

بررسی مشخصات عملکردی بهینه ماشین اندازه‌بند پیاز به منظور افزایش بازدهی و کاهش صدمات مکانیکی

سید صادق سیدلو^{۱*}، حبیبه نعلبندی^{۲*}، بابک عباس‌زاده^۳ و فرید بجایی^۴

چکیده

پیاز یکی از مهم‌ترین محصولات زراعی در جهان و ایران است که علی‌رغم ظرفیت بالای تولید آن در کشور، به دلیل نبود فناوری اندازه‌بندی و بسته‌بندی، در شرایط نامناسب به بازارهای مصرف داخلی و خارجی عرضه شده و در بازارهای جهانی به قیمت پایینی به فروش می‌رسد. هدف از تحقیق حاضر، آزمون و ارزیابی کامل ماشین اندازه‌بند پیاز، بررسی تأثیر مشخصه‌های عملکردی آن روی شاخص‌های اندازه‌بندی و بررسی میزان صدمات مکانیکی وارد شده به محصول در حین اندازه‌بندی است تا بتوان مشخصات عملکردی بهینه ماشین را به دست آورد. این ماشین با سازوکار اندازه‌بندی با دو غربال رفت و برگشتی در ابعاد ۲×۱ متر با محرک ارتعاشی لنگ و لغزنده طراحی و ساخته شد. پیازها به سه درجه از لحاظ اندازه (محصول با قطر کوچک‌تر از ۵۰، بین ۵۰ و ۷۰ و بزرگ‌تر از ۷۰ میلی‌متر) دسته‌بندی شدند. ارزیابی ماشین براساس شماره استانداردهای ملی و بین‌المللی موجود و برای پیاز رقم قرمز آدرشهر صورت گرفت و شاخص‌های درجه آلودگی و خلوص اندازه‌بندی اندازه‌گیری و محاسبه شدند. هم‌چنین، مشخصه‌های بهینه عملکرد ماشین شامل ظرفیت مؤثر، شیب غربال‌ها در سه سطح ۶، ۸ و ۱۲ درجه، بسامد ارتعاش غربال‌ها در سه سطح ۲/۶۶، ۳ و ۳/۳ هرتز و تأثیر آنها روی صدمات مکانیکی تعیین شدند. بر اساس نتایج، در ظرفیت اسمی ۱ الی ۱/۲ تن محصول در ساعت، بیش‌ترین درجه خلوص (۹۵/۶۰ درصد) در بسامد ۳/۳۳ هرتز و شیب ۱۰ درجه غربال‌ها حاصل شد. هم‌چنین بازده اندازه‌بندی ماشین نیز ۹۲/۳۴ درصد به دست آمد. پیازهای اندازه‌بندی شده توسط ماشین، فاقد هرگونه صدمات مکانیکی ظاهری اعم از بریدگی، لهیدگی و قطع‌شدگی بودند.

واژه‌های کلیدی: پیاز، آزمون و ارزیابی، ماشین اندازه‌بندی، درجه آلودگی و خلوص، مشخصه‌های عملکردی.

ارجاع: سیدلو س. ص. نعلبندی ح. عباس‌زاده ب. و بجایی ف. ۱۴۰۳. بررسی مشخصات عملکردی بهینه ماشین اندازه‌بند پیاز به منظور افزایش بازدهی و کاهش صدمات مکانیکی. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۳۱: ۶۵-۷۶. <https://doi.org/10.22034/JRMAM.2024.14749.706>

۱- استاد گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

۲- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

۴- دانش‌آموخته دکتری، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

* نویسنده مسئول: h.nalbandi@tabrizu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۱۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۰۵

مقدمه

عملیات پس از برداشت شامل مرحله‌ای از تولید محصولات کشاورزی است که بلافاصله پس از برداشت محصول صورت می‌گیرد و دربرگیرنده فناوری‌های مختلفی مانند سردسازی، تمیزکنی، اندازه‌بندی، درجه‌بندی و بسته‌بندی است. توجه به فناوری‌های پس از برداشت، می‌تواند یکی از عوامل افزایش تقاضا در بازارهای بین‌المللی و منطقه‌ای باشد. محصولات کشاورزی متعددی در ایران وجود دارند که به سبب موقعیت ممتاز جغرافیایی کشور، دارای ویژگی‌های منحصر به فردی هستند که با استفاده از صنایع تبدیلی و عملیات پس از برداشت می‌توان آنها را به سایر کشورها صادر نمود. پیاز یکی از محصولات کشاورزی با ظرفیت تولید بالا در کشور است که با اختصاص ۴۶ هزار هکتار سطح زیر کشت به این محصول و با متوسط عملکرد ۴۵ تن در هکتار، ایران را در رتبه ششم تولید پیاز در جهان قرار داده است (Anonymous, 2022). با این وجود، تنها ۱۸ درصد پیاز تولید شده در کشور صادر می‌شود که مهم‌ترین علت آن فقدان فناوری طبقه‌بندی و بسته‌بندی پیاز است (Anonymous, 2019).

طبقه‌بندی اصطلاحی عام است که شامل تفکیک محصولات از نظر کمی (اندازه‌بندی) و کیفی (درجه‌بندی) است. درجه‌بندی عبارت از جداسازی محصولات از لحاظ کیفیت از قبیل رنگ، رسیدگی و صدمات و اندازه‌بندی عبارت از تفکیک محصولات از لحاظ اندازه از قبیل طول، قطر، ضخامت یا ترکیب آنها، شکل و نیز جرم محصول است (Saravacos & Kostaropoulos, 2016). طبقه‌بندی می‌تواند مقدمه‌ای بر عملیات دیگر پس از برداشت مانند بسته‌بندی و پوست‌گیری باشد و بر اجرای بهتر آنها کمک کند. با این وجود، عملیات طبقه‌بندی محصولات باغی در ایران شامل میوه و سبزی، از جمله محصول پیاز زیاد مورد توجه قرار نگرفته است و در میان صنایع تبدیلی، تنها ۱۲ درصد صنایع مربوط به فرآوری، متعلق به عملیات درجه‌بندی و اندازه‌بندی است (Lotfi, 2010). هرچند این رقم مربوط به ۱۲ سال پیش است، اما با نگاهی به سطح درآمد حاصل از صادرات محصولات کشاورزی در ۲۰ سال اخیر، می‌توان دریافت که در این حوزه، در چند سال گذشته نیز پیشرفت قابل توجهی حاصل نشده است.

اندازه‌بندی محصولات کشاورزی به دو صورت مکانیکی و الکترونیکی صورت می‌گیرد. اندازه‌بندهای الکترونیکی ماشین‌هایی هستند که اندازه‌گیری ابعاد و مشخصه‌های فیزیکی را به صورت الکترونیکی انجام می‌دهند و معمولاً شامل قسمت مکانیکی برای جداسازی هستند. جداسازی بر اساس دریافت و پردازش تصاویر، برای تعیین ابعاد و نیز اندازه‌گیری وزن به صورت الکترونیکی صورت می‌گیرد. ماشین‌های اندازه‌بند الکترونیکی به دلیل نبود فناوری‌های پیشرفته در حوزه الکترونیک در ایران و پیچیدگی و بالا بودن هزینه ساخت و نگهداری، مورد استقبال زیادی قرار نگرفته است. سامانه‌های مکانیکی شامل استفاده از غربال‌ها، تسمه‌های واگرا، اندازه‌بند تسمه و صفحه، اندازه‌بند تسمه و غلتک و دوآر گریفا هستند که در آنها اندازه‌گیری ابعاد و مشخصه‌های فیزیکی و جداسازی به صورت مکانیکی انجام می‌شود. ماشین‌های اندازه‌بند مکانیکی، به خاطر سادگی ساخت و نگهداری و قیمت پایین آنها، می‌توانند تطابق بیشتری با شرایط تولیدکننده‌ها داشته باشند (Seiedlou, 2012). در حال حاضر شاید نتوان بیش‌تر از چند مورد ماشین اندازه‌بند پیاز، در منطقه استان‌های کرمان، اصفهان، فارس، هرمزگان و آذربایجان شرقی و غربی که قطب عمده تولید پیاز در کشور هستند، پیدا کرد و غالباً بیش از ۹۵ درصد محصول تولیدی به صورت دستی و یا بدون عملیات اندازه‌بندی به صورت فله بسته‌بندی می‌شوند.

