

طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه اندازه‌بند غلتکی واگرا برای مغز بادام

داود قنبریان^{۱*} - علی قربانی مرغملکی^۲ - محمد علی قضاوی^۳ - شاهین بشارتی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۷/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۰۵

چکیده

مغز بادام جزء آن دسته از محصولاتی است که پیش از صادرات بایستی به‌طور صحیح اندازه‌بندی شود. در این تحقیق طراحی، ساخت و ارزیابی یک دستگاه اندازه‌بندی برای مغز بادام ارائه شده است. مکانیزم مورد استفاده از یک جفت غلتک واگرا با شیب و فاصله قابل تنظیم تشکیل شده است که مغز بادام‌ها را بر مبنای ضخامت آنها به سه دسته ریز (ضخامت کمتر از ۶ میلی‌متر)، متوسط (ضخامت بین ۶ تا ۷ میلی‌متر) و درشت (ضخامت‌های بیشتر از ۷ میلی‌متر) اندازه‌بندی می‌کند. برای ارزیابی عملکرد دستگاه از سه شاخص استاندارد شامل متوسط ناخالصی نسبی (C_R)، بازده یا دقت وزنی جداسازی (E_w) و ظرفیت کاری (Q) استفاده شد. آزمایشات عملی نشان‌دهنده تأثیر پارامترهای دبی تغذیه، شیب غلتک‌ها و سرعت دورانی آنها بر عملکرد دستگاه بود. به‌منظور ارزیابی دستگاه، از آزمایش فاکتوریل سه فاکتوره، در قالب یک طرح کاملاً تصادفی و سه تکرار برای هر آزمایش، جهت تعیین میزان و نحوه تأثیر عوامل مؤثر روی عملکرد دستگاه، استفاده شد. نتایج نشان داد که بهترین عملکرد دستگاه در دبی تغذیه $1000 \text{ kg } 8\text{h}^{-1}$ ، شیب ۹ درجه و سرعت 110 rpm با متوسط ناخالصی ۲۳٪، بازده وزنی جداسازی ۸۰٪ و ظرفیت کاری ۸۳۰ کیلوگرم در یک شیفت کاری ۸ ساعته به‌دست می‌آید.

واژه‌های کلیدی: اندازه‌بند غلتکی، اندازه‌بندی، درجه‌بندی، طراحی و ساخت، مغز بادام

مقدمه

جهانی، مغزهای با اندازه درشت‌تر و کیفیت بالاتر و نیز از نظر ظاهری شکل‌تر، دارای قیمت بیشتری هستند. متأسفانه با وجود تولید انبوه این محصول استراتژیک کشاورزی، به‌دلیل وجود ضعف در صنعت درجه‌بندی و بسته‌بندی، کشور ایران هنوز نتوانسته است به جایگاه شایسته خود در عرصه جهانی دست پیدا کند (Yazdani et al., 2006).

دستگاه‌هایی که به‌طور مرسوم برای درجه‌بندی محصولات کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند به دو نوع وزنی و ابعادی قابل تقسیم‌بندی هستند. موارد استفاده از درجه‌بندهای وزنی به‌دلیل هزینه‌های زیاد و پیچیدگی عملیات معدود است (Peleg, 1985; Farahmand et al., 2007; Molla-Gholamzade et al., 2012). به‌همین دلیل استفاده از درجه‌بندهای ابعادی یا اندازه‌بندها به‌عنوان یک روش اقتصادی در طراحی سیستم‌های اندازه‌بندی اکثر محصولات کشاورزی از جمله مغز بادام مورد توجه قرار گرفته است. در سال‌های اخیر دستگاه‌های متعددی برای اندازه‌بندی محصولاتی چون لیمو، سیب، پرتقال، سیب زمینی، نارنگی و منگوستین^۶ ساخته شده است که در آنها، طراحی دستگاه با توجه به شکل ظاهری محصول و خواص فیزیکی آن انجام شده است (Jarimopas et al., 2007; Farahmand et al., 2007; Tabatabaee-koloor and Hashemi, 2007; Ghanbarian et al., 2008; Molla-

کشور ایران علی‌رغم همه پتانسیل‌ها و زمینه‌های خدادادی موجود، در خصوص ارائه محصولات کشاورزی با کیفیت، پیشرفت آنچنانی نداشته و قریب به اتفاق محصولات کشاورزی آن به‌صورت فله‌ای و درجه‌بندی نشده وارد بازار مصرف می‌شود (Shadan and Mihan-khah, 2007). ایران به روایت آمار و گزارش‌های سازمان خواروبار جهانی^۵، سومین تولیدکننده عمده بادام پس از آمریکا و اسپانیا محسوب می‌شود (FAO, 2010). این محصول، با سطح زیر کشتی در حدود ۲۳۰ هزار هکتار، شامل ۱۵۰ هزار هکتار آبی و ۸۰ هزار هکتار دیم (Iran Agricultural Statistics Book, 2011)، یکی از مهم‌ترین محصولات باغی است که علاوه بر مصرف داخلی، همه ساله مقداری از آن به خارج از کشور صادر می‌شود. در بازار

۱- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
(*) نویسنده مسئول: (Email: dghanbarian@yahoo.com)

۲- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۳- استادیار بازنشسته گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد

۴- مربی گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

5- Food and Agriculture Organization (FAO)

6- Mangosteen

اندازه‌بندی مغز بادام، بعد ضخامت آن است. بر این اساس، از میان انواع مختلف مکانیزم‌های موجود، مناسب‌ترین مکانیزم برای اندازه‌بندی مغز بادام، مکانیزم اندازه‌بند غلتکی واگرا شناسایی و انتخاب گردید. برای ساخت غلتک‌ها از لوله‌های فولادی به طول ۷۰۰ و قطر ۹۵ میلی‌متر استفاده شد. شاسی دستگاه در ابعاد ۱۲۰۰×۱۰۰۰×۵۰۰ میلی‌متر ساخته شد. شکل ۱ دستگاه اندازه‌بند غلتکی ساخته شده و قسمت‌های مختلف آن را نشان می‌دهد. نحوه کار دستگاه به این صورت است که مغز بادام‌ها از داخل مخزن بر روی غلتک‌های واگرای دستگاه ریخته شده و در اثر حرکت دورانی غلتک‌ها و نیز شیبی که برای دستگاه در نظر گرفته شده، بر روی سطح غلتک‌ها شروع به لغزش می‌نمایند و بالا جبار با بعد ضخامت خود در معرض عبور از فاصله بین غلتک‌ها (گذرگاه اندازه‌بندی) قرار می‌گیرند.

شاسی میانی و مکانیزم تنظیم شیب غلتک‌ها: برای

فراهم آوردن امکان موقعیت‌گیری واحد اندازه‌بندی در زوایای دلخواه نسبت به افق، از یک شاسی میانی استفاده شد. این شاسی توسط یک مکانیزم لولایی به شاسی اصلی متصل و از سوی دیگر به یک مکانیزم پیچ و مهره‌ای، برای تغییر ارتفاع مجهز شده است (شکل ۲). دلیل استفاده از شاسی میانی، جدا کردن قسمت اندازه‌بندی مغز بادام از بدنه بیرونی دستگاه است تا به این وسیله بتوان شیب مورد نیاز برای جریان یافتن مغزها در طول غلتک‌های در حال چرخش و جلوگیری از تجمع آنها در قسمت اولیه غلتک‌ها حین اندازه‌بندی را صرفاً در واحد اندازه‌بندی فراهم نمود.

