از جمله این پروسه ها پوست گیری، آشنغال گیری، گوگیری، شستشو، رطوبت گیری، پوک گیری، گوگیری نهایی و سرانجام خشک کردن را می توان نام برد [۳].

در پروسه فرآوری پسته، پوست گیری مهمترین فرآیند پس از برداشت می باشد. در ایران، عمل پوست گیری پسته با توجه به میزان نرمی و سختی پوست آن، متفاوت است. پسته هائی که دارای پوست نرم می باشند توسط دستگاه های "نوع پیچی" پسته هائی که پوست سخت دارند توسط "کرک پوست کن ها" پوست گیری می شوند. در پوست کن های پیچی، عمل پوست گیری پسته، با وارد شدن نیروهای برشی و فشاری به سطح آن انجام می شود. اساس کار این نوع پوست کن ها، بر اساس قرار گرفتن پسته در مسیر چرخش و دوران استوانه گردنده می باشد. این پوست کن ها، در کارگاههای محلی طراحی و ساخته شده و بسیاری از پارامترهای آن به صورت تجربی و از طریق آزمون و خطا تعیین شده اند [۴].

رکابی و همکاران، طی یک پروژه که در سال ۱۳۸۱ در یکی از ترمینا لهای ضبط پسته در کرمان انجام دادند، کار آبی ۴ ماشین پوست کن پیچی با ظرفیت ۶ تن را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج ارزیابی این ماشین ها نشان داد که در بهترین شرایط کاری (فاصله ۵ میلیمتر بین استوانه و تیغه جلویی)، میزان پوست کنی و شکستگی ۷۳٫۸ و ۰٫۷ می باشد. همچنین میزان ۵٫۵ درصد از پسته ها بدون هیچ گونه عمل آوری باقیماندند [۵]. شمسی و همکاران طی یک پروژه که برای وزارت صنایع انجام شد، پوست کنی پسته بانیروی گریز از مرکز به روش مخروط وارونه را مورد بررسی قرار دادند و یک ماشین پوست کن پسته ر ساختند که عملکرد آن بررسی نشد [۶].

چند تن از محققان، یک پوست کن استوانه لاستیکی را برای محصولات آجیلی مورد بررسی قرار دادند. این پوست کن از شاسی، قیف تغذیه، تاپر لاستیکی به عنوان کوبنده و شبکه سیمی به عنوان ضد کوبنده ساخته شده است. با چرخش تاپر محصول از درون قیف وارد فاصله بین کوبنده و ضد کوبنده شده و بر اثر برش، پوست جدا می شود. نتایج ارزیابی نشان داد که باد لاستیک و فاصله اثر معنی داری بر بازده پوست کن داشته ولی میزان تغذیه اثر معنی داری نداشت [۱۱].

با این وجود، تا کنون بررسی آماری دقیق از میزان تلفات و ضایعات موجود در خطوط فرآوری پسته در کشور ما صورت نگرفت است. طبق نظر استفاده کنندگان مربوطه، کارکرد این خطوط متناسفانه توام با ضایعات فراوانی می باشد. از دستگاه هایی که کارکرد آن ها توام با ضایعات است، پوست کن های پیچی پسته می باشد. طبق نظر کارشناسان، این پوست کن ها که بدون د، نظر گرفتن خواص مکانیکی پسته ساخته شده اند، درصد قابل توجهی از پسته ها را می شکنند. جلوگیری از ضایعات و به تبع آن جلوگیری از ضررهای اقتصادی ناشی از ضایعات موجود در خطوط فرآوری پسته ضرورت صورت گرفتن چنین تحقیقی ر ایجاب کرد.

مواد و روشها

الف- تعیین خصوصیات فیزیکی و مکانیکی

به منظور انتخاب دستگاه مناسب برای پوست کنی پسته نیاز به تعیین برخی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی آن می باشد. لذ مقدار ۴۰ کیلو گرم پسته وارسته اوحدی از مزرعه ای در شهرستان رفسنجان تهیه و به آزمایشگاه منتقل شد. پس از حذف مواد زائد بصورت دستی، اندازه گیری خصوصیات ابعادی، جرم، چگالی توده، چگالی حقیقی و تخلخل انجام گردید. اندازه گیری خصوصیات مکانیکی شامل مقاومت کششی، مقاومت خمشی و پیچشی توسط دو لودسل ۱ نیوتن با دقت ± 0.2 انجام گردید مقادیر متوسط این پارامتر ها در جداول ۱ و ۲ آمده است.