در خصوص طراحی و ساخت ماشین‌های اندازه‌بندی و درجه‌بندی، در سطح تحقیقاتی، کارهایی انجام شده است و ماشین‌هایی با سطح فناوری‌های متفاوت ساخته شده‌اند. در اکثر این کارهای تحقیقاتی، ضمن ساخت ماشین، مشخصه‌های عملکردی ماشین در طبقه‌بندی محصول خاص برآورد و بررسی شده و بازده و خطای طبقه‌بندی گزارش شده است. Bahnasawy & Mostafa (2009) ماشین اندازه‌بندی با سازوکار تسمه و غلتک برای اندازه‌بندی پیاز طراحی و ساختند و تأثیر سرعت و زاویه تسمه انتقال را بر بازده ماشین مورد ارزیابی قرار دادند. بیش‌ترین بازده ماشین با ۹۴/۳۳ درصد در سرعت تسمه انتقال ۰/۲۳ متر بر ثانیه و در زاویه شیب ۲۰ درجه تسمه انتقال به‌دست آمد که در این شرایط بیش‌ترین ظرفیت اندازه‌بندی برابر با ۱/۷۲ تن در ساعت

این ماشین پیازها به سه درجه گروه‌بندی شدند. براساس نتایج حاصل، بالاترین بازده با مقدار ۹۳/۴۶ درصد در سرعت محیطی استوانه معادل ۱۵ متر بر ثانیه و زاویه ۳ درجه استوانه به دست آمد. در شرایط بهینه، ظرفیت ماشین در حدود ۶۳۰ کیلوگرم در ساعت بود. مقدار صدمات وارد شده به محصول گزارش نشده است. Abd El-Rahman (2011) ماشین اندازه‌بندی پیاز از نوع استوانه‌های تو در تو را طراحی، ساخته و ارزیابی کردند. این ماشین از سه استوانه تو در تو ساخته شده بود که می‌توانست پیازها را به چهار درجه اندازه‌بندی کند. دو مشخصه عملکردی شامل سرعت دورانی استوانه‌ها و نرخ تغذیه، مورد ارزیابی قرار گرفت. بازده اندازه‌بندی در سرعت دورانی ۵۵ دور در دقیقه استوانه و نرخ تغذیه ۱۲۵ کیلوگرم در ساعت به مقدار ۹۴/۳۴ درصد و میزان صدمات مکانیکی ۴/۶۶ درصد گزارش شد. نتیجه، بیان‌گر پایین بودن ظرفیت اسمی ماشین و نیز بالا بودن مقدار صدمات به محصول بود. Gayathri et al. (2016) ماشین اندازه‌بند پیاز برای رقم رز را ساخته و مورد آزمون و ارزیابی قرار دادند. اندازه‌بند ساخته شده از نوع غربال‌های رفت و برگشتی بود و پیازها را به سه درجه تقسیم‌بندی می‌کرد. بیش‌ترین بازده اندازه‌بندی گزارش شده با مقدار ۷۵ درصد در شیب ۴ درجه و نرخ تغذیه ۱۰۸۰ کیلوگرم در ساعت بود و مقدار صدمات وارد شده به محصول گزارش نشد. Alizadeh (2018) به همراه تیم تحقیقاتی حاضر، ماشین اندازه‌بندی پیاز با سازوکار اندازه‌بندی با غربال‌های مشبک رفت و برگشتی را طراحی کرد و سپس ساخت. این ماشین از دو ردیف صفحات مشبک از جنس گالوانیزه که به صورت شیب‌دار به شاسی اصلی ماشین متصل شده بودند. با حرکت ارتعاشی رفت و برگشتی غربال‌ها و با سازوکار ارتعاشی لنگ لغزنده، پیازها از ابتدا به انتهای ماشین حرکت کرده و به سه درجه مختلف مطابق با استاندارد ۵۱/۲۸۳۶ دپارتمان کشاورزی ایالات متحده (USDA) جدا می‌شدند. ظرفیت اسمی این ماشین حدود ۲/۸ تن در ساعت برآورد شد، ولی ارزیابی دقیق ماشین و نیز مشخصه‌های عملکردی آن و بررسی صدمات احتمالی مکانیکی وارد شده بر محصول پیاز صورت نگرفته است.

تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که سه عامل ظرفیت، بازدهی و صدمات مکانیکی وارد شده به محصول

بود. (Kermani & Kouravand 2019) نوعی دستگاه اندازه‌بندی فندق بر اساس تسمه‌های واگرا طراحی و مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج ارزیابی نشان داد که سرعت خطی تسمه‌ها، بر بازدهی جداسازی اثر معنی‌داری دارد و مناسب‌ترین سرعت خطی برای انتقال محصول ۰/۸ متر بر ثانیه بود. (Tabatabae Kloor & Hashemi 2008) برای اندازه‌بندی مرکبات، ماشینی مشابه ماشین ساخته شده توسط Jarimpos et al. (2007) بر اساس سازوکار ماشین دوآر گریفا ساخته و عملکرد آن را مورد ارزیابی قرار دادند. بهترین عملکرد ماشین در سرعت ۴۰ دور در دقیقه صفحه دوآر حاصل شد که در این شرایط بازده ماشین ۹۴ درصد و ظرفیت آن ۱ تن در ساعت برآورد شد. نکته جالب توجه آن است که در اکثر این تحقیقات، تأثیر مشخصه‌های عملکردی و نوع طراحی ماشین و مواد مورد استفاده در ساخت ماشین، روی صدمات فیزیکی و مکانیکی محصول اندازه‌بندی شده به صورت دقیق مورد ارزیابی قرار نگرفته است، که مهم‌ترین مشخصه مقبولیت یک ماشین اندازه‌بندی است. (Nazer 2012) ماشین اندازه‌بند سیب درختی بر اساس سازوکار تسمه و غلتک طراحی نمود که میوه‌های سیب را به چهار درجه تفکیک می‌کرد. این ماشین بعد از رفع عیوب احتمالی، توسط (Beranki 2015) ساخته شده و مورد ارزیابی اولیه قرار گرفت. ارزیابی اولیه نشان داد که زمانی که شیب عرضی تسمه نقاله انتقال ۸ درجه باشد، خطای اندازه‌بندی افزایش یافته، ولی در شیب ۱۵ درجه تسمه انتقال، دقت اندازه‌بندی افزایش می‌یابد. (Nalbandi et al. 2020) ماشین ساخته شده توسط (Beranki 2015) را با دو رقم سیب و یک رقم پرتقال ارزیابی کردند. نتایج بیان‌گر آن بود که درجه خلوص اندازه‌بندی برای سیب و پرتقال به ترتیب ۹۵/۸ و ۹۵/۸۳ درصد است. در این شرایط ظرفیت بهینه ماشین حدود ۱ تن در ساعت برآورد شد. مقدار صدمات کوفتگی در هر دو محصول و در تنظیمات انجام شده از قبیل سرعت غلتک‌ها، دبی تغذیه و سرعت تسمه انتقال، تقریباً در حد صفر برآورد شد. (Gunathilake et al. 2016) اقدام به طراحی، توسعه و ارزیابی ماشین اندازه‌بندی پیاز کردند. سازوکار این ماشین شامل یک استوانه توخالی دوآر بود که به صورت شیب‌دار حول یک محور محرک تقریباً افقی دوران می‌کرد. سرعت دورانی و زاویه شیب استوانه‌ها در این ماشین قابل تنظیم بود. در