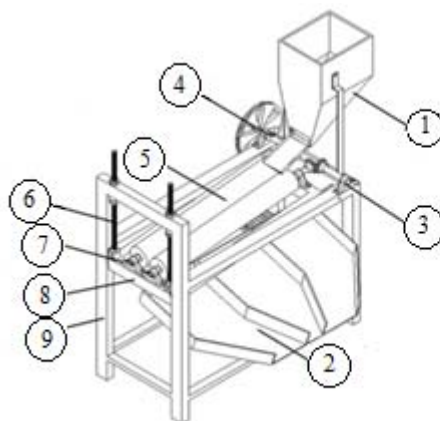
(Gholamzade *et al.*, 2012). مطالعات و بررسی‌های میدانی انجام شده در سطح استان چهارمحال و بختیاری و سایر استان‌های بادام‌خیز کشور مانند همدان و فارس، نشان می‌دهد که اندازه‌بندهای ارتعاشی مورد استفاده در کارگاه‌های مستقر در این مناطق غالباً قدیمی بوده و یا به صورت تجربی توسط صنعتگران بومی طراحی شده‌اند. قیمت اولیه بالا، حجم بزرگ، تولید سر و صدا و گرد و غبار حین کار و مصرف بالای انرژی دستگاه‌های اندازه‌بند ارتعاشی موجود در سطح بازار، منجر به استفاده بسیار اندک از این دستگاه‌ها و میل به روش‌های سنتی و دستی در اندازه‌بندی مغز بادام گردیده است که با توجه به حجم انبوه تولید بادام ایران، پاسخگوی نیازهای موجود بازار نیست. لذا بهینه‌سازی دستگاه‌های موجود یا استفاده از دستگاه‌های جدیدی که قابلیت پاسخگویی به این حجم انبوه تولید را داشته باشند از نیازهای اساسی صنعت کشاورزی کشور محسوب می‌شود. بر این اساس هدف از این تحقیق، طراحی، ساخت و ارزیابی نوع جدیدی از دستگاه اندازه‌بند مغز بادام است.

مواد و روش‌ها

الف) طراحی و ساخت دستگاه

ملاحظات طراحی و ساخت: دستگاه مورد نظر بایستی

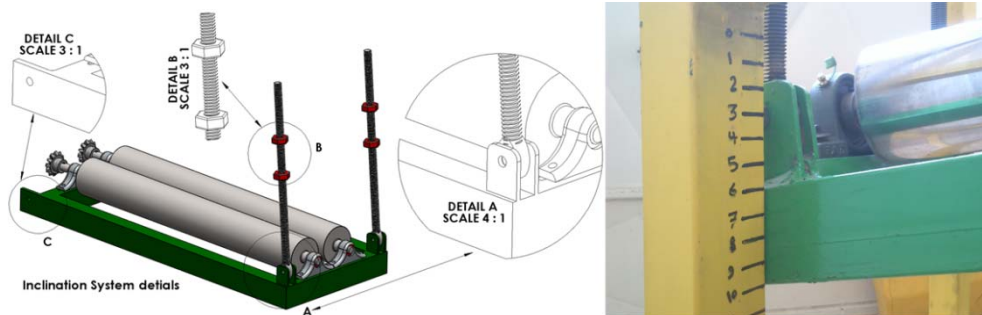
به گونه‌ای ساخته شود که تا حد ممکن معایب دستگاه‌های موجود را حذف نموده و یا آنها را به حداقل برساند. به این معنا که ضمن برخورداری از هزینه‌های کمتر در ساخت، نگهداری و تعمیرات، صدمات مکانیکی وارده به محصول را به حداقل ممکن رسانده و بر مشکل تولید سر و صدا و گرد و غبار حین کار نیز فائق آید. نتایج آزمایشات انجام گرفته قبلی نشان می‌دهد که مناسب‌ترین بعد برای



شکل ۱- دستگاه اندازه‌بند غلتکی ساخته شده و قسمت‌های مختلف آن: (۱) مخزن، (۲) سینی جمع‌آوری محصول، (۳) یاتاقان واحد انتقال قدرت،

(۴) پولی، (۵) غلتک‌های واگرای اندازه‌بند، (۶) پیچ‌های تنظیم شیب، (۷) یاتاقان‌های واحد اندازه‌بندی، (۸) شاسی میانی، (۹) شاسی اصلی

Fig.1. The roller sizer and its details: (1) Feed hopper, (2) Receiving tray, (3) Bearing of power transmission system, (4) Pully, (5) Sizing rollers, (6) Slope screw, (7) Bearing of sizing system, (8) Intermediate frame, (9) Main fram

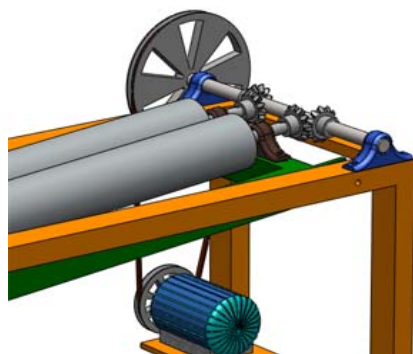


شکل ۲- شاسی میانی و مکانیزم تنظیم شیب واحد اندازه‌بندی

Fig.2. Intermediate fram and slope regulating mechanism of sizing unit

دورانی مجاز خود بایستی دو دور کامل را طی کنند و با توجه به اینکه بیشترین گشتاور مقاوم هنگام راه‌اندازی و شروع حرکت دستگاه، به موتور وارد می‌شود محاسبه و تعیین شدند. لازم به ذکر است که حداکثر سرعت دورانی مجاز غلتک‌ها با توجه به آزمایشات اولیه ۱۲۵ دور بر دقیقه در نظر گرفته شد زیرا در سرعت‌های دورانی بیشتر از این مقدار مغز بادام‌ها به خارج از دستگاه پرتاب می‌شدند. پس از انجام محاسبات مربوطه و با پیش‌بینی چهار واحد اندازه‌بندی شامل هشت عدد غلتک برای ساخت دستگاه، توان مورد نیاز با استفاده از رابطه (۱) برابر ۷۴ وات محاسبه شد.

سیستم انتقال قدرت: برای انتقال توان الکتروموتور به غلتک‌ها از دو سیستم انتقال توان تسمه و پولی و نیز چرخ‌دنده‌های مخروطی استفاده شد. توان موتور از طریق تسمه و پولی به شافت قدرت که چرخ‌دنده‌های مخروطی بر روی آن نصب شده‌اند انتقال می‌یابد و سپس این توان با تغییر جهت به‌وسیله دو جفت چرخ‌دنده مخروطی نشان داده شده در شکل ۳ به هر یک از غلتک‌ها می‌رسد.



شکل ۳- واحد انتقال قدرت

Fig.3. Power transmtion unit

طبق رابطه (۴) پارامترهای مهم در انتخاب تسمه و پولی برای این سیستم شامل قطر پولی‌ها، نوع تسمه، زاویه تماس تسمه و پولی و فاصله بین مراکز پولی‌ها است.

انتخاب منبع تأمین توان: به‌منظور تأمین توان دستگاه از یک موتور الکتریکی استفاده شد. توان الکتروموتور باید به اندازه‌ای باشد که بتواند گشتاور لازم برای به حرکت در آوردن قسمت‌های مختلف دستگاه شامل غلتک‌ها، شافت انتقال قدرت، و پولی‌ها را تأمین نماید. برای این منظور در ابتدا گشتاور راه‌اندازی هر یک از اجزا موجود در مسیر انتقال قدرت محاسبه گردید. سپس با لحاظ کردن ضریب اطمینانی که کار موتور را در شرایط پیش‌بینی نشده تضمین نماید، توان موتور مورد نیاز با توجه به رابطه (۱) محاسبه شد (Shadravan, 2006).

$$P = \frac{\pi n T}{3} \times 10^{-4} \quad (1)$$

که در آن:

P- توان موتور (kW)

n- سرعت دورانی چرخش مورد نیاز موتور (rpm) و

T- گشتاور مورد نیاز برای راه‌اندازی دستگاه (N.m) می‌باشند.

گشتاور دستگاه مرکب از گشتاور لازم برای دوران غلتک‌ها به‌علاوه گشتاور تمامی اجزای انتقال قدرت است که به‌کمک روابط (۲) و (۳) به‌دست می‌آید. لازم به‌ذکر است به‌دلیل اندک بودن جرم مغز بادام‌ها در مقایسه با جرم سایر قسمت‌ها، از گشتاور مقاوم مربوط به آنها صرف‌نظر شد.

$$T_{total} = \sum_{i=1}^k T_i = \sum_{i=1}^k I_i \times \alpha_i \quad (2)$$

$$I_i = \frac{1}{2} \times m_i \times r_i^2 \quad (3)$$

که در این روابط:

T_i - گشتاور عضو i ام (N.m)

I_i - ممان اینرسی جرمی عضو i ام حول محور دوران آن (kgm^2)

α_i - شتاب زاویه‌ای عضو i ام (rad S^{-2})

m_i - جرم عضو i ام مجموعه (kg)

r_i - شعاع یا شعاع معادل عضو i ام (m)، می‌باشد.