جدول ۱- مقادیر متوسط خصوصیات فیزیکی پسته واریته اوحدی برای محتوای رطوبتی بین ۴,۱۰ تا ۳۶,۱۰

محتوای رطوبتی	طول	عرض	ضخامت	جرم	چگالی توده	چگالی حقیقی	تخلخل
۴,۱۰	۱۶,۰۲	۱۱,۳۰	۱۰,۸۰	۰,۹۲	۵۶۱,۸۷	۸۵۸,۷۹	۳۴,۳۲
۱۰,۵۰	۱۶,۶۵	۱۱,۹۰	۱۱,۴۰	۰,۹۸	۵۷۸,۲۶	۸۶۰,۶۴	۳۲,۴۸
۲۰,۱۰	۱۷,۱۲	۱۱,۹۸	۱۲,۰۲	۱,۰۲	۶۰۲,۸۴	۸۶۳,۴۳	۳۰,۴۸
۲۸,۵۰	۱۷,۲۰	۱۲,۴۰	۱۲,۲۰	۱,۲۵	۶۲۳,۳۳	۸۶۵,۸۶	۲۸,۴۶
۳۶,۱۰	۱۷,۲۸	۱۲,۶۰	۱۲,۳۶	۱,۳۲	۶۴۳,۷۹	۸۶۸,۰۷	۲۶,۳۷

جدول ۲- مقادیر متوسط خصوصیات مکانیکی پوسته پسته واریته اوحدی

مقاومت کششی	مقاومت خمشی	مقاومت پیچشی
۰,۴۴	۰,۳۵	۰,۳۱

ب- طراحی ماشین

به منظور پوست گیری پسته، در این ماشین از " نیروی گریز از مرکز " استفاده شده است. ماشین مورد نظر از دو قسمت اصلی شامل مجموعه پوست گیری و سیستم انتقال توان تشکیل می شود. مجموعه پوست گیری از یک استوانه دوار با قاعده مجزا تشکیل شده است که حرکت دورانی هر یک، مستقل از هم، توسط الکترو موتور انجام می شود. سیستم انتقال توان در این ماشین، از نوع مکانیکی بوده و توسط تسمه و پولی انجام می شود، که توان مورد نیاز را از الکترو موتورها به محورهای کف و دیواره مخزن منتقل می کند. بطور کلی قسمت های اصلی ماشین عبارتند از:

۱- الکترو موتور

توان لازم برای پوست کنی پسته از اختلاف توان مورد نیاز برای چرخش محور الکتروموتور در توده ای پسته نسبت به حالت اولیه محاسبه شد. بدین صورت که ابتدا مقدار جریان الکتریکی الکتروموتور در حالت بدون بار و سپس با بار (در توده پسته) محاسبه و با توجه به ثابت بودن ولتاژ و با استفاده از رابطه (۱) توان در هر حالت محاسبه و در نهایت اختلاف توان این دو حالت مقدار ۲,۲۰۸ کیلو وات (حدود ۳ اسب بخار) بدست آمد [۷]:

$$P = VI \quad (1)$$

به منظور تعیین گشتاور انتقال یافته توسط الکترو موتور، ابتدا دور محور الکتروموتور توسط یک دور سنج نوری مقدار ۲۵۰ دور در دقیقه تعیین شد. (شکل ۱). سپس با استفاده از رابطه (۲) مقدار گشتاور ۸۴,۳۷ نیوتن متر بدست آمد [۸]:

$$P = T_a \omega \quad (2)$$

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad (3)$$



شکل (۱)- دورسنج نوری مورد استفاده در آزمایش

همچنین با توجه به سرعت ۲۰۰ دور بر دقیقه الکتروموتور دیواره مخزن و رابطه های (۲) و (۳)، مقدار گشتاور انتقال یافته برای دیواره، مقدار ۱۰۵،۴۴ نیوتن متر بدست آمد. به منظور بررسی نیروی پوست کنی ناشی از گشتاور انتقال یافته توسط الکتروموتور و مقایسه با خواص مکانیکی پسته، ابتدا نیروی موجود روی صفحه کف مخزن با جایگذاری شعاع صفحه و گشتاور روی آن از رابطه (۴) محاسبه شد:

$$F = \frac{T}{R} = 84,3/0,25 = 337,2 \quad (4)$$

حال با توجه به تخلخل، قطر متوسط هندسی وارپته مورد مطالعه و مساحت کف مخزن مقدار پسته قرار گرفته در کف مخزن بدست آمده و با تقسیم مقدار نیروی بدست آمده بر تعداد پسته قرار گرفته در کف مخزن، نیروی لازم برای پوست کنی یک پسته مقدار ۰،۵۶ نیوتن بدست آمد. با مقایسه خواص مکانیکی بدست آمده برای پسته (جدول ۲) مشاهده می شود که این نیرو از مقاومت پوسته پسته بیشتر بوده و مناسب برای پوست کنی می باشد.