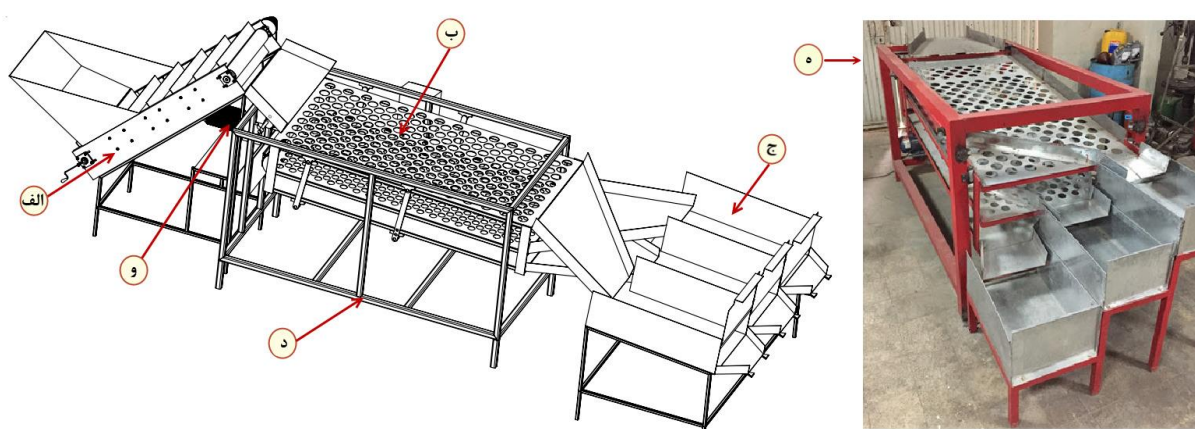
عملیات اندازه‌بندی و نیز صدمات مکانیکی وارد شده به محصول است.

مواد و روش‌ها

شرح اجزای ماشین اندازه‌بند

ماشین اندازه‌بند مکانیکی پیاز با سازوکار اندازه‌بندی با غربال‌های مشبک رفت و برگشتی توسط تیم تحقیقاتی حاضر طراحی و ساخته شد که در شکل ۱ نشان داده شده است (Alizadeh, 2018).

جزو عوامل تعیین‌کننده عملکرد یک ماشین اندازه‌بند هستند و بایستی سامانه اندازه‌بند طوری عمل کند که دارای ظرفیت اسمی قابل قبول و بازدهی بالا و صدمات محصولی کمتری باشد. بنابراین نوع طراحی و نیز مشخصه‌های عملکردی ماشین با لحاظ اهداف مذکور بایستی حاصل شود. بنابراین هدف این تحقیق ارزیابی کامل ماشین اندازه‌بند ساخته شده توسط تیم تحقیقاتی حاضر (Alizadeh, 2018) در اندازه‌بندی پیاز و بررسی تأثیر مشخصه‌های عملکردی و تنظیمی ماشین روی شاخص‌هایی از قبیل درجه آلودگی و درجه خلوص



شکل ۱- طرح ماشین اندازه‌بندی پیاز: الف: واحد تغذیه، ب: واحد اندازه‌بندی، ج: واحد جمع‌آوری، د: شاسی اصلی، و: واحد انتقال توان و ه: نمای ماشین اندازه‌بندی ساخته شده (Alizadeh, 2018)

بیبی

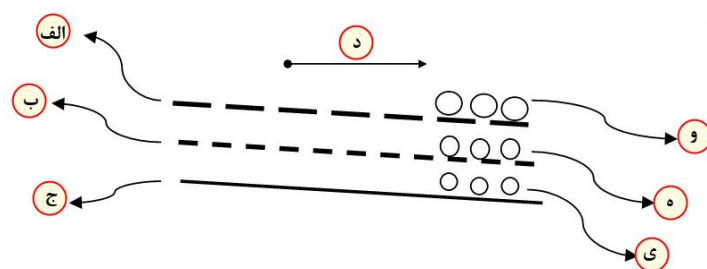
لازم شیب دلخواه تنظیم گردد. عمل اندازه‌بندی به این صورت انجام می‌گیرد که ابتدا پیازها روی غربال شماره ۱ (غربال فوقانی) که دارای منافذی با قطر ۷۰ میلی‌متر هست، تغذیه شدند تا در ابتدا پیازهای بزرگ به سمت انتهایی غربال حرکت کرده و وارد قسمت جمع‌آوری شوند و پیازهای متوسط و کوچک، از منافذ این غربال عبور کرده و روی غربال شماره ۲ (غربال تحتانی) بیفتند. در این قسمت نیز پیازهای متوسط روی سطح غربال به انتهایی آن حرکت کرده و به جعبه‌های جمع‌آوری انتقال می‌یابند و پیازهای کوچک که از منافذ این غربال عبور کرده‌اند، روی صفحه انتهایی جمع‌کننده افتاده و به قسمت جمع‌آوری منتقل می‌شوند. بدین وسیله ماشین اندازه‌بندی، محصولات را در سه درجه اندازه‌بندی می‌کند (شکل ۲). واحد جمع‌آوری از ۳ بخش شامل جعبه پیازهای کوچک، متوسط و بزرگ تشکیل شده است و

این ماشین از پنج قسمت اصلی شامل واحد تغذیه، واحد اندازه‌بندی، واحد جمع‌آوری محصولات اندازه‌بندی شده، شاسی و واحد انتقال توان تشکیل یافته است. واحد تغذیه‌کننده علاوه بر تغذیه‌ی ماشین، انتقال یکنواخت محصول را نیز میسر می‌سازد. واحد اندازه‌بندی ماشین از دو غربال صفحه‌ای و یک صفحه جمع‌کننده تشکیل شده است. به دلیل حرکت ارتعاشی رفت و برگشتی غربال‌ها، پیاز به راحتی از منافذ غربال‌ها عبور کرده و با کم‌ترین ساییدگی و صدمه مکانیکی اندازه‌بندی می‌شود. بنابراین دو غربال، هر کدام به طول ۲ متر و عرض ۱ متر، با منافذ گرد و یک صفحه انتهایی جمع‌کننده طراحی شده بودند. قطر منافذ غربال‌ها نیز طبق استاندارد ۵۱/۲۸۳۶ دپارتمان کشاورزی ایالات متحده (USDA) و محاسبات انجام شده، ۷۰ و ۵۰ میلی‌متر طراحی شدند. غربال‌ها دارای سازوکاری برای تغییر شیب هستند تا در مواقع

را به برق سه فاز مورد نیاز ماشین درجه‌بند تبدیل نماید. به وسیله این مبدل، بسامد ورودی به موتور برقی بین ۰ تا ۶۰ هرتز، قابل تنظیم بود. در بسامد ۶۰ هرتز جریان ورودی، موتور برقی دارای سرعت دورانی ۱۴۱۵ دور در دقیقه بود که در این زمان و بر اساس نوع انتقال توان به‌کار گرفته شده و نسبت پولی‌ها، بسامد ارتعاش الک‌ها برابر ۴/۱۶ هرتز (معادل ۲۵۰ حرکت رفت و برگشتی غربال در دقیقه) بود. مشخصات فنی ماشین در جدول ۱ ارائه شده است.

برای سهولت تخلیه از جعبه‌های شیب‌دار با دریچه خروجی کشویی ساخته شده‌اند.