شتاب‌های زاویه‌ای هر یک از اعضاء در رابطه (۲)، با در نظر گرفتن این موضوع که غلتک‌ها برای رسیدن به حداکثر سرعت

تسمه، C (فاصله بین مراکز دو پولی) برابر ۴۰۷ میلی‌متر یا تقریباً ۴۱ سانتی‌متر به دست آمد. شکل ۴ برخی از ابعاد و اندازه‌های قسمت‌های مختلف دستگاه اندازه‌بند غلتکی مغز بادام ساخته شده را نشان می‌دهد.

ب) ارزیابی دستگاه

به منظور ارزیابی دستگاه اندازه‌بند غلتکی ساخته شده از یک آزمایش فاکتوریل سه فاکتوره، در قالب یک طرح کاملاً تصادفی و سه تکرار برای هر آزمایش، جهت تعیین میزان و نحوه تأثیر عوامل مؤثر روی عملکرد دستگاه، استفاده شد. عوامل مؤثر در عملکرد دستگاه عبارت بودند از: شیب استقرار غلتک‌های واحد اندازه‌بندی، میزان و نحوه تغذیه دستگاه و سرعت دوران غلتک‌ها.

آزمایشات اولیه نشان داد که در شیب‌های کمتر از ۲ درجه مغزها قادر به حرکت با سرعت کافی روی غلتک‌ها نبوده و ظرفیت کاری دستگاه نیز بسیار کم می‌باشد. در شیب‌های بالاتر از ۱۲ درجه نیز مغزها به علت سرعت زیاد درست اندازه‌بندی نشده و به بیرون از دستگاه پرتاب می‌شدند. لذا محدوده شیب غلتک‌ها در سه سطح ۲، ۷ و ۱۲ درجه انتخاب گردید.

برای تعیین میزان تغذیه دستگاه دو عامل مورد توجه قرار گرفت:

۱- ظرفیت کاری دستگاه‌های در حال استفاده در سطح استان چهارمحال و بختیاری، به منظور ایجاد قابلیت مقایسه بین دستگاه ساخته شده و دستگاه‌های موجود و ۲- حدود تحمل دستگاه. بر این اساس با توجه به بیشترین میزان کیل‌دهی ارقام مختلف مغز بادام که چیزی در حدود یک سوم می‌باشد، ظرفیت کار دستگاه‌های موجود در بازار حدود ۷۳۰ کیلوگرم مغز در روز (در یک شیفت کاری ۸ ساعته) تعیین شد.

$$L = [4C^2 - (D - d)^2]^{1/2} + \frac{1}{2}(D \times \alpha_D + d \times \alpha_d) \quad (4)$$

که در این رابطه:

L- طول تسمه (mm)

D- قطر پولی بزرگ (mm)

d- قطر پولی کوچک (mm)

C- فاصله بین مراکز پولی‌ها (mm)

γ - زاویه تمایل تسمه و پولی (rad)

α_d - زاویه تماس تسمه و پولی در پولی محرک (rad)

α_D - زاویه تماس تسمه و پولی در پولی متحرک (rad)

با توجه به توان مورد نیاز برای راه‌اندازی دستگاه، حداقل قطر برای پولی‌های کوچک و بزرگ، طبق رابطه (۵)، به ترتیب برابر ۱۶۷ و ۲۲۶ میلی‌متر به دست آمد و با توجه به پولی‌های استاندارد موجود در سطح بازار، پولی موتور به قطر ۱۵۰ و پولی شافت قدرت به قطر ۲۵۰ میلی‌متر انتخاب گردید.

$$D = \left(\frac{P}{n}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (5)$$

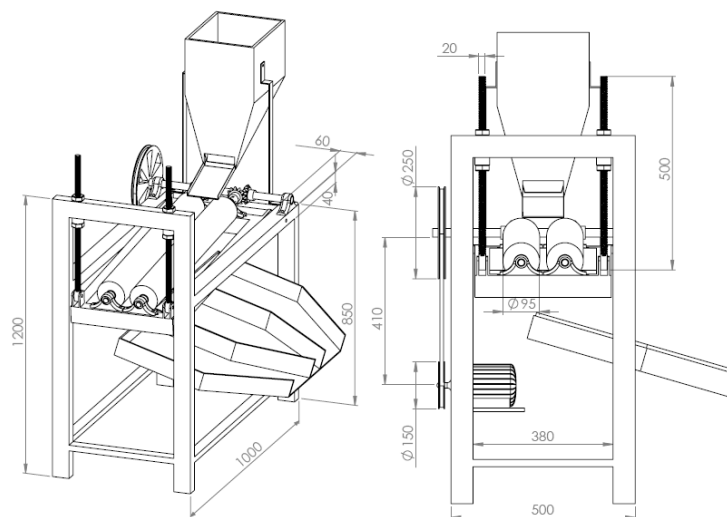
که در این رابطه:

D- قطر پولی (بزرگ یا کوچک) (m)

n- سرعت دوران پولی (بزرگ یا کوچک) (rpm)

P- توان موتور (hp)

با انجام محاسبات لازم طول تسمه برابر ۱۴۳۴mm به دست آمد. با مشخص شدن طول تقریبی تسمه می‌بایستی فاصله بین مراکز دو پولی را طوری در نظر گرفت که با توجه به طول‌های استاندارد، تسمه‌ای در محدوده طول تقریبی به دست آمده برای آن، در بازار موجود باشد. لذا با توجه به طول تقریبی ۱۴۳۴ میلی‌متر و مراجعه به جدول یاد شده، نزدیک‌ترین تسمه، تسمه ۷ شکل نوع A، با طول استاندارد ۵۷ اینچ (برابر ۱۴۴۸ میلی‌متر) انتخاب شد. با توجه به طول



شکل ۴- ابعاد و اندازه‌های قسمت‌های مختلف دستگاه اندازه‌بند غلتکی مغز بادام

Fig.4. Dimensions of various parts of roller sizer for almond kernel

P_{gi} - نسبت درست درجه‌بندی شده محصول در دسته i ام

P_i - نسبت خلوص محصول i در مخزن و

K_i - ارزش نسبی دسته i ام

نتایج حاصل از آزمایشات به کمک نرم افزارهای SPSS و MSTATC تحلیل و برای آزمون‌های مقایسه میانگین، از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده گردید.

ج) نتایج و بحث

جدول شماره ۱ نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های ارزیابی دستگاه اندازه‌بند غلتکی مغز بادام را نشان می‌دهد. نتایج نشان‌دهنده آن است که اثرات هر سه فاکتور دبی تغذیه، شیب غلتک و سرعت دورانی غلتک بر هر سه شاخص ارزیابی شده دستگاه شامل متوسط ناخالصی نسبی، بازده وزنی جداسازی و ظرفیت کاری دستگاه کاملاً معنی‌دار بوده و تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ بین پارامترهای یاد شده وجود دارد. اثرات متقابل دبی تغذیه و شیب غلتک و دبی تغذیه و سرعت دورانی غلتک بر متوسط ناخالصی نسبی و بازده وزنی جداسازی معنی‌دار نیست در حالی که اثرات متقابل فاکتورهای یاد شده، بر روی ظرفیت کاری دستگاه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار است. همچنین از جدول پیداست که اثرات متقابل فاکتورهای شیب و سرعت دورانی غلتک بر روی هر سه شاخص ارزیابی متوسط ناخالصی نسبی، بازده وزنی جداسازی و ظرفیت کاری دستگاه، در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شده است. همان‌طور که از جدول ۱ مشخص است اثرات متقابل سه‌گانه دبی تغذیه، شیب غلتک و سرعت دورانی غلتک‌ها بر روی شاخص‌های ارزیابی متوسط ناخالصی نسبی و بازده وزنی جداسازی معنی‌دار نیست در حالی که تأثیر این فاکتور بر روی ظرفیت کاری دستگاه در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار است. در ادامه با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس به بررسی اثرات هر یک از فاکتورهای معنی‌دار شده بر روی شاخص‌های ارزیابی دستگاه پرداخته می‌شود.

شکل شماره ۵ تأثیر پارامتر شیب غلتک‌ها را بر روی سه شاخص متوسط ناخالصی نسبی، بازده وزنی جداسازی و ظرفیت کاری دستگاه نشان می‌دهد. همچنان که دیده می‌شود، افزایش شیب غلتک‌ها منجر به کاهش متوسط ناخالصی نسبی و افزایش بازده وزنی جداسازی و ظرفیت کاری دستگاه شده است. علت کاهش متوسط ناخالصی نسبی و افزایش بازده وزنی و ظرفیت جداسازی دستگاه با افزایش شیب را این‌گونه می‌توان توضیح داد که با افزایش شیب، به‌دلیل سُرش و غلتش آسان‌تر؛ مغزها در طول گذرگاه اندازه‌بندی سریع‌تر و راحت‌تر جابه‌جا شده و از روی هم افتادگی و تجمع ناگزیری که در ابتدای غلتک‌ها موجب از دست رفتن فرصت مناسب برای تماس با گذرگاه اندازه‌بندی و در نتیجه افزایش ناخالصی دستگاه می‌شود، کاسته می‌شود.