۲- محوره‌های دوار کف و دیواره مخزن

کف مخزن و دیواره آن به صورت مجزا از یکدیگر تشکیل شده و هرکدام جداگانه بر روی محوری تو خالی قرار گرفته اند. در حین پوست کنی، هر دو لوله تحت تاثیر تنش پیچشی قرار می گیرند. بنابراین، طراحی این لوله ها بر اساس استحکام آنها در برابر تنش های برشی ناشی از پیچش انجام شد. تنش برشی ناشی از گشتاور پیچشی مؤثر بر لوله از رابطه (۵) بدست می آید [۸]:

$$Z_p = \frac{T}{\tau_d} \quad (5)$$

در این رابطه، τ_d تنش برشی ناشی از گشتاور پیچشی (MPa)، T گشتاور پیچشی مؤثر بر لوله و Z_p مدول مقطع قطبی لوله (m^3) است. برای محاسبه Z_p در رابطه (۴)، ابتدا می بایست مقادیر گشتاور پیچشی مؤثر بر لوله و تنش برشی مجاز جنس لوله را محاسبه کرد. گشتاور پیچشی وارد بر لوله کف مخزن با جایگذاری گشتاور انتقال یافته توسط الکتروموتور (۸۴،۳) و نسبت پولی لوله و الکتروموتور در رابطه (۶) بدست می آید:

$$T = T_a * \frac{d}{d_a} \quad (6)$$

گشتاور پیچشی وارد بر لوله دیواره مخزن نیز به طریق مشابه محاسبه شد. لازم به ذکر است با توجه به سرعت ۲۰۰ دور بر دقیقه الکتروموتور آن، گشتاور انتقال یافته توسط الکتروموتور مقدار ۱۰۵،۴۴ نیوتن متر بدست آمد. تنش برشی مجاز جنس لوله (تنش طراحی) از رابطه (۷) قابل محاسبه است [۸]:

$$\tau_d = 0.577 \frac{S_y}{N} \quad (7)$$

در این رابطه، S_y تنش حد تسلیم قطعه و N ضریب اطمینان است. مقدار این ضریب از ۲ تا ۴ تغییر می کند. در اینجا مقدار ضریب اطمینان برابر با ۴ انتخاب شده است. به دلیل وجود آب در سیستم (در مرحله شستشو) هر دو لوله از جنس فولاد ضد زنگ انتخاب شدند. با توجه به تنش حد تسلیم این نوع فولاد (جدول ۳)، ضریب اطمینان و رابطه (۸) مقدار تنش برشی مجاز برای هر دو لوله برابر است با:

$$\tau_d = 0,577 * 206 / 4 = 29,72 \text{ N/mm}^2$$

از رابطه (۵) مدول مقطع قطبی لوله کف مخزن به شرح زیر تعیین می شود:

$$Z_p = 84370 / 29,72 = 2838,82 \text{ mm}^3$$

جدول ۳- مشخصات فولاد ضد زنگ

استحکام تسلیم	چگالی توده	مدول برشی	نسبت پواسون	مدول الاستیسیته
۲۰۶MPa	۸۰۰۰Kg/m ³	۷۹GPa	۰/۲۷	۲۰۰GPa

مدول مقطع قطبی مجاز با در نظر گرفتن ضریب تمرکز تنش (۱,۴ برای محور تحت پیچش) ۳۹۷۴,۳۵ بدست می آید. با مراجعه به جدول مشخصات لوله های فولادی [۹]، لوله ای که دارای قطر خارجی ۶۰ میلیمتر و ضخامت ۵ میلیمتر می باشد، مدول مقطع قطبی بزرگتری از مقدار مجاز دارد و چنانچه این مقدار مدول مقطع در رابطه (۵) قرار گیرد، مقدار تنش برشی کمتر از حالت مجاز (تنش طراحی) را بدست می دهد. به روش مشابه، مدول مقطع قطبی مجاز برای لوله دیواره مخزن، مقدار ۳۵۴۷,۸۰ بدست آمد. با مراجعه به جدول مشخصات لوله های فولادی، لوله ای با قطر خارجی ۹۰ میلیمتر و ضخامت ۵ میلیمتر انتخاب شد. طول لوله ها نیز با توجه به رابطه (۸) و این نکته که دو لوله می بایست دارای زاویه پیچش یکسان باشند صورت گرفت [۸]:

$$\phi = \frac{TL}{GJ} \quad (8)$$

در نتیجه طول لوله کف مخزن ۶۰۰ میلیمتر و طول لوله دیواره مخزن ۴۰۰ میلیمتر بدست آمد.
۳- مخزن