واحد تأمین توان، از یک موتور برقی سه فاز با توان ۳ اسب بخار و دور دورانی ۱۴۱۵ دور در دقیقه و چهار پولی به قطرهای ۷۰، ۱۳۰، ۷۰ و ۲۲۰ میلی‌متر تشکیل شده است. در این سازوکار، ارتعاش الک‌ها با استفاده از سامانه انتقال توان تسمه و پولی و با پایش دور دورانی موتور برقی با استفاده از یک واحد مبدل بسامدی پایش می‌شود. این مبدل بسامدی می‌تواند برق تک فاز شهری



شکل ۲- نمای غربال‌های واحد اندازه‌بندی؛ الف: غربال شماره ۱، ب: غربال شماره ۲، ج: صفحه انتهایی جمع‌کننده، د: جهت حرکت محصول، و: پیازهای بزرگ، ه: پیازهای متوسط و ی: پیازهای کوچک

جدول ۱- مشخصات فنی ماشین درجه‌بند پیاز

مقدار	مشخصات	مقدار	مشخصات
۱۲۰۰	ظرفیت ماشین (کیلوگرم در ساعت)	$2/3 \times 1/1 \times 1/2$	ابعاد ماشین (متر)
ورق آهن گالوانیزه	جنس سبدهای جمع‌آوری و غربال‌ها	1×2	اندازه غربال‌ها (متر)
۲۲۰ ولت تک فاز	ولتاژ	$36/22$	درصد فضای باز غربال بالا
۱۴۱۵	دور دورانی موتور برقی (دور در دقیقه)	$35/42$	درصد فضای باز غربال پایین
۳	قدرت موتور برقی (اسب بخار) - سه فاز	۱ تا ۱۱ درجه	تعداد درجات شیب غربال‌ها
$3/33$	بیش‌ترین بسامد ارتعاشی عملیاتی مناسب ماشین (هرتز)	۲۸	دامنه ارتعاشی غربال‌ها (میلی‌متر)

آماده‌سازی نمونه‌ها

برای آزمون و ارزیابی ماشین از پیاز رقم قرمز آذرشهر که از ارقام با کیفیت و صادراتی است، استفاده شد. از این رو ۲۰۰ کیلوگرم پیاز از بازار محلی شهرستان آذرشهر واقع در استان آذربایجان شرقی تهیه شدند. چون طراحی ماشین بر اساس استاندارد ۵۱/۲۸۳۶ دپارتمان کشاورزی ایالات متحده آمریکا (USDA) صورت گرفته بود، بنابراین بر اساس آن استاندارد و نحوه انتخاب غربال‌ها، مقرر شده بود پیازها بر اساس قطر، به سه درجه یا طبقه شامل پیازهای بزرگ ($D \geq 70 \text{ mm}$)، متوسط ($70 \text{ mm} < D < 50 \text{ mm}$) و کوچک ($D \leq 50 \text{ mm}$) دسته‌بندی شوند که به ترتیب تحت عنوان گروه A، B و C نام‌گذاری شدند. این گروه‌بندی با استاندارد OECD-DDV25

ارزیابی عملکرد ماشین اندازه‌بند پیاز

برای ارزیابی عملکرد ماشین‌های طبقه‌بندی غالباً از استاندارد ایالات متحده آمریکا (USDA) استفاده می‌شود. در این استاندارد عملکرد ماشین هم از دیدگاه شاخص‌های مختلف بیان‌کننده بازده و خطای عملیات طبقه‌بندی و هم از دیدگاه صدمات مکانیکی احتمالی وارد به محصول، مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد. در این تحقیق، ارزیابی ماشین با استفاده از پیاز رقم قرمز آذرشهر صورت گرفت. از شاخص‌های درجه آلودگی و خلوص اندازه‌بندی برای بیان عملکرد ماشین اندازه‌بندی استفاده شد. از بریدگی، لهیدگی و قطع‌شدگی به‌عنوان معیار صدمات مکانیکی استفاده شد. نحوه محاسبه این شاخص‌ها در ادامه بیان شده است.

خروجی موجود در خروجی هر درجه، یادداشت شده و جرم کل پیازهای خروجی از هر درجه نیز اندازه‌گیری و ثبت شد. بدین ترتیب بر اساس تجزیه و تحلیل محصول جمع‌آوری شده در هر درجه و جعبه‌های جمع‌آوری گروه‌بندی شده، مشخص شد که در هر درجه چند عدد پیاز به درستی جداسازی شده و چند مورد به صورت اشتباهی از درجات دیگر به درجه مورد نظر و یا از درجه مورد ارزیابی به درجات دیگر منتقل شده‌اند. بنابراین محاسبات مربوط به شاخص‌های بیان‌گر کیفیت اندازه‌بندی با استفاده از نمودار شکل ۳ صورت گرفت. به طوری که بر اساس نمودار مذکور، اندازه‌گیری‌های لازم مانند دبی محصول ورودی و نیز دبی خروجی در هر کدام از درجات (G_i)، درصد پیازهای اندازه‌بندی شده صحیح در هر درجه (pg_i) یا اشتباه (C_{ij}) و نیز شاخص‌های نسبت جرمی هر درجه از محصول در محصول ورودی (W_i) و در هر کدام از تیمارها و تنظیمات ماشین، اندازه‌گیری و ثبت شد.

شاخص‌های ارزیابی عملکرد ماشین

پس از اتمام آزمایش‌ها و ثبت نتایج داده‌های آزمون در هر تیمار، محاسبات لازم برای تعیین شاخص‌های مذکور انجام شد. شاخص‌های بیان‌کننده عملیات اندازه‌بندی شامل درجه آلودگی (C_w) و درجه خلوص (P_w) بود. درجه آلودگی درصد محصولاتی است که در عملیات اندازه‌بندی به خروجی نامناسب و اشتباه رفته است و برعکس، درجه خلوص نشانگر عملکرد صحیح ماشین در جداسازی محصولات و قرار دادن هر کدام در خروجی مختص خود می‌باشد که با استفاده از معادلات (۱) و (۲) محاسبه شدند. بازده اندازه‌بندی (E_w) نیز از معادله (۳) محاسبه گردید.

$$C_w = [C_{1,2} + C_{1,3} + C_{1,4} + \dots + C_{1,j}] W_1 + [C_{2,1} + C_{2,3} + C_{2,4} + \dots + C_{2,j}] W_2 + [C_{3,1} + C_{3,2} + C_{3,4} + C_{3,j}] W_3 + \dots + [C_{i,1} + C_{i,2} + C_{i,3} + \dots + C_{i,j}] W_i \quad (i \neq j) \quad (1)$$

$$P_w = Pg_1 W_1 + Pg_2 W_2 + Pg_3 W_3 + \dots + Pg_i W_i \quad (2)$$

$$E_w = \sum_i \left(\frac{Pg_i G_i}{P_i Q} \right) W_i \quad (3)$$

که در این معادلات، C_w شاخص درجه آلودگی و P_w شاخص درجه خلوص ماشین بر حسب درصد است.

اتحادیه اروپا، کد استاندارد شماره ۷۵ ایران و کد استاندارد ASEAN23:2011 جنوب‌شرقی و شرق آسیا نیز مطابقت دارد.