لذا با توجه به این مورد و بالاترین حد تحمل دستگاه ($140 \cdot \text{kg } 8\text{h}^{-1}$) که در دبی‌های تغذیه بالاتر از آن، دقت دستگاه به شدت کاهش یافته و مغزها به بیرون از دستگاه پرتاب می‌شدند، دبی تغذیه دستگاه در سه سطح ۶۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۴۰۰ کیلوگرم در ۸ ساعت انتخاب گردید. به‌منظور ایجاد شرایط واقعی کار توسط باغداران، تغذیه دستگاه به‌صورت دستی و با کنترل نمودن میزان خروجی مغز از مخزن، صورت گرفت. سرعت دورانی غلتک‌ها در سه سطح ۵۰، ۸۰ و ۱۱۰ دور در دقیقه انتخاب شد. در سرعت‌های کمتر از ۵۰ rpm، ظرفیت کاری دستگاه بسیار کم بود. ضمن اینکه در سرعت‌های بالاتر از ۱۱۰ rpm نیز باعث پرت شدن مغزها به بیرون از فضای بین غلتک‌ها می‌شد.

برای انجام آزمایش‌ها در ابتدا مقداری مغز بادام رقم سنگی در اختیار کارگران محلی قرار گرفته و عملیات اندازه‌بندی چشمی روی آنها در سه دسته ریز، متوسط و درشت انجام پذیرفت. به‌منظور تشخیص دسته‌های مختلف ریز، متوسط و درشت مغز بادام در طی آزمایشات، مغزهای هر دسته به‌صورت جداگانه مورد رنگ‌آمیزی قرار گرفتند. سپس مغزها درون ظرفی ریخته شده و از میان آنها نیم کیلوگرم مغز بادام به‌طور تصادفی برداشته شده و توسط یک ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۱ کیلوگرم وزن شدند. در طی انجام هر آزمایش، با توجه به سطوح تغذیه مشخص شده برای دستگاه، زمان ریخته شدن مغزها درون واحد اندازه‌بندی (غلتک‌ها) تعیین گردید و سعی شد تا مغزها به‌طور یکنواخت و با دقت زیاد و در طی یک زمان معین به درون دستگاه تغذیه گردد. هر آزمایش در سه تکرار انجام گرفته و فاصله زمانی بین ریخته شدن اولین مغز درون دستگاه تا سقوط آخرین مغز درون ظرف‌های تعبیه شده زیر دستگاه، با یک زمان‌سنج محاسبه و ثبت گردید. پس از پایان کار دستگاه، تعداد مغزهای درست و اشتباه اندازه شده‌ی هر دسته اندازه‌بندی (به تفکیک ریز، متوسط و درشت) مورد شمارش و ثبت قرار گرفت. به‌منظور ارزیابی دستگاه از سه شاخص استاندارد یعنی متوسط ناخالصی نسبی $[\bar{C}_R\%]$ ، بازده وزنی (ارزش دسته‌های مختلف) جداسازی $[E_W\%]$ و ظرفیت کاری دستگاه $[Q[\text{kg } 8\text{h}^{-1}]$ ، که به‌ترتیب با استفاده از روابط (۶) تا (۸) به‌دست می‌آیند استفاده گردید (Peleg, 1985).

$$\bar{C}_R[\%] = \frac{\sum_i N_{ci}}{\sum_i N_i} \quad (6)$$

$$E_W[\%] = \frac{\sum_i (P_{gi} P_i K_i)}{\sum_i (P_i K_i)} \quad (7)$$

$$Q[\text{kg } h^{-1}] = \frac{\text{جرم محصول ورودی}}{\text{زمان اندازه بندی}} \quad (8)$$

که در این روابط:

N_{ci} - تعداد مغزهایی که وارد دسته i ام شده‌اند در حالی که متعلق به دسته‌های دیگر بوده‌اند

N_i - تعداد مغزهای درست اندازه‌بندی شده دسته i ام

جدول ۱- تجزیه واریانس مربوط به عوامل اصلی و اثرات متقابل آنها بر شاخص‌های ارزیابی اندازه‌بند غلتکی

Table 1- ANOVA of main factors and their interaction effects on evaluation indexes of roller sizer

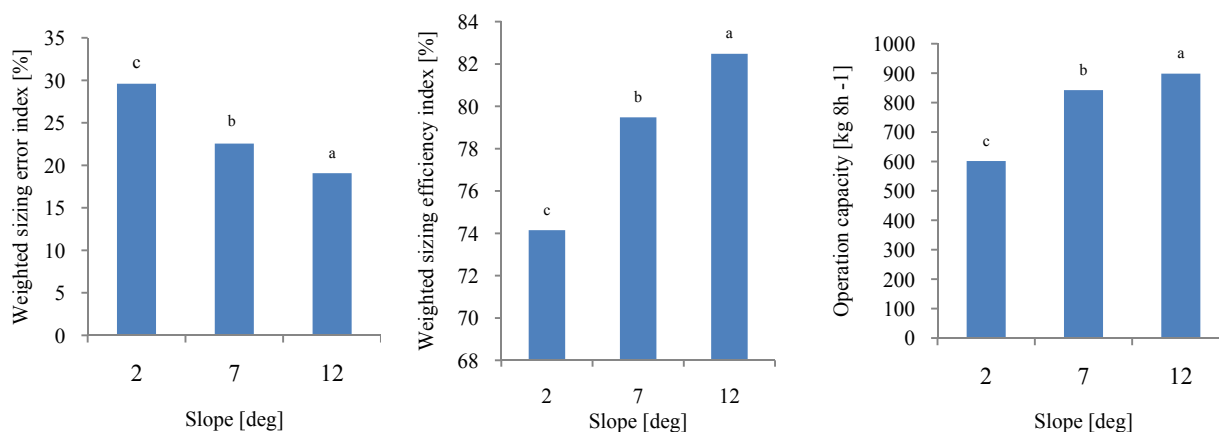
منابع تغییر Source	درجه آزادی d.f.	میانگین مربعات Mean of Squares		
		E _w [%]	Q [kg 8h ⁻¹]	
دبی تغذیه Feeding rate	2	456.44**	236.33**	1626974.17**
شیب غلتک Roller slope	2	775.26**	481.00**	671145.01**
سرعت دورانی غلتک Rotation speed of roller	2	302.37**	260.11**	90391.56**
شیب غلتک × دبی تغذیه Roller slope × Feeding rate	4	1.48 ^{ns}	6.78 ^{ns}	99889.09**
سرعت دورانی غلتک × دبی تغذیه Rotation speed of roller × Feeding rate	4	4.09 ^{ns}	1.78 ^{ns}	8994.42**
شیب غلتک × سرعت دورانی غلتک Roller slope × Rotation speed	4	20.63**	14.61**	14728/41**
شیب غلتک × دبی تغذیه × سرعت دورانی غلتک Slope × Rotation speed × Feeding rate	8	5.99 ^{ns}	4.17 ^{ns}	3853.95*
خطا Error	54			

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

** Significant at the level of 1% probability *Significant at the level of 5% probability ^{ns} None significant

انباشته شدن مغزها در قسمت ابتدایی غلتک‌ها - آزاد شده است. بنابراین در یک محدوده زمانی معین، با افزایش شیب، تعداد بیشتری از مغزها اندازه‌بندی شده‌اند و ظرفیت کاری دستگاه افزایش یافته است.