مخزن ماشین یکی دیگر از قطعات مهم واحد پوست گیری می باشد که حجم آن بر اساس چگالی توده در رطوبت ۳۶,۱۰ و ظرفیت ۱ تن پسته، مقدار ۱,۵۵ متر مکعب بدست آمد. طراحی مخزن نیز با توجه به گشتاور ۱۰۵,۴۴ نیوتن متر و روابط (۵) تا (۷) انجام گرفت. بدلیل وجود آب در مخزن در مرحله شستشو، مخزن از فولاد ضد زنگ انتخاب شد. در نتیجه مخزنی با طول ۱۲۵۰ میلیمتر، ضخامت ۴ میلیمتر و قطر خارجی ۵۰۰ میلیمتر از فولاد ضد زنگ ساخته شد. به منظور کمک در پوست گیری بهتر، صفحه دوار کف و دیواره آن بوسیله سطوحی دندانه دار روکش شد. طراحی صفحه دوار کف با توجه به گشتاور لازم برای پوست کنی، روابط (۵) تا (۷)، تلورانس لازم بین صفحه و دیواره برای هدایت مواد زائد و آب به سمت دریچه خروجی (۳ میلیمتر) و تمرکز تنش موجود در محل اتصال لوله دوار به صفحه (ضریب تمرکز تنش ۱,۴ در نظر گرفته شد) انجام گرفت. در نتیجه یک صفحه از جنس فولاد ضد زنگ به ضخامت ۵۰ میلیمتر و قطر ۴۸۴ میلیمتر ساخته شد. مخزن با چرخش خود در مقابل صفحه زیر دوار کف، نیروی لازم برای برش و جداسازی پوست از پسته را تامین می کند. ورود آب به درون ماشین در مرحله شستشو و توسط نازل صورت می گیرد. همچنین جهت خروج آب و ضایعات پوست، سوراخی به قطر ۱۰۰ میلیمتر در کف مخزن تعبیه شد. به منظور خروج پسته های پوست شده در مرحله تخلیه، یک دریچه لولایی به طول ۴۰۰ میلیمتر و عرض ۳۰۰ میلیمتر بر روی دیواره جانبی مخزن در نظر گرفته شد.

۴- بلبرینگ ها

به منظور انتقال بار محوری، از دو عدد یاتاقان کف گرد در محل های زیر استفاده شد:

- ۱- در محل تکیه گاه لوله صفحه دوار کف مخزن بر روی شاسی L شکل. برای انتقال بار محوری ناشی از وزن صفحه دوار کف و وزن پسته های موجود در مخزن. با توجه به وزن صفحه (حدوداً ۳۵ کیلوگرم) و ظرفیت پوست کنی ۱ تن پسته از یاتاقان کف گرد که تا ۲ تن بار محوری را تحمل می کند استفاده گردید.
- ۲- در محل تکیه گاه لوله دیواره مخزن بر روی مخزن استوانه ای برای انتقال بار محوری ناشی از وزن مخزن، پسته های داخل مخزن، آب موجود در ماشین، درب مخزن و نازل. در اینجا نیز از یک یاتاقان کف گرد با ظرفیت تحمل بار محوری تا ۲ تن استفاده شد.

همچنین جهت سهولت در چرخش لوله ها از دو بلبرینگ در محل های زیر استفاده گردید:

- ۱- در محل تکیه گاه لوله دیواره مخزن به منظور تحمل بار شعاعی ناشی از چرخش لوله.
 - ۲- در محل تکیه گاه لوله صفحه دوار کف مخزن به منظور تحمل بار شعاعی ناشی از چرخش صفحه در توده پسته.
- ۵- شاسی دستگاه

بر حسب نیاز و به منظور قرار گرفتن الکتروموتورها، مخزن، لوله ها و بلبرینگ ها از یک شاسی L شکل و یک شاسی استوانه ای دو تکه استفاده شد. شاسی L خود از دو قسمت عمودی و افقی تشکیل شده است. قسمت عمودی این شاسی که الکتروموتورها بر روی آن سوار می شوند از یک تیر آهن ۱۸ تشکیل شده و قسمت کف که شاسی استوانه ای و تیر آهن بر روی آن قرار گرفته از پروفیل صنعتی به ابعاد ۱۰۰*۱۰۰ ساخته شد. به منظور قرار گیری لوله ها و بلبرینگ ها بر روی شاسی استوانه ای، این شاسی به صورت دو تکه از فولاد نرم ساخته شد.

۶- نازل:

همزمان با شروع مرحله شستشو، آب پاشی به درون مخزن صورت گرفته تا همزمان شستشوی ضایعات و عصاره حاصل از سایش پوست از روی پسته ها، درزها و دیواره و صفحه دوار کف انجام گیرد. بدین منظور از نازل موجود در پوست کن های سیب زمینی با مشخصات زیر استفاده گردید (جدول ۴):

جدول ۴- مشخصات نازل استفاده شده در ماشین

الگوی پاشش	زاویه ی پاشش	میزان پاشش
مخروطی توپر	۱۲۰ درجه	۸,۳۹ لیتر در دقیقه

۷- تسمه و پولی

همانطور که گفته شد انتقال قدرت در ماشین بصورت مکانیکی و توسط دو جفت پولی دوپل و دو تسمه V شکل انجام می گیرد. انتخاب پولی دو تسمه به منظور انتقال توان زیاد و جلوگیری از ناپایداری حاصله از ضربه در سرعت های بالا می باشد. ابتدا با توجه به توان دستگاه و توان لازم برای پوست کنی از پولی هایی از جنس چدن به نسبت ۱:۶ بدین صورت استفاده شد که پولی سر الکتروموتورها به قطر ۶۰ میلیمتر و پولی سر لوله ها قطر ۳۶۰ میلیمتر را دارند. سپس محاسبه نوع و طول تسمه ها با جایگذاری فاصله بین مرکز به مرکز پولی ها بر روی شاسی (۱۰۰۰ میلیمتر) و قطر پولی ها و مشخصات نشیمنگاه پولی ها در روابط ذیل و استفاده از جداول استاندارد تسمه ها صورت گرفت:

بدین منظور ابتدا مقدار ضریب H را از معادله (۹) بدست آورده و با جایگذاری در معادله ۱۰، طول لازم برای تسمه محاسبه گردید [۱۰]:

$$C = \frac{1}{4} \left[H + \sqrt{H^2 - 8(R_2 - R_1)^2} \right] \quad (9)$$

$$H = L - \pi(R_2 + R_1) \quad (10)$$

محاسبه زاویه آغوش (زاویه کمائی که تسمه در طی آن با چرخ تسمه تماس دارد) با توجه به فرمول زیر محاسبه شد [۴]:

$$\cos \psi = \frac{R_2 - R_1}{C} \quad (11)$$

لذا طول تسمه ۱۰۹,۷۹ اینچ و زاویه آغوش مقدار ۸۱,۳۷ بدست آمد. نهایتاً با توجه به این اعداد و جدول استاندارد تسمه ها، تسمه ای V شکل نوع C با طول ۱۱۰ اینچ انتخاب شد.

روش کار

ابتدا پسته با پوست سبز از قسمت فوقانی مخزن وارد ماشین شده و سپس کف مخزن و دیواره در خلاف جهت یکدیگر به حرکت در می آیند. کف مخزن بوسیله سطحی زبر، به صورت مخروطی شکل در نظر گرفته می شود. که این کار باعث شده یک نیروی سایشی در هر لحظه که پسته با کف مخزن برخورد می کند به پسته وارد شود. با چرخش دیواره مخزن در خلاف جهت کف مخزن یک نیروی جانبی به پسته وارد می شود. بعد از چرخش به مدت معین، حرکت دیواره مخزن را متوقف کرده و در حالی که کف مخزن دوران می کند، آب با فشار توسط نازل برای شستشوی لعاب از پسته وارد مخزن می شود. پس از انجام شستشو، دیواره هم جهت با کف مخزن چرخانده می شود تا نم گیری انجام گیرد. در مرحله آخر، دیواره از حرکت نگه داشته شده و با چرخش کف مخزن و باز کردن دریچه مخزن کناری عمل تخلیه پسته پوست شده انجام می شود.

ج- آزمون و ارزیابی

بعد از ساخت ماشین، عملکرد آن مورد ارزیابی قرار گرفت. هدف از انجام آزمایش، بررسی عوامل مؤثر در پوست کنی و تعیین پارامترهای بهینه عملکرد ماشین بوده است. پارامترهای اصلی مؤثر در عملکرد ماشین عبارتند از: سرعت خطی صفحه دوار کف، سرعت خطی مخزن، درصد رطوبت و میزان تغذیه. از بین این پارامترها فقط سرعت خطی صفحه دوار کف و درصد رطوبت به عنوان متغیرهای آزمون انتخاب شدند. آزمون و ارزیابی ماشین در قالب طرح فاکتوریل بر پایه کترهای کاملاً تصادفی با پارامترهای سرعت خطی صفحه دوار در چهار سطح ۴، ۵، ۶ و ۷ متر بر ثانیه و درصد رطوبت در چهار سطح ۴,۱۰، ۱۰,۵، ۲۸,۵۰ و ۳۶,۱۰ در چهار تکرار انجام شد. راندمان پوست گیری ماشین و درصد شکستگی پسته در زمان انجام آزمون مورد

بررسی و اندازه گیری قرار گرفتند. برای محاسبه راندمان پوست گیری و درصد شکستگی پسته در ماشین از روابط ذیل استفاده شد [۱۲]:

$$E_h = \frac{(N_1 + N_2) * 100}{N_f} \quad (۱۲)$$

$$E_c = \frac{(N_2 + N_3) * 100}{N_f} \quad (۱۳)$$

بطوریکه N_1 وزن دانه کاملاً پوست گیری شده و سالم، N_2 وزن دانه کاملاً پوست گیری شده و شکسته، N_f وزن کل دانه و N_3 وزن دانه نیم پوست گیری شده و شکسته می باشد. برای تغییر دور صفحه دوار کف در زمان ارزیابی از یک دستگاه اینورتور با دقت ۰.۰۱ دور بر ثانیه استفاده شد. آنالیز واریانس داده ها و مقایسه میانگین آنها توسط نرم افزار SPSS16 انجام گردید.