در زمان آماده‌سازی نمونه‌ها، قطر و جرم هر کدام از پیازها در توده محصولی که تحت اندازه‌بندی قرار می‌گرفتند، اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری جرم و ابعاد پیازها از ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم و یبیریزسنج رقمی استفاده شد. اندازه‌گیری ابعاد محصولات شبه‌کروی، شامل ارتفاع و قطر محصول است. ارتفاع پیاز برابر با فاصله انتهای سوخ در قسمت فوقانی پیاز تا قسمت ساقه آن، و قطر پیاز برابر با بزرگ‌ترین بعد عمود بر ارتفاع محصول است. پس از اندازه‌گیری جرم و ابعاد، شناسه مرتبط با طبقه آن از نظر قطر و نیز جرم آن، روی هر پیاز نصب شد تا ردیابی نمونه‌ها در مراحل اندازه‌بندی راحت‌تر باشد. همچنین نسبت جرمی هر گروه (W_i) اندازه‌گیری و نیز درصد خلوص هر طبقه اندازه (P_i) ورودی محصول، اندازه‌گیری و محاسبه شد. ذکر این نکته حائز اهمیت است که فقط پیازهایی برای عملیات اندازه‌بندی استفاده شد که فاقد هرگونه صدمات مکانیکی بودند.

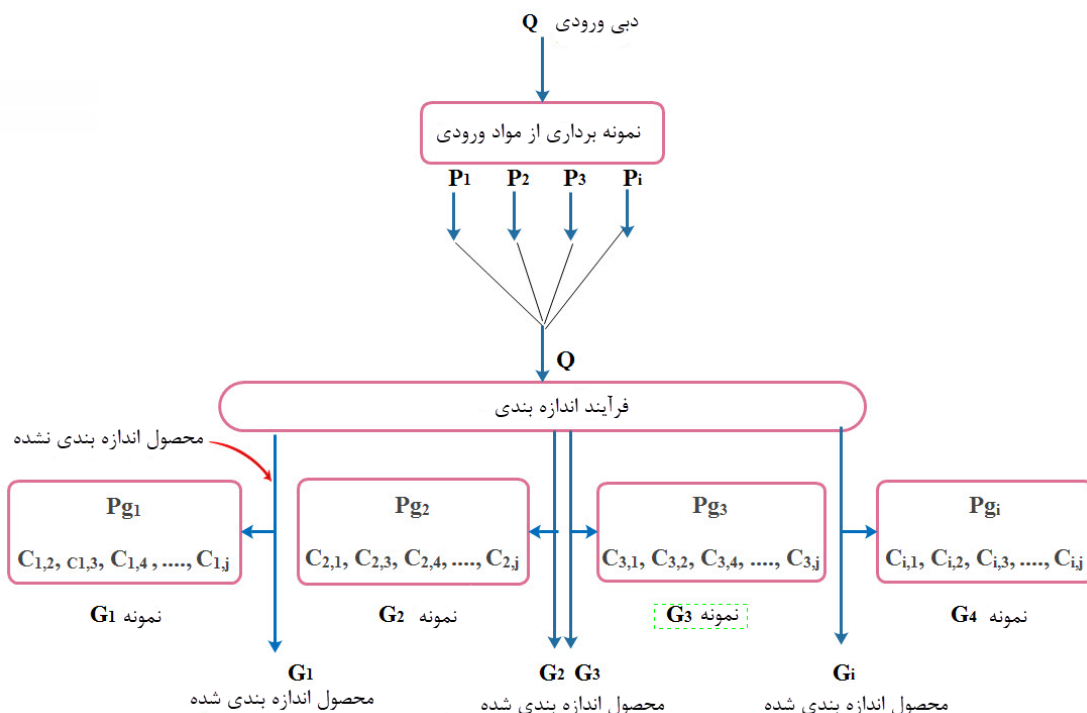
نحوه اجرای آزمون و ارزیابی ماشین

مشخصه‌های مهم عملکردی ماشین که روی شاخص‌های بیان‌کننده کیفیت عملیات تأثیرگذار هستند شامل شیب مجموعه غربال‌ها و بسامد ارتعاشی آن‌ها بود. اثر شیب مجموعه غربال‌ها در سه سطح ۶، ۸ و ۱۲ درجه و بسامد ارتعاشی مجموعه غربال‌ها در سه سطح ۲/۶۶، ۳ و ۳/۳۳ هرتز (معادل ۱۶۰، ۱۸۰ و ۲۰۰ حرکت رفت و برگشتی غربال در دقیقه) و هر کدام در سه تکرار روی درجه آلودگی و خلوص عملیات اندازه‌بندی مورد ارزیابی قرار گرفت.

نرخ تغذیه محصول ۲۰ کیلوگرم بر دقیقه، معادل ۱۲۰۰ کیلوگرم در ساعت در نظر گرفته شد. به این ترتیب پس از تنظیم ماشین روی مقادیر مورد نظر، پیازها داخل قیف ورودی ریخته شده و فرآیند اندازه‌بندی انجام شد. مدت زمان انجام فرآیند از لحظه‌ای که اولین پیاز روی غربال تخلیه می‌شد تا زمانی که آخرین پیاز از روی سطح غربال خارج می‌شد، ثبت گردید. پس از اتمام فرآیند، محتوای جعبه‌های جمع‌آوری محصول به‌طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفت و شناسه نمونه‌های

جرم کل محصول ورودی است. P_i درصد خلوص محصول درجه i م در دبی ورودی بوده و به صورت تعداد محصول درجه i موجود در مخزن اصلی به تعداد کل پیازهای مورد استفاده در عملیات اندازه‌بندی محاسبه شد. $C_{i,j}$ درصد آلودگی درجه i در بین نمونه‌های برداشت شده از دبی خروجی درجه i است. $(i \neq j)$ هم‌چنین G_i دبی خروجی درجه i ام است.

Pg_i درجه خلوص محصول در درجه i ام است که برابر با نسبت تعداد پیازهای اندازه‌بندی شده صحیح در درجه مورد نظر در خروجی i ، به تعداد کل پیاز خارج شده از همان خروجی است. Q ، دبی جرمی محصول ورودی است و برابر با جرم کل محصول وارد شده به ماشین بر زمان کل عملیات اندازه‌بندی است. W_i تابع وزنی درجه i ام بوده و برابر نسبت جرم پیازهای درجه i در مخزن ورودی به



شکل ۳- طرح‌واره فرآیند اندازه‌بندی

مورد آزمون قرار گرفت تا هرگونه آسیب مکانیکی محتمل، مورد بررسی قرار گیرد.

به دلیل ماهیت پیاز و وجود لایه‌های بیرونی آن، احتمال صدمات پیاز پایین است، بنابراین مقدار صدمات وارد شده به محصول پیاز ابتدا به صورت بصری زیر نور خورشید و نیز زیر نور D60 در داخل محفظه نورپردازی، ارزیابی و ثبت شدند. سپس از وجوه مختلف پیازها در داخل محفظه مذکور، تصویربرداری شد و با بزرگ‌نمایی تصاویر اخذ شده در محیط نرم‌افزار Digimizer 5.4.9، صدمات احتمالی بررسی شدند. در مرحله بعد، برای بررسی لهیدگی‌های داخلی پیازها، لایه‌های بیرونی نمونه‌ها جدا و مجدد در داخل محفظه مذکور از آنها تصویربرداری و به روش مشابه صدمات ارزیابی شدند.