بنابراین تعداد بیشتری از مغزهای دسته‌های ریز و متوسط فرصت کافی را برای تماس با گذرگاه اندازه‌بندی پیدا کرده و از افتادن آنها به دسته‌های نامناسب جلوگیری شده است. بر این اساس فضا نیز سریع‌تر برای اندازه‌بندی شدن مغزهای جدید - بدون نگرانی از



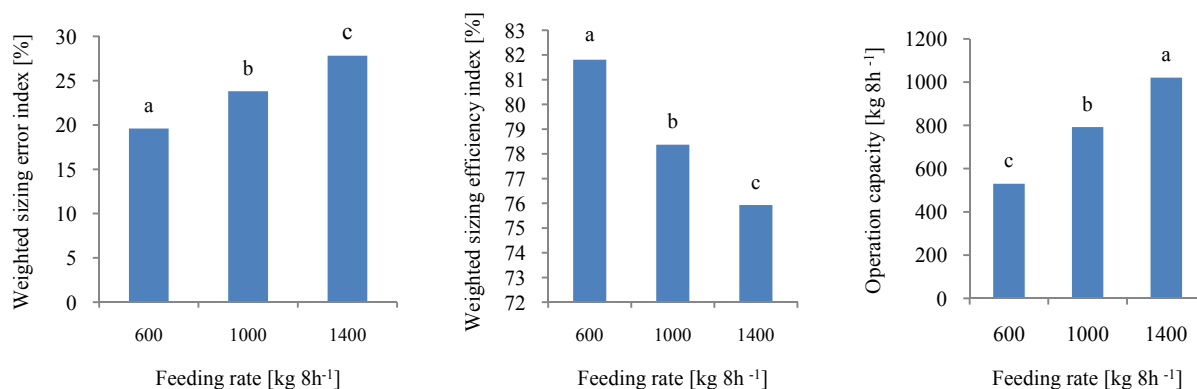
شکل ۵- نتایج مقایسه میانگین اثرات شیب غلتک بر شاخص‌های ارزیابی دستگاه

میانگین‌های با علامت یکسان در هر ستون در سطح ۱٪ تفاوت معنی‌دار ندارند. (آزمون چند دامنه‌ای دانکن)

Fig.5. Results of mean comparison of rollers slope effects on indexes of machine evaluation Means with the same symbol are not significantly different at 1% level according to Duncan's multiple range test.

به قسمت‌های جلوتر از محدوده مناسب خود برای اندازه‌بندی انتقال پیدا کرده و در دسته‌های اشتباه می‌ریزند که این امر موجب افزایش متوسط ناخالصی نسبی دستگاه با افزایش دبی تغذیه شده است. لازم به ذکر است هرچند که در دبی ۶۰۰ کیلوگرم بر ۸ ساعت، متوسط ناخالصی نسبی در کمترین میزان خود قرار دارد اما نمی‌توان این دبی را برای دستگاه انتخاب نمود چرا که در این صورت ظرفیت کاری دستگاه به‌هیچ وجه قابل مقایسه با دستگاه‌های موجود در سطح بازار نبوده و دستگاه عملاً قابلیت رقابت خود را از دست خواهد داد.

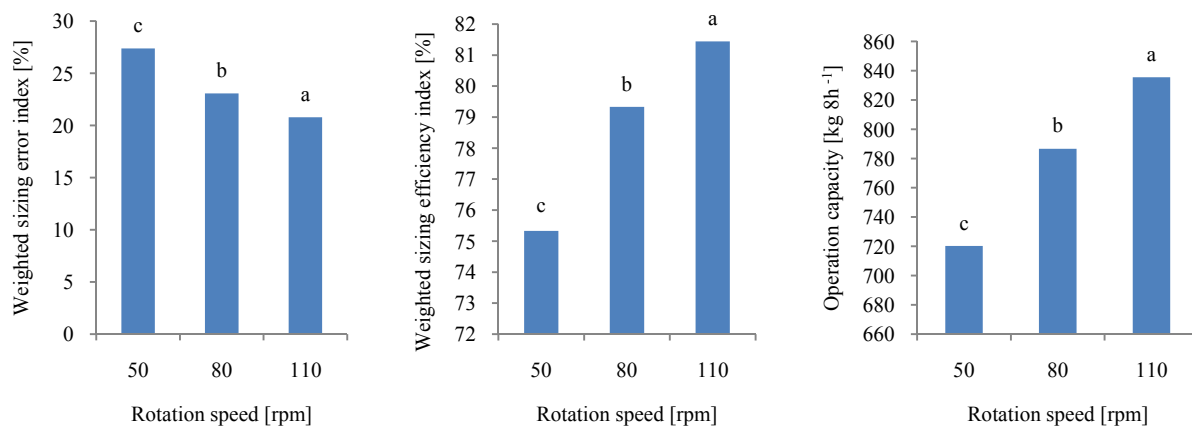
شکل ۶ تأثیر پارامتر دبی تغذیه را بر روی سه شاخص متوسط ناخالصی نسبی، بازده وزنی جداسازی و ظرفیت کاری دستگاه نشان می‌دهد. آنچنان که از نمودارهای این شکل مشخص است، افزایش دبی تغذیه منجر به افزایش متوسط ناخالصی نسبی و ظرفیت کاری دستگاه و کاهش بازده وزنی جداسازی آن شده است. علت افزایش متوسط ناخالصی نسبی؛ با افزایش دبی تغذیه را این‌گونه می‌توان توضیح داد که با افزایش دبی تغذیه، به‌علت افزایش روی هم افتادن مغزها در ابتدای غلتک‌ها، مغزهای گروه‌های ریز و متوسط نمی‌توانند به‌موقع با گذرگاه اندازه‌بندی تماس پیدا کنند و همراه با جریان مواد



شکل ۶- نتایج مقایسه میانگین اثرات دبی تغذیه بر شاخص‌های ارزیابی دستگاه

میانگین‌های با علامت یکسان در هر ستون در سطح ۱٪ تفاوت معنی‌دار ندارند. (آزمون چند دامنه‌ای دانکن)

Fig.6. Results of mean comparison of feeding rate effects on indexes of machine evaluation
Means with the same symbol are not significantly different at 1% level according to Duncan's multiple range test



شکل ۷- نتایج مقایسه میانگین اثرات سرعت دورانی بر شاخص‌های ارزیابی دستگاه

میانگین‌های با علامت یکسان در هر ستون در سطح ۱٪ تفاوت معنی‌دار ندارند. (آزمون چند دامنه‌ای دانکن)

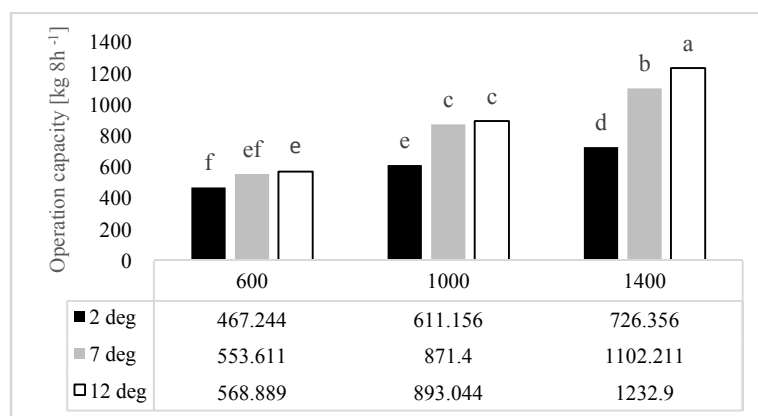
Fig.7. Results of mean comparison of rotation speed effects on indexes of machine evaluation
Means with the same symbol are not significantly different at 1% level according to Duncan's multiple range test

شکل ۸ تأثیرات متقابل دبی تغذیه و شیب غلتک را روی شاخص ظرفیت کاری دستگاه (Q) در سطح احتمال معنی‌داری ۵٪ نشان می‌دهد. بررسی اثر متقابل این پارامترها نشان می‌دهد که در هر سه سطح دبی تغذیه ۶۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۴۰۰ کیلوگرم بر ۸ ساعت، با افزایش زاویه شیب غلتک‌ها از ۲ تا ۱۲ درجه، ظرفیت کاری دستگاه افزایش می‌یابد. این افزایش ظرفیت کاری برای دبی تغذیه $1400 \text{ kg } 8\text{h}^{-1}$ ، دارای اختلاف چشمگیری با دو سطح تغذیه دیگر بوده و ظرفیت کاری دستگاه در این دبی از حدود $726 \text{ kg } 8\text{h}^{-1}$ تا حدود $1232 \text{ kg } 8\text{h}^{-1}$ افزایش داشته است. شکل ۸ نشان می‌دهد که از نظر میزان تأثیر بر ظرفیت کاری در دو سطح دبی تغذیه ۶۰۰ و ۱۰۰۰ کیلوگرم بر ۸ ساعت، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ بین شیب‌های ۷ و ۱۲ درجه وجود ندارد در حالی که بین ظرفیت‌های کاری دستگاه در دبی تغذیه $1400 \text{ kg } 8\text{h}^{-1}$ ، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ بین شیب‌های ۲، ۷ و ۱۲ درجه وجود دارد.