نتیجه گیری و بحث

نتایج آنالیز واریانس داده ها (جدول ۵) نشان می دهد که سرعت خطی صفحه دوار کف و درصد رطوبت با احتمال ۹۹٪ بر راندمان پوست گیری تاثیر معنی داری دارند. ضمناً اثر متقابل این پارامترها در سطح ۱٪ معنی دار بود. همچنین بر طبق نتایج آنالیز واریانس داده های درصد شکستگی (جدول ۶)، مشاهده شد که اثرات هر دو تیمار سرعت خطی صفحه دوار کف و درصد رطوبت در سطح ۱٪ معنی دار بوده، در حالیکه اثر متقابل این پارامترها معنی دار نبود.

جدول ۵- نتایج آنالیز واریانس (میانگین مربعات) داده های راندمان پوست گیری

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F محاسبه شده
تیمار	۱۵	۴۳۴,۹۴	۸۹,۸۶**
سرعت خطی صفحه کف	۳	۲۰۰,۹۸	۴۱۵,۲۵**
درصد رطوبت	۳	۱۱۹,۸۴	۲۴,۷۶**
سرعت خطی صفحه کف × درصد رطوبت	۹	۱۵,۰۲	۳,۱۰**
خطای آزمایش	۴۸	۴,۸۴	—

** معنی دار در سطح ۱٪

جدول ۶- نتایج آنالیز واریانس (میانگین مربعات) داده های درصد شکستگی

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F محاسبه شده
تیمار	۱۵	۲,۸۹	۲۰,۶۹**
سرعت خطی صفحه کف	۳	۱۰,۳۳	۷۳,۷۸**
درصد رطوبت	۳	۳,۹۴	۲۸,۱۴**
سرعت خطی صفحه کف × درصد رطوبت	۹	۰,۰۷	۰,۵ ^{ns}
خطای آزمایش	۴۸	۰,۱۴	—

** معنی دار در سطح ۱٪.

ns عدم وجود اختلاف معنی دار

نتایج مقایسه میانگین ها در سطح ۵٪ از آزمون چند دامنه ای دانکن در جداول ۷ تا ۱۳ آمده است. از نتایج مقایسه میانگین راندمان پوست گیری در سطوح مختلف سرعت خطی صفحه کف (جدول ۷) مشاهده می شود که بین هر چهار سطح با یکدیگر اختلاف معنی داری در سطح ۵٪ وجود داشته و بیشترین راندمان پوست گیری مربوط به سرعت خطی ۷ متر بر ثانیه و به میزان ۹۲,۴۶ درصد می باشد.

جدول ۷- نتایج مقایسه میانگین راندمان پوست گیری در سطوح مختلف سرعت خطی صفحه کف با آزمون دانکن در سطح ۵٪

سرعت (متر بر ثانیه)	میانگین
۴	۶۶,۱۵d

۷۶,۶۴c	۵
۸۴,۴۶b	۶
۹۲,۴۶a	۷

در مقایسه میانگین سطوح محتوای رطوبت بر راندمان پوست کنی، بین سطح ۱۰,۵ با ۲۸,۵ و ۲۸,۵ با ۳۶,۱۰ اختلاف معنی داری مشاهده نشد. همچنین مشاهده شد که با کاهش رطوبت، راندمان پوست کنی افزایش یافت (جدول ۸). این افزایش راندمان به دلیل کاهش انعطاف پذیری پوست می باشد.

جدول ۸- نتایج مقایسه میانگین راندمان پوست گیری در سطوح مختلف محتوای رطوبتی با آزمون دانکن در سطح ۵٪

میانگین	محتوای رطوبتی (درصد)
۸۳,۸۸a	۴,۱۰
۷۹,۹۷b	۱۰,۵۰
۷۸,۴۱bc	۲۸,۵۰
۷۷,۴۴c	۳۶,۱۰

جدول شماره ۹ نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف سرعت خطی صفحه کف و محتوای رطوبتی بر راندمان پوست گیری را نشان می دهد. با دقت در نتایج این جدول و جدول شماره ۷ مشاهده می شود که با افزایش سرعت خطی صفحه کف، راندمان پوست گیری افزایش یافته است. دلیل این افزایش راندمان، افزایش نیروی برشی حاصله در سرعت های بالاتر می باشد. همچنین نتایج این جدول و جدول شماره ۸ افزایش راندمان پوست گیری را با کاهش رطوبت نشان می دهد. نتایج مقایسه میانگین های جدول شماره ۹ حاکی از آن است که بهترین راندمان پوست گیری در ترکیب سرعت خطی ۷ متر بر ثانیه و رطوبت ۴,۱۰ به میزان ۹۶,۵ درصد می باشد. این ترکیب با سایر تیمارها در سطح ۵٪ اختلاف معنی داری دارد.