ارزیابی کیفی و بررسی صدمات مکانیکی

یکی از مشخصه‌های مهم ارزیابی ماشین اندازه‌بندی، مقدار صدمات وارد شده، اعم از بریدگی، لهیدگی و قطع-شدگی پیازها در طی فرآیند است. استاندارد شماره ۸۷ مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، استاندارد شماره ۵۱/۲۸۳۶ دپارتمان کشاورزی ایالات متحده، استاندارد FFV-25 سازمان ملل متحد، میزان آسیب‌های مکانیکی قابل قبول در فرآیند اندازه‌بندی را حداکثر ۲ درصد در هر بسته عنوان کرده‌اند. از طرفی کد استاندارد بسته‌بندی و اندازه‌بندی شماره ۱۹۸۳ استرالیا و کد استاندارد ASAE 23:2011، هرگونه آسیب مکانیکی و بییکاراندام‌شناسی در بسته‌های پیاز را مجاز نمی‌داند. بنابراین صدمات مکانیکی در پیازها در شدیدترین حالت کار ماشین یعنی در بیش‌ترین درجه و بسامد ارتعاشی،

تجزیه و تحلیل داده‌ها

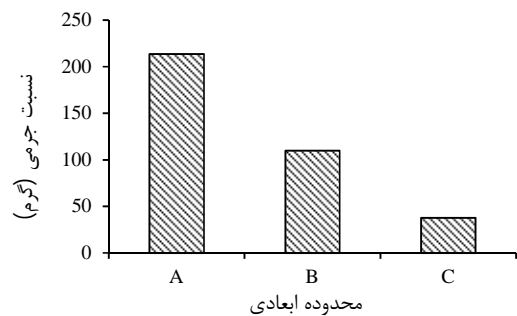
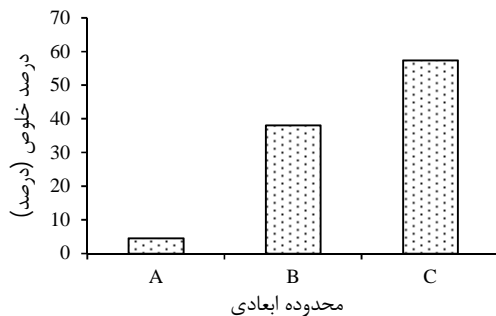
در این تحقیق برای بررسی تأثیر مشخصه‌های مورد مطالعه روی شاخص‌های عملکرد ماشین، مانند میزان صدمات، درجه آلودگی و خلوص عملیات اندازه‌بندی، از آزمایش‌های فاکتوریل با دو عامل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار استفاده شد. مشخصه‌های مورد مطالعه شامل شیب غربال‌ها در سه سطح و بسامد ارتعاشی غربال‌ها در سه سطح بودند. داده‌ها در محیط نرم‌افزار 1.42 MSTATC تحلیل و مقایسه میانگین نیز به روش دانکن انجام شد. برای اندازه‌گیری صدمات و تفسیر تصاویر پیاز از نظر سطح صدمات، از نرم‌افزار Digimizer 5.4.9 استفاده شد.

نتایج و بحث

مشخصات توده محصول

شکل ۴ فراوانی تعداد میوه و توزیع وزنی آنها در توده محصول ورودی به ماشین را نشان می‌دهد. همان‌طور که قبلاً بیان شد، پیازها به سه درجه شامل پیازهایی با قطر کوچکتر از ۵۰ میلی‌متر (C)، ۵۰ تا ۷۰ میلی‌متر (B) و بزرگتر از ۷۰ میلی‌متر (A) دسته‌بندی شدند و توده محصول از نظر فراوانی پیازها در هر گروه و نیز جرم پیازهای متعلق به هر گروه مورد بررسی قرار گرفتند.

نتایج اندازه‌گیری قطر پیازها نشان داد که کمینه، بیشینه و متوسط مقدار قطر پیاز برابر ۲۱، ۹۳٫۶ و ۵۸/۴ میلی‌متر بود. بر اساس تحلیل داده‌ها، ۵۷/۴ درصد محصول از نظر تعداد، در محدوده قطری درجه C قرار داشت. ۳۸ درصد در محدوده درجه B و ۴/۶ درصد در محدوده قطری درجه A قرار داشتند. میانگین جرم پیازها نیز ۷۳/۲۳ گرم بود.



شکل ۴- نسبت جرمی و درصد خلوص درجات مختلف پیاز در توده محصول

پایین‌تر در اندازه‌بندی پیاز رقم قرمز آذرشهر با ماشین اندازه‌بندی رفت و برگشتی توصیه نمی‌شود. نتایج هم‌چنین نشان داد، با افزایش شیب غربال‌ها، درجه خلوص افزایش و درجه آلودگی کاهش یافته است (جدول ۴). بین درجه خلوص در همه سطوح شیب غربال‌ها اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد وجود دارد. کاربرد شیب ۱۰ درجه مناسب‌تر از سایر شیب غربال‌ها بود. با توجه به این اعداد و ارقام، بایستی شیب‌های بالاتر مانند ۱۱ تا ۱۲ درجه هم بررسی شود که شاید موجب افزایش درجه خلوص در پیاز شود. ولی شیب‌های بالاتر به دلیل حرکت سریع محصول روی غربال‌ها توصیه نمی‌شود.

اثرات مشخصه‌های عملکردی روی شاخص‌های دقت

اندازه‌بندی

نتایج تجزیه واریانس اثر بسامد ارتعاشی و شیب غربال‌ها روی شاخص‌های دقت اندازه‌بندی در جدول ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود اثر اصلی شامل بسامد ارتعاشی و شیب غربال‌ها و اثر متقابل آنها، بر درجه خلوص و آلودگی اندازه‌بندی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار است. همان‌طور که نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد با افزایش بسامد ارتعاشی غربال‌ها، درجه خلوص افزایش و درجه آلودگی کاهش یافته است. به طوری که بهترین عملکرد اندازه‌بندی در بسامد ۳/۳۳ هرتز حاصل شده است (جدول ۳). کاربرد بسامدهای

خلوص ۸۲ درصد را ارائه می‌کرد که این مقدار پایین‌تر از استانداردهای بین‌المللی موجود در اندازه‌بندی پیاز است. در تحقیق حاضر بازده کلی ماشین ۹۲/۳۴ درصد محاسبه شد. در حالی که بازده اندازه‌بندی ثبت شده در ماشین مشابه اندازه‌بندی پیاز ساخته شده توسط Gayathri *et al.* (2016) ۷۵ درصد گزارش شده است. همچنین Bahnasawy & Mostafa (2009) یک ماشین اندازه‌بندی پیاز با سازوکار تسمه غلتک ساخته و بازده اندازه‌بندی آن را ۹۴/۹ درصد گزارش کردند. هرچند آنان آماری از ظرفیت ماشین مذکور ثبت نکرده‌اند. Abd El-Rahman (2011) اقدام به طراحی، ساخت و ارزیابی یک ماشین اندازه‌بندی پیاز با سازوکار استوانه دوآر امتدادی نمود که این ماشین در نرخ تغذیه ۱۲۵ کیلوگرم در ساعت، دارای بازده ۹۴/۳ درصد بود. نرخ تغذیه مذکور برای کاربرد ماشین به صورت اقتصادی، بسیار پایین است. بدیهی است بازده ۹۴ درصد در ظرفیت‌های بالای ماشین قابل تکرار نخواهد بود. Jarimpos *et al.* (2007) برای محصولات شبه‌کروی مانند انبه، بازده اندازه‌بندی را ۸۴/۷ درصد گزارش نمودند. Tabatabaee Kloor & Hashemi (2008) میزان بازده اندازه‌بندی ماشین دوآر گریفا در اندازه‌بندی پرتقال را ۹۴ درصد ثبت کردند.

بر اساس اعداد مربوط به بازده ماشین‌ها در تحقیقات مختلف و با توجه به ظرفیت خوب ماشین مورد نظر در تحقیق حاضر یعنی ۱۲۰۰ کیلوگرم در ساعت، بازده به دست آمده (۹۴/۳۴ درصد) بسیار خوب ارزیابی شده و در محدوده استانداردهای جهانی اندازه‌بندی قرار دارد.