شکل ۹ تأثیرات متقابل سطوح مختلف دبی تغذیه و سرعت دورانی غلتک‌ها را روی شاخص ظرفیت کاری دستگاه (Q) نشان می‌دهد. بررسی اثر متقابل پارامترهای یاد شده نشان می‌دهد که ظرفیت کاری دستگاه؛ در هر سه سطح دبی تغذیه ۶۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۴۰۰ کیلوگرم بر ۸ ساعت، با افزایش سرعت دورانی غلتک‌ها از ۵۰ تا ۱۱۰ دور در دقیقه، افزایش پیدا کرده است. معنی‌داری اثر متقابل دبی تغذیه و سرعت دورانی غلتک‌ها حاکی از آن است که کمترین ظرفیت کاری دستگاه در دبی تغذیه $600 \text{ kg } 8\text{h}^{-1}$ و سرعت دوران 50 rpm با مقداری در حدود $467 \text{ kg } 8\text{h}^{-1}$ بوده است. همچنین بیشترین ظرفیت کاری دستگاه در دبی تغذیه $1400 \text{ kg } 8\text{h}^{-1}$ و سرعت 110 rpm حاصل شده است که تحت این شرایط ظرفیت کاری دستگاه به حدود $1232 \text{ kg } 8\text{h}^{-1}$ رسیده است.

شکل ۷ تأثیر پارامتر سرعت دورانی غلتک‌ها را بر روی سه شاخص متوسط ناخالصی نسبی، بازده وزنی جداسازی و ظرفیت کاری نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، افزایش سرعت دورانی منجر به افزایش بازده وزنی جداسازی و ظرفیت کاری دستگاه و کاهش متوسط ناخالصی نسبی آن شده است. با افزایش سرعت دورانی غلتک‌ها از ۵۰ تا ۱۱۰ دور در دقیقه، شاخص متوسط ناخالصی نسبی، در کل در حدود ۶/۵٪ کاهش و بازده جداسازی وزنی دستگاه در حدود ۶٪ افزایش یافته است. علت کاهش متوسط ناخالصی نسبی و افزایش بازده جداسازی وزنی (دقت کاری دستگاه) با افزایش دور را این گونه می‌توان توضیح داد که با افزایش سرعت دوران، مغزها سریع‌تر در محدوده ابتدایی غلتک‌ها حالت صحیح خود را پیدا کرده و در طول مسیر اندازه‌بندی به جریان افتاده‌اند که همین امر از میزان روی هم افتادگی و اغتشاش آنها در محدوده ابتدایی غلتک‌ها کاسته است. بنابراین تعداد مغزهای کمتری از گروه‌های ریز و متوسط که - به علت افتادن مغزها روی هم بیشترین نقش را در افزایش متوسط ناخالصی نسبی دارند- وارد دسته‌های اشتباه شده‌اند که همین امر به طور مؤثری از میزان متوسط خطای دستگاه کاسته و بر بازده وزنی جداسازی (دقت کاری دستگاه) افزوده است.

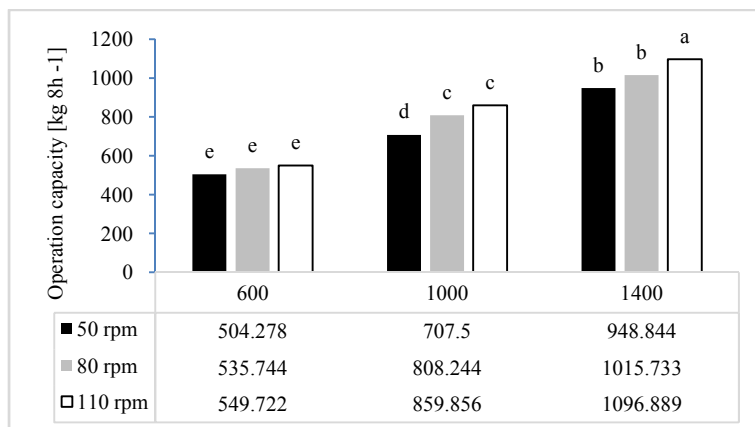
افزایش حدود ۱۱۵ کیلوگرمی ظرفیت کاری دستگاه با افزایش سرعت دورانی غلتک‌ها از ۵۰ تا ۱۱۰ دور در دقیقه امری قابل پیش‌بینی است. زیرا افزایش سرعت چرخش غلتک‌ها، موجب تسریع روند جابه‌جایی مغزها در طول گذرگاه اندازه‌بندی می‌شود که این امر باعث می‌شود تا بتوان در واحد زمانی معین، تعداد بیشتری مغز را به واحد اندازه‌بندی فرستاد بدون اینکه احتمال تجمع و روی هم افتادگی آنها در منطقه ریزش مغز از مخزن به قسمت‌های ابتدایی غلتک‌ها وجود داشته باشد.



شکل ۸- اثر متقابل دبی تغذیه و شیب غلتک‌ها روی ظرفیت کاری دستگاه

میانگین‌های با علامت یکسان در هر ستون در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌دار ندارند. (آزمون چند دامنه‌ای دانکن)

Fig.8. Interaction effects of feeding rate and rollers slope on operation capacity of machine
Means with the same symbol are not significantly different at 5% level according to Duncan's multiple range test



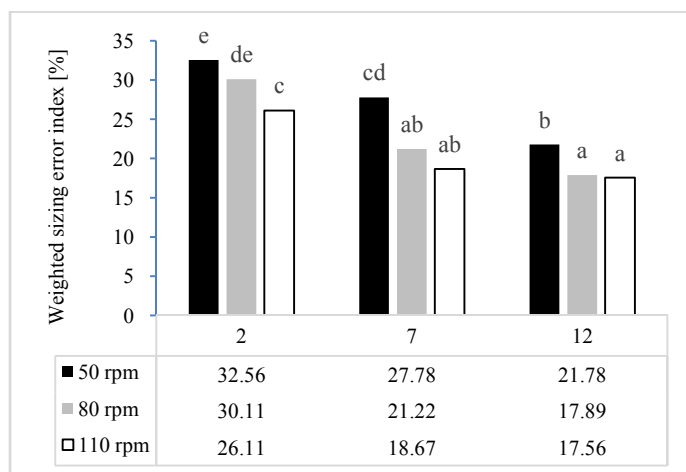
شکل ۹- تأثیر متقابل دبی تغذیه و سرعت دورانی غلتک‌ها روی ظرفیت کاری دستگاه اندازه‌بند مغز بادام

میانگین‌های با علامت یکسان در هر ستون در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌دار ندارند. (آزمون چند دامنه‌ای دانکن)

Fig.9. Interaction effects of feeding rate and rotation speed of rollers on operation capacity of machine
Means with the same symbol are not significantly different at 5% level according to Duncan's multiple range test

دورانی ۵۰ rpm و شیب ۲ درجه وجود دارد. در حالی که کمترین میزان ناخالصی نسبی به میزان ۱۷/۵۶٪ در سرعت دورانی ۱۱۰ rpm و شیب ۱۲ درجه وجود داشته است. شکل ۱۰ همچنین نشان می‌دهد که در شیب‌های ۷ و ۱۲ درجه تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ بین متوسط ناخالصی‌های نسبی در سرعت‌های ۸۰ و ۱۱۰ دور در دقیقه وجود ندارد. لذا بهتر است سرعت‌ها و شیب‌های بالاتر را در استفاده از دستگاه به کار گرفت که هم در مجموع در ظرفیت کاری دستگاه تأثیر مثبت می‌گذارد و هم متوسط ناخالصی نسبی را کاهش می‌دهد.