جدول ۹- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف سرعت خطی صفحه کف و محتوای رطوبتی بر راندمان پوست گیری با آزمون دانکن در سطح ۵٪

سرعت خطی صفحه کف		محتوای رطوبتی			
۷	۶	۵	۴	۳	۲
۹۶,۵k	۸۷,۴۵h	۷۸,۵e	۷۳,۰۶c	۶۴,۲b	۴,۱۰
۹۲,۷۷j	۸۵,۴۷g	۷۷,۴۵e	۶۴,۲b	۶۴,۴۷ab	۱۰,۵۰
۹۰,۹۲i	۸۲,۷۵f	۷۵,۵d	۶۴,۴۷ab	۶۲,۸۵a	۲۸,۵۰
۸۹,۶۵i	۸۲,۱۷f	۷۵,۱d	۶۲,۸۵a		۳۶,۱۰

با توجه به نتایج مقایسه میانگین درصد شکستگی در سطوح مختلف سرعت خطی صفحه کف (جدول ۱۰) وجود اختلاف معنی داری در سطح ۵٪ بین سرعت های خطی ۷ و ۴ متر بر ثانیه مشخص است. نتایج این جدول نشان می دهد که با افزایش سرعت، درصد شکستگی افزایش می یابد که بیشترین میزان شکستگی مربوط به سرعت خطی ۷ متر بر ثانیه و به میزان ۸,۱۱ درصد می باشد.

جدول ۱۰- نتایج مقایسه میانگین درصد شکستگی در سطوح مختلف سرعت خطی صفحه کف با آزمون دانکن در سطح ۵٪

میانگین	سرعت (متر بر ثانیه)
۸,۱۱b	۴
۷,۸۷ab	۵
۷,۳۷ab	۶
۶,۳a	۷

در مقایسه میانگین درصد شکستگی در سطوح مختلف محتوای رطوبتی (جدول ۱۱) اختلاف معنی داری بین تیمارها مشاهده نشد. همانطور که از این جدول مشخص می شود با افزایش رطوبت، درصد شکستگی افزایش می یابد بطوریکه رطوبت ۴,۱ بیشترین میزان شکستگی را به میزان ۸,۰۲ درصد دارا می باشد.

جدول ۱۱- نتایج مقایسه میانگین درصد شکستگی در سطوح مختلف محتوای رطوبتی با آزمون دانکن در سطح ۵٪

میانگین	سرعت (متر بر ثانیه)
۸,۰۲a	۴,۱۰
۷,۵۹a	۱۰,۵۰
۷,۱۵a	۲۸,۵۰
۶,۸۹a	۳۶,۱۰

جدول شماره ۱۲ نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف سرعت خطی صفحه کف و محتوای رطوبتی بر درصد شکستگی را نشان می دهد. نتایج این جدول مقادیر پایینی را برای درصد شکستگی در سطوح مختلف تیمارها نشان می دهد بطوریکه بیشترین درصد شکستگی مربوط به ترکیب سرعت ۷ متر بر ثانیه و رطوبت ۴,۱۰ می باشد. البته همانطور که از فرمول شماره ۹ که برای محاسبه راندمان پوست گیری مورد استفاده قرار گرفت مشخص است، دانه های شکسته پوست گیری شده نیز در محاسبه راندمان پوست گیری وارد شده اند. به همین دلیل، درصد عمده ای از راندمان پوست گیری در این تیمارها مربوط به دانه های پوست گیری شده شکسته می باشد. بنابراین در صورتیکه در فرآیند پوست گیری، درصد دانه های شکسته پارامتر مهمی نباشد این تیمارها برای پوست گیری مناسبند. البته در این بین، تیمار سرعت خطی ۷ متر بر ثانیه و محتوای رطوبتی ۲۸,۵۰ با راندمان پوست گیری ۹۰,۹۲ درصد و با توجه به شکستگی کمتر (۷,۹۲ درصد) نسبت به تیمارهای دیگر مناسب تر می باشد. رکابی و همکاران، طی یک پروژه که در سال ۱۳۸۱ در یکی از ترمینالهای ضبط پسته در کرمان انجام دادند، میزان پوست کنی ماشین پسته پوست کن پیچی (موجود در کشور) را ۷۳,۸ درصد بدست آوردند.

جدول ۱۲- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف سرعت خطی صفحه کف و محتوای رطوبتی بر درصد شکستگی با آزمون دانکن در سطح ۵٪

سرعت خطی صفحه کف		محتوای رطوبتی	
۴	۵	۶	۷
۶,۸۲abc	۸,۰۷bcd	۸,۴۷cd	۸,۷d
۶,۵۵ab	۷,۷۲abcd	۷,۸۷bcd	۸,۲۲bcd
۶a	۷,۰۵abcd	۷,۶۲abcd	۷,۹۲bcd
۵,۸۲a	۶,۶۵ab	۷,۵abcd	۷,۶abcd

با توجه به نتایج این جدول و جدول شماره ۹ و با توجه به اینکه مقادیر تیمار سرعت ۷ متر بر ثانیه از نظر درصد شکستگی دانه در یک کلاس معنی داری قرار دارند تیمار سرعت خطی ۷ متر بر ثانیه و محتوای رطوبتی ۴,۱۰ درصد با درصد شکستگی ۸,۷ درصد و راندمان پوست گیری ۹۶,۵ درصد که بیشترین راندمان پوست گیری در بین تیمارهای یاد شده را دارا می باشد به عنوان بهترین تیمار معرفی می گردد.