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل بسامد ارتعاشی و شیب غربال‌ها روی شاخص درجه خلوص و آلودگی اندازه‌بندی در شکل ۵ ارائه شده است. ملاحظه می‌شود که با افزایش بسامد ارتعاشی، درجه خلوص در هر سه شیب غربال افزایش یافته است. این افزایش در شیب‌های بالاتر غربال‌ها بیش‌تر است. در بسامد ارتعاشی ۲/۶۶ هرتز، درجه خلوص در شیب‌های ۱۰ و ۸ درجه، تفاوت چندانی با یک‌دیگر نداشتند. ولی در شیب ۶ درجه، درجه خلوص به شدت کاهش یافته است. با توجه به اینکه درجه خلوص در کاربرد شیب ۸ و ۱۰ درجه غربال‌ها، در محدوده استانداردهای جهانی، یعنی بالاتر از ۹۰ درصد است، بنابراین بهترین تیمار در این مطالعه همان ۱۰ درجه انتخاب می‌شود. از آنجا که پیاز رقم قرمز آذرشهر، در شیب بیشتر از ۱۲ درجه، غلتش خود به خود دارد، در نتیجه، برای جلوگیری از غیرقابل پایش بودن غلتش پیاز، روی صفحه گالوانیزه، بهتر است شیب غربال‌ها بیش از ۱۲ درجه نباشد.

از ماشین‌های اندازه‌بند مشابه با سازوکار غربال‌های رفت و برگشتی می‌توان به ماشین اندازه‌بندی پیاز ساخته شده توسط Gayathri *et al.* (2016) اشاره کرد. این ماشین در شیب ۴ درجه و بسامد ارتعاشی ۱/۶۶ هرتز، دارای درجه خلوص ۷۸ درصد بود. بنابراین دلیل پایین بودن درجه خلوص نسبت به تحقیق حاضر، شاید استفاده از شیب کم‌تر غربال و نیز بسامد پایین آنها بود. اندازه‌بندهای دیگری نیز برای اندازه‌بندی پیاز ساخته شده است که می‌توان به ماشین ارائه شده توسط Vijay Anand *et al.* (2009) اشاره کرد. این ماشین از نوع تسمه نقاله مشبک بی‌انتها است که با ظرفیت ۲/۴ تن در ساعت، درجه

جدول ۲- جدول تجزیه واریانس اثر بسامد ارتعاش و شیب غربال‌ها روی شاخص‌های کیفی اندازه‌بندی

میانگین مربعات		درجه آزادی	منابع تغییر
درجه آلودگی	درجه خلوص		
۲/۷۳۶ ^{ns}	۲/۷۸۱ ^{ns}	۲	تکرار
۳۰/۱۲۳ ^{xx}	۲۹/۹۲۵ ^{xx}	۲	شیب غربال‌ها
۷۵/۹۸۸ ^{xx}	۷۶/۲۴۳ ^{xx}	۲	بسامد ارتعاش
۳/۰۰۳ ^{xx}	۲/۹۵ ^{xx}	۴	اثر متقابل شیب غربال و بسامد ارتعاشی
۲/۲۹۷ ^{ns}	۰/۲۹۸ ^{ns}	۱۶	خطای آزمایش
۵/۶۸	۰/۶۰		ضریب تغییرات (%)

xx بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ns بیان‌گر عدم وجود اختلاف معنی‌دار است.

جدول ۳- مقایسه میانگین شاخص‌های درجه خلوص و آلودگی در سطوح مختلف سرعت ارتعاشی غربال‌ها

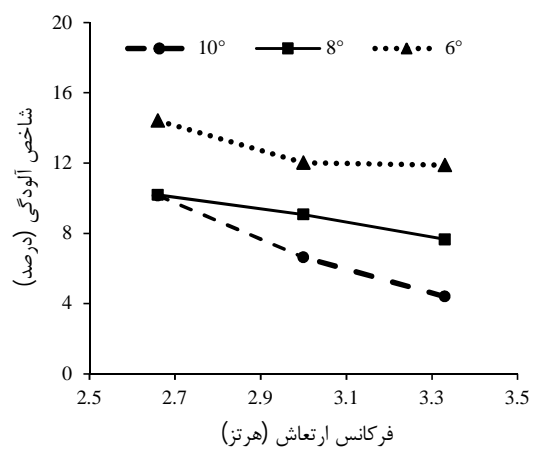
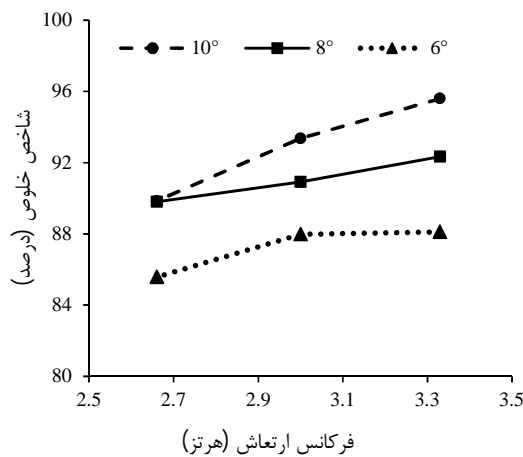
بسامد ارتعاشی غربال‌ها (Hz)	درجه خلوص (%)	درجه آلودگی (%)
۳/۳۳	۹۲/۰۳ ^a	۷/۹۸ ^c
۳	۹۰/۷۵ ^b	۹/۲۵ ^b
۲/۶۶	۸۸/۴۳ ^c	۱۱/۵۹ ^a

حروف متفاوت نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ است.

جدول ۴- مقایسه میانگین شاخص‌های درجه خلوص و آلودگی در سطوح مختلف شیب غربال‌ها

شیب غربال‌ها (درجه)	درجه خلوص (%)	درجه آلودگی (%)
۱۰	۹۲/۹۵ ^a	۷/۰۶۳ ^b
۸	۹۱/۰۲ ^b	۸/۹۸۲ ^b
۶	۸۷/۲۳ ^c	۱۲/۷۷ ^a

حروف متفاوت نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ است.



شکل ۵- تأثیر بسامد ارتعاش بر درجه خلوص و آلودگی اندازه‌بندی پیاز و در شیب‌های مختلف غربال

امکان بروز صدمات در هر درجه تا ۲ درصد محصول کم‌تر است. ولی ذکر این نکته حائز اهمیت است که در برخی استانداردها مانند استاندارد ۱۹۸۳ استرالیا و استاندارد کشورهای جنوب‌شرق آسیا، اعلام می‌دارند که بسته‌های پیاز اندازه‌بندی شده، باید عاری از هرگونه آسیب مکانیکی باشند که به نظر می‌رسد ماشین طرح حاضر می‌تواند استانداردهای مذکور را نیز بگذراند.

با توجه به نتایج فوق و در مقایسه با ماشین ساخته شده توسط (Abd El-Rahman (2011) که میزان صدمات مکانیکی محصول در آن ۴/۶۶ درصد بود، این ماشین عملکرد بهتری داشته است. حتی در صورت بالا بودن شاخص‌های اندازه‌بندی مانند درجه خلوص و بازده، اگر صدمات مکانیکی وارد شده به محصول در حین عملیات اندازه‌بندی بالاتر از استانداردهای ملی و بین‌المللی باشد،

صدمات وارد شده بر پیاز طی فرآیند اندازه‌بندی

در اکثر استانداردهای جهانی، صدمات مکانیکی وارد شده به محصول ناشی از عملیات اندازه‌بندی را در هر درجه، حداکثر ۲ درصد در نظر می‌گیرند. نتایج نشان داد، هیچ‌کدام از پیازها دچار آسیب مکانیکی نشدند و میزان صدمات وارد شده بر پیازها در حد صفر درصد بود. در نتیجه، عملکرد این ماشین بدون آسیب مکانیکی ظاهری اعم از بریدگی، له‌شدگی و قطع‌شدگی گزارش گردید و این به دلیل انتخاب صحیح سازوکار و نوع طراحی ماشین بود؛ چرا که میزان صدمات وارد شده به محصولات مختلف در حین اندازه‌بندی، غالباً تابعی از ساختار ماشین و نوع طراحی آن است. البته به دلیل ساختار ریخت‌شناسی محصول پیاز، احتمال آسیب‌دیدگی مکانیکی و ظاهری این محصول در فرآیندهای اندازه‌بندی پایین است و