در شکل ۱۰ میانگین اثرات متقابل پارامترهای شیب و سرعت دوران غلتک‌ها روی متوسط ناخالصی نسبی دستگاه نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در هر سه سطح شیب ۲، ۷ و ۱۲ درجه، با افزایش سرعت دوران از ۵۰ تا ۱۱۰ دور در دقیقه، شاخص متوسط ناخالصی دستگاه روندی کاهشی را طی می‌کند. ضمن اینکه شاخص متوسط ناخالصی نسبی با حرکت از شیب ۲ درجه به سوی شیب ۱۲ درجه نیز روندی نزولی را طی می‌کند. معنی‌داری اثر متقابل پارامترهای شیب و سرعت دوران غلتک‌ها حاکی از آن است که بیشترین متوسط ناخالصی نسبی به میزان ۳۲/۵۶٪ و در سرعت



شکل ۱۰- اثرات متقابل پارامترهای شیب و سرعت دوران غلتک‌ها روی متوسط ناخالصی نسبی دستگاه

میانگین‌های با علامت یکسان در هر ستون در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌دار ندارند. (آزمون چند دامنه‌ای دانکن)

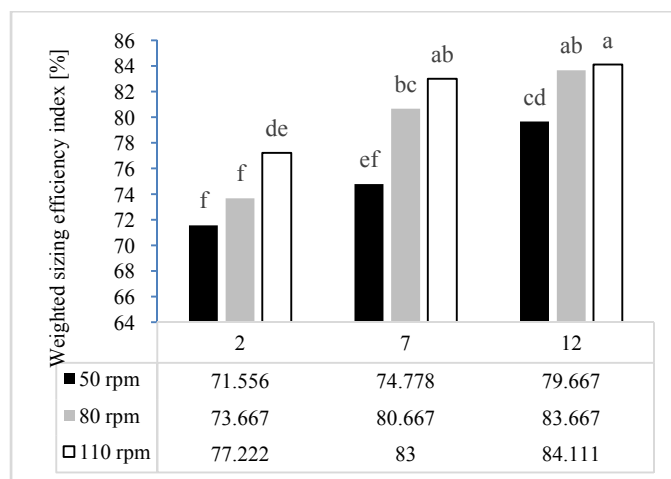
Fig.10. Interaction effects of rollers slope and rotation speed on weighted sorting error index of machine
Means with the same symbol are not significantly different at 5% level according to Duncan's multiple range test

مغز بادام‌ها در طول مسیر اندازه‌بندی در اثر افزایش شیب و سرعت دورانی غلتک‌ها نسبت داد. زیرا مغزها پس از ریخته شدن از مخزن به روی غلتک‌ها، به سرعت فرم صحیح خود را یافته و در طول گذرگاه اندازه‌بندی رو به جلو حرکت می‌کنند و از روی هم افتادگی آنها کاسته می‌شود. لذا تعداد مغزهای ریز و متوسط بیشتری فرصت اینکه با گذرگاه اندازه‌بندی تماس پیدا کرده و در دسته‌های صحیح خود اندازه‌بندی شوند را به دست می‌آورند. و به همین علت با افزایش شیب و سرعت دوران غلتک‌ها بر میزان بازده وزنی دستگاه افزوده شده است.

شکل ۱۲ تأثیر متقابل شیب و سرعت دورانی غلتک‌ها را روی ظرفیت کاری دستگاه نشان می‌دهد. در هر سه سطح شیب و سرعت دورانی مورد آزمایش، ظرفیت کاری دستگاه روندی صعودی را طی می‌کند. ضمن اینکه روند کلی تغییرات ظرفیت کاری دستگاه در انتقال از شیب ۲ تا ۱۲ درجه نیز صعودی است. شکل ۱۲ نشان می‌دهد که در شیب‌های ۷ و ۱۲ درجه، بین سرعت‌های ۵۰، ۸۰ و ۱۱۰ دور در دقیقه تفاوت چندانی از نظر میزان تأثیرگذاری روی ظرفیت کاری دستگاه وجود ندارد. هر چند که به دلیل تأثیر مثبت سرعت‌های بالاتر روی کاهش متوسط ناخالصی نسبی و افزایش بازده وزنی، بهتر است از سرعت و شیب‌های بیشتر برای غلتک‌ها استفاده گردد.

کاهش متوسط ناخالصی دستگاه در اثر افزایش شیب و سرعت دورانی غلتک‌ها را این گونه می‌توان توضیح داد که با افزایش شیب و سرعت دوران غلتک‌ها، انباشته شدن و روی هم افتادن مغزها در ابتدای غلتک‌ها کمتر شده است و لذا تعداد مغزهای بیشتری از گروه‌های ریز و متوسط توانسته‌اند با گذرگاه اندازه‌بندی تماس پیدا کنند و از افتادن آنها در دسته‌های اشتباه جلوگیری شده است که همین امر از میزان متوسط ناخالصی دستگاه کاسته است.

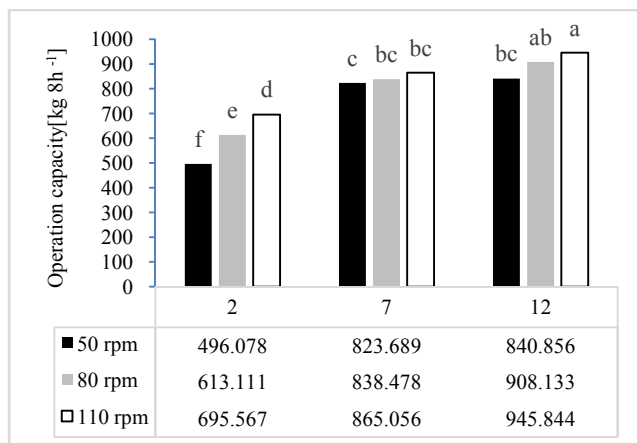
شکل ۱۱ تأثیرات متقابل شیب و سرعت دورانی غلتک‌ها روی بازده وزنی جداسازی دستگاه را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ملاحظه می‌شود در هر سه سطح سرعت دورانی غلتک‌ها، با افزایش سرعت دوران از ۵۰ تا ۱۱۰ دور در دقیقه، بازده وزنی جداسازی دستگاه افزایش یافته است. اثر متقابل پارامتر شیب و سرعت دوران حاکی از آن است که کمترین میزان بازده وزنی جداسازی دستگاه (۷۱/۵٪) در شیب ۲ درجه و سرعت دورانی ۵۰ rpm به دست آمده است. در حالی که بیشترین میزان بازده وزنی (۸۴/۱٪) در شیب ۱۲ درجه و سرعت دورانی ۱۱۰ rpm حاصل شده است. لذا همان‌طور که گفته شد بهتر است دستگاه در سرعت‌ها و شیب‌های بالاتر به کار گرفته شود زیرا هم از میزان متوسط ناخالصی نسبی دستگاه می‌کاهد و هم بر میزان بازده وزنی دستگاه تأثیر مثبت می‌گذارد. علت افزایش بازده وزنی جداسازی دستگاه را می‌توان به تسهیل سُرش و غلتش



شکل ۱۱- اثرات متقابل شیب و سرعت دورانی غلتک‌ها روی بازده وزنی جداسازی دستگاه

میانگین‌های با علامت یکسان در هر ستون در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌دار ندارند. (آزمون چند دامنه‌ای دانکن)

Fig.10. Interaction effects of rollers slope and rotation speed on weighted sorting efficiency index of machine
Means with the same symbol are not significantly different at 5% level according to Duncan's multiple range test



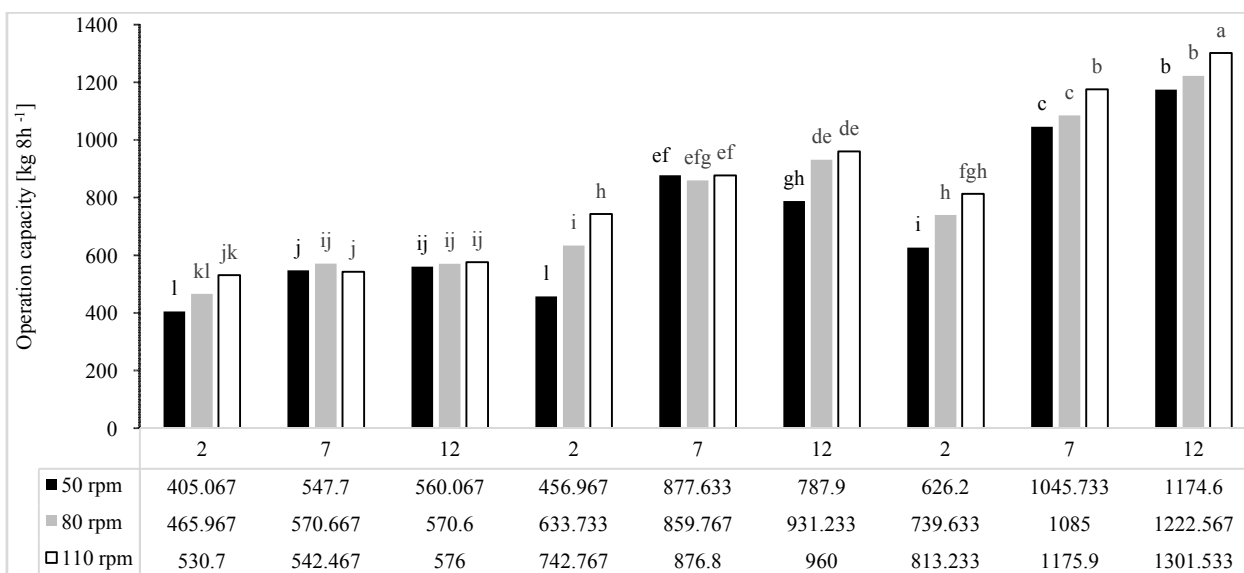
شکل ۱۲- اثرات متقابل شیب و سرعت دورانی غلتک‌ها روی ظرفیت کاری دستگاه