نتیجه گیری

در پروسه فرآوری پسته، پوست گیری مهمترین فرآیند پس از برداشت می باشد. در ایران، پسته بوسیله ماشین پوست کنی از نوع "پیچی" پوست گیری می شود و عملیات شستشو و نم گیری توسط فرآیندهای دیگری انجام می گیرد. این پوست کن ها که بدون در نظر گرفتن خواص مکانیکی پسته ساخته شده اند درصد قابل توجهی از پسته را می شکنند. بنابراین، وجود دستگاهی با کارایی بالا که بتواند عملیات پوست گیری، شستشو و نم گیری را توأمان انجام دهد لازم به نظر می رسد. لذا برای نیل به این هدف، یک ماشین پوست کن بر اساس خصوصیات فیزیکی و مکانیکی پسته و فرضیات پوست کنی بدست آمده از پوست کن پیچی طراحی و ساخته شد. در نهایت ماشین مورد نظر مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج زیر بدست آمد:

۱- با افزایش رطوبت اولیه پسته، راندمان پوست گیری به طرز معنی داری افزایش یافت در صورتیکه درصد شکستگی کاهش یافت. همچنین اختلاف معنی داری بین نتایج درصد شکستگی تیمارهای محتوای رطوبتی مشاهده نشد.

۲- با افزایش سرعت خطی صفحه کف، راندمان پوست گیری و درصد شکستگی به طرز معنی داری افزایش یافتند. بطوریکه بیشترین میزان راندمان مربوط به سرعت ۷ متر بر ثانیه و کمترین درصد شکستگی را سرعت ۴ متر بر ثانیه به خود اختصاص داد.

۳- در نهایت با توجه به نتایج اثرات متقابل هر دو پارامتر سرعت و رطوبت بر راندمان و درصد شکستگی، تیمار سرعت خطی ۷ متر بر ثانیه و محتوای رطوبتی ۴،۱۰ درصد با درصد شکستگی ۸،۷ درصد و راندمان پوست گیری ۹۶،۵ درصد که بیشترین راندمان پوست گیری در بین تیمارهای یاد شده را دارا می باشد به عنوان بهترین تیمار معرفی می گردد.

تشکر:

از استاد گرانقدر، جناب آقای دکتر محسن شمسی به خاطر راهنمایی های ارزشمند در انجام تحقیقات قدردانی می شود.

منابع

- ۱- خدابخشیان، ر، ۱۳۸۶، طراحی ماشین پوست کن پسته بر اساس نیروی گریز از مرکز، پایان نامه کارشناسی، دانشکده کشاورزی دانشگاه کرمان.
- ۲- جلیلی، ر، ۱۳۸۴، میوه کاری، چاپ اول، آذربایجان غربی، انتشارات جهاد دانشگاهی.
- ۳- شمسی م. ۱۳۸۲ گزارش اول طرح جامع بهبود فرآیند فرآوری و بسته بندی پسته، وزارت صنایع و معادن، تهران.
- ۴- محمودی، ا، هدایتی، م، ۱۳۸۵، طراحی ماشین پوست کن پسته بر اساس سایش، پایان نامه کارشناسی، دانشکده کشاورزی دانشگاه کرمان.
- ۵- رکابی، م، ۱۳۷۹، ارزیابی پوست کن های پیچی، پایان نامه کارشناسی، دانشکده کشاورزی دانشگاه کرمان.
- ۶- شمسی، م، ۱۳۸۰، پوست کنی پسته بانبروی گریز از مرکز به روش مخروط وارونه، گزارش نهایی طرح دو در هزار وزارت صنایع، تهران.
- ۷- خزائی، ج، ۱۳۸۱، تعیین نیروی چیدن غلاف نخود و مقاومت مکانیکی آن به کوبیدن، رساله دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.
- ۸- پورداد، ش. ع. ۱۳۷۳. مقاومت مصالح، نشر مؤلف، تهران.
- ۹- ولی زاده، ع، ۱۳۷۵. جداول و استانداردهای طراحی و ماشین سازی، مؤسسه نشر علوم نوین، تهران.
- ۱۰- آشوبی، ا. ۱۳۷۲. شناخت و طراحی اجزای مکانیکی ماشین، جلد اول، نشر آذربایجان، تبریز.

11- IDRC, CANADA. 1983. Development of the rubber sheller. Submitted to the International Development Research Center.

12- Atiku, N. Aviara, and Haque, M. 2004. Performance Evaluating of a Bambara Ground Nut Sheller. Agricultural Engineering International: the CIGR journal of Scientific Research and Development. Manuscript PM 04002. Vol. VI. July, 2004.