بیش‌ترین درجه خلوص و بازده اندازه‌بندی به ترتیب برابر با ۹۵/۶ درصد و ۹۲/۳۴ درصد است. توان لازم برای راه-اندازی ماشین توسط یک موتور ۲ اسب بخار و برق سه فاز تأمین می‌شود. طول ماشین در حدود ۲/۳ متر و جرم تقریبی آن در حدود ۲۵۰ کیلوگرم است که قادر است محصول پیاز را به سه درجه اندازه‌بندی کند. سامانه اندازه‌بندی این ماشین، از نوع غربال‌های ارتعاشی، بدون وارد کردن هرگونه آسیب مکانیکی ظاهری به محصول است. بیش‌ترین میزان درجه خلوص و کم‌ترین درجه آلودگی در این ماشین در بسامد ارتعاشی ۳/۳۳ هرتز و شیب ۱۰ درجه غربال‌ها به دست آمد که مقادیر آن‌ها به ترتیب ۹۵/۶ درصد و ۴/۴ درصد است. در این حالت بازده اندازه‌بندی در حدود ۹۲ درصد به دست آمد.

منابع

- Abd El-Rahman, M. M. (2011). Development and Performance Evaluation of a Simple Grading Machine Suitable for Onion Sets. *Journal of Soil Science and Agriculture Engineering*, 2: 213-226.
- Alizadeh, B. (2018). Design and Construction Method of Mechanical Sorting Machine for Onion. MS.c. Thesis, Department of Biosystems Engineering, University of Tabriz (In Persian).
- Anonymous. (2019). *ITC calculations based on UN COMTRADE and ITC statistics*. International Trade Center. pp. 1-7
- Anonymous. (2022). *Agricultural Statistics*. Publications of the General Directorate of Statistics and Information of the Ministry of Jihad Agriculture (In Persian).
- Bahnasawy A. H., & Mostafa, H. M. (2009). Development of affordable machine for sizing Egyptian onion. *Agricultural Engineering International CIGR*. Vol: XI.
- Beranki, S. (2015). Optimization of design, fabrication and evaluation of apple mechanical sorting machine. MS.c. Thesis, Department of Biosystems Engineering, University of Tabriz (In Persian).
- Gayathri, G., Harshanjali, K. V., Rupavathi, K., Vijay Kumar, D., Senthil Kumaran, G., Carlin Rathin Kumari, A., & Ramana, M. V. (2016). Design, development and evaluation of a manually operated onion grader for Rose onion. *International Journal of Agricultural Engineering*, 9: 121-129.
- Gunathilake, D.M.C.C., Wasala, W.M.C.B., & Palipane, K.B. (2016). Design, development

ماشین کارایی خود را از دست داده و مورد اقبال کشاورزان و تولیدکنندگان قرار نخواهد گرفت. بنابراین شرط عدم اعمال صدمات مکانیکی به محصول از طرف ماشین، شرط لازم برای کاربرد ماشین است. در مطالعات دیگر مانند تحقیق (Gayathri et al. (2016 که از سازوکار مشابه برای اندازه‌بندی پیاز استفاده کرده بودند، گزارشی از میزان صدمات وارد شده به محصول حین اندازه‌بندی ارائه نشده است.

تطبیق شاخص‌های ارزیابی با استانداردهای جهانی

با توجه به تفاسیر فوق، پیازهای اندازه‌بندی شده در ماشین اندازه‌بند مکانیکی طراحی و ساخته شده توسط تیم تحقیقاتی حاضر، قابلیت صادرات به کشورهای اروپایی و آمریکا را دارا است. با توجه به نتایج حاصل، بهترین تیمار برای ماشین اندازه‌بند مکانیکی پیاز، بسامد ارتعاشی ۳/۳۳ هرتز و شیب ۱۰ درجه، با شاخص خلوص ۹۵/۶۰ درصد است. همچنین بازده ماشین ۹۲/۳۴ درصد بود و عملیات اندازه‌بندی بدون آسیب مکانیکی وارد شده بر محصول انجام شد. طبق نتایج فوق، محدوده قطر پیازهای اندازه‌بندی شده با این ماشین با استاندارد ASEAN ۵۱/۲۸۳۶ ایالات متحده (USDA) و استاندارد 23:2011 کشورهای جنوب شرق آسیا تطابق کامل دارند. همچنین با استاندارد FFV-25 سازمان ملل متحد، استاندارد OECD و استاندارد بسته‌بندی و اندازه‌بندی شماره ۱۹۸۳ استرالیا نیز دارای هم‌پوشانی کامل است. شاخص درجه خلوص در هر بسته، در تمامی استانداردهای بین‌المللی ۹۰ درصد است. به بیان دیگر، در هر بسته پیاز، از هر ۱۰۰ پیاز، حداقل ۹۰ عدد پیاز، باید در محدوده صحیح قطری باشند که از این نظر، ماشین اندازه‌بندی مکانیکی ساخته شده می‌تواند این استاندارد را تأمین کند. در نهایت، ماشین مورد نظر بدون هیچ‌گونه آسیب مکانیکی ظاهری، در بالاترین ظرفیت خود یعنی ۱۲۰۰ کیلوگرم در ساعت و در شدیدترین تنظیمات کاری نیز با استانداردهای معتبر جهانی تطابق کامل دارد.

نتیجه‌گیری

ماشین اندازه‌بند مکانیکی ساخته شده دارای ظرفیت اسمی ۱/۲ تن در ساعت پیاز بود و در این ظرفیت دارای

- and evaluation of a size grading machine for onion. *Procedia Food Science*, 6: 103-107.
- Jarimpos, B., Toomsaengtong, S., & Inparasit, C. (2007). Design and testing of a mangosteen fruit sizing machine. *Journal of Food Engineering*, 79(3): 745-751.
- Kermani, A. M., & Kouravand, Sh. (2016). Design, construction and evaluation of a sizing machine for hazelnuts. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 47(2): 375-381 (In Persian).
- Lotfi, S. (2010). Investigating the performance of the onion chain in East Azarbaijan province. MS.c. Thesis, Department of Agricultural Economics, Payam Noor University. (In Persian).
- Nalbandi, H., Seiedlou S., Beranki, S., Farzand Ahmadi, V. (2020). Evaluation of Sorting Machine of Horticultural Products from the View Point of Machine Performance and Mechanical Damage of Fruit. *Journal of Machination Agriculture*, 5 (1): 43-53. (In Persian).
- Nazer, A. (2012). Design and fabrication of Apple mechanical sorting machine. MS.c. Thesis, Department of Biosystems Engineering, University of Tabriz (In Persian).
- Saravacos, G., & Kostaropoulos, E. (2016). *Handbook of Food Processing Equipment*, Second Edition. pp: 233-247.
- Seiedlou, S. (2012). *Engineering of agricultural equipment processing equipment*. Course notes. University of Tabriz (In Persian).
- Tabatabae Kloor, R. & Hashemi, J. (2008). Development and evaluation of citrus sorting machine with rotary semi-conical disc. *Journal of Agriculture Machinery Science*, 4(4): 371-374.
- Vijay Anand, U., Balakrishnan, A., & Ranjan Mishra, M. (2009). *Design and Development of Onion Sorting Machine*. Book of Abstracts, 10:355-359.