میانگین‌های با علامت یکسان در هر ستون در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌دار ندارند. (آزمون چند دامنه‌ای دانکن)

Fig.10. Interaction effects of rollers slope and rotation speed on operation capacity of machine
Means with the same symbol are not significantly different at 5% level according to Duncan's multiple range test

حدود $405 \text{ kg } 8\text{h}^{-1}$ ، در دبی تغذیه $600 \text{ kg } 8\text{h}^{-1}$ و شیب ۲ درجه و سرعت دوران ۵۰ rpm به دست آمده است. در حالی که بیشترین ظرفیت کاری دستگاه به میزان تقریبی $1301 \text{ kg } 8\text{h}^{-1}$ ، در دبی تغذیه $1400 \text{ kg } 8\text{h}^{-1}$ و شیب ۱۲ درجه و سرعت دوران ۱۱۰ rpm حاصل شده است. برآورد کلی اثرات پارامترهای سه‌گانه چنین می‌گوید که از نظر ظرفیت کاری، بهتر است از دستگاه در دبی‌های تغذیه، شیب‌ها و سرعت‌های دوران بالاتر استفاده کرد.

شکل ۱۳ اثر متقابل سه‌گانه پارامترهای دبی تغذیه و شیب و سرعت دورانی غلتک‌ها را روی ظرفیت کاری دستگاه نشان می‌دهد. از شکل می‌توان ملاحظه کرد که در هر گروه شیب‌های ۲، ۷ و ۱۲ درجه و دبی‌های تغذیه ۶۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۴۰۰ کیلوگرم بر ۸ ساعت، با افزایش سرعت دوران غلتک‌ها از ۵۰ تا ۱۱۰ دور در دقیقه، ظرفیت کاری دستگاه افزایش یافته است. اثر متقابل سه‌گانه پارامترهای یاد شده نشان می‌دهد که کمترین ظرفیت کاری دستگاه با مقداری در



شکل ۱۳- اثر متقابل سه‌گانه پارامترهای دبی تغذیه و شیب و سرعت دورانی غلتک‌ها روی ظرفیت کاری دستگاه اندازه‌بند مغز بادام

میانگین‌های با علامت یکسان در هر ستون در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌دار ندارند. (آزمون چند دامنه‌ای دانکن)

Fig.13. Triple interaction effects of feeding rate, rollers slope, and rotation speed on operation capacity of machine
Means with the same symbol are not significantly different at 5% level according to Duncan's multiple range test

گذاشته و موجب عوارضی همچون پرت شدن مغزها به بیرون از دستگاه یا به دسته‌های نامناسب آنها می‌گردد. نتایج ارزیابی دستگاه نشان داد مناسب‌ترین عملکرد دستگاه در دبی تغذیه 110 rpm و $1000 \text{ kg } 8\text{h}^{-1}$ شیب ۹ درجه غلتک‌ها و سرعت دورانی ۱۱۰ به دست می‌آید. تحت این شرایط دستگاه توانست با متوسط ناخالصی ۲۳٪ به بازده وزنی جداسازی ۸۰٪ و ظرفیت کاری دستگاه ۸۳۰ کیلوگرم در یک شیفت کاری ۸ ساعته دست یابد. به هر حال نقطه کاری اپتیمم دستگاه را می‌توان با روش‌های مختلف بهینه‌سازی به دست آورد. محاسبات صورت گرفته برای تعیین میزان توان مورد نیاز برای کار دستگاه، نشان داد که در مقایسه با دستگاه‌های ارتعاشی موجود در سطح بازار، توان مورد نیاز برای راه‌اندازی دستگاه حاضر بسیار کمتر می‌باشد. به طوری که حتی توان مورد نیاز دستگاه اندازه‌بند غلتکی در مقیاس صنعتی نیز از نمونه‌های صنعتی دستگاه‌های ارتعاشی در حال استفاده در سطح بازار بسیار کمتر است که این مورد از قابلیت‌های مهم دستگاه می‌باشد. مشاهدات و نتایج ارزیابی دستگاه نشان داد که میزان صدمات دستگاه اندازه‌بندی مغز بادام ساخته شده، بسیار اندک و نزدیک به صفر است که این یکی از نقاط قوت عمده دستگاه ساخته شده جدید می‌باشد.

هرچند افزایش دبی منجر به قدری افزایش در شاخص متوسط ناخالصی نسبی دستگاه می‌شود اما با انجام عملیات بهینه‌سازی روی دستگاه و پذیرش مقداری معقول از ناخالصی نسبی می‌توان به بهترین شرایط کاری دستگاه که طی آن بهترین عملکرد دستگاه حاصل می‌شود، دست یافت.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق دستگاه جدیدی برای اندازه‌بندی مغز بادام بر مبنای مکانیزم غلتک‌های واگرا طراحی و ساخته شد. نتایج ارزیابی دستگاه اندازه‌بند غلتکی ساخته شده حاکی از آن بود که اثرات هر سه فاکتور دبی تغذیه، شیب غلتک و سرعت دورانی غلتک بر هر سه شاخص ارزیابی دستگاه شامل متوسط ناخالصی نسبی، بازده وزنی جداسازی و ظرفیت کاری دستگاه کاملاً معنی‌دار بوده و تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ بین پارامترهای یاد شده وجود دارد. نتایج حاصل از ارزیابی دستگاه نشان داد که افزایش هر یک از عوامل دبی تغذیه، شیب و سرعت دورانی واحد اندازه‌بندی (غلتک‌ها)، بر شاخص‌های ارزیابی دستگاه تأثیر مثبت می‌گذارد. هرچند که افزایش بیش از حد هر کدام از این عوامل بر عملکرد دستگاه نتیجه منفی

منابع

1. Farahmand, M., S. R. Hassan-Beygi, M. H. Kianmehr, and D. Ghanbarian. 2007. Design, Fabrication and Evaluation of Saffron Corm Sizer. 5th National Conference on Agricultural Machinery and Mechanization, 28-29 August, Mashhad. (In Farsi).
2. Food and Agriculture Organization. 2010. Statistics: Faostat-Agriculture, Production, Crops Retrieved Available from: <http://www.faostat.fao.org>.
3. Ghanbarian, D., N. N. Kolchin, S. R. Hasan-Beygi Bidgoli, and R. Ebrahimi. 2008. Design and Development of a Small Potato-Grading Machine Using Capron Net. Journal of Food Process Engineering 33: 1148-1158.
4. Iran Agricultural Statistics Book. 2011. <http://www.maj.ir/Portal>.
5. Jarimopas, B., S. Toomsaengtong, and C. Inprasit. 2007. Design and Testing of a Mangosteen Fruit Sizing Machine. Journal of Food Engineering 79: 745-751.
6. Molla-Gholamzade, A., D. Ghanbarian, and A. Fadavi. 2012. Design, Development and Optimization of Lemon Sorter. 7th National Conference on Agricultural Machinery and Mechanization, 4-6 September, Shiraz University, (In Farsi).
7. Peleg, K. 1985. Produce Handling, Packing and Distribution. The Avi Publishing Company, Inc.
8. Shadan, A., and N. Mihan-khah. 2007. Study of Economical Methods to Reduce Agricultural Products Damages. Institute of Planning and Agricultural Economy Studies of Iran. (In Farsi).
9. Shadravan, I. 2006. Mechanical Engineering Design. Translation. First Publication, Noorpardazan.
10. Tabatabaee-koloor, R., and J. Hashemi. 2007. Sorting of Citrus Using of Eccentricity and Gravity. 5th National Conference on Agricultural Machinery and Mechanization, 28-29 August 2007, Mashhad. (In Farsi).
11. Yazdani, S., R. Eshraghi, and B. Pour-saeed. 2006. Economical Analyze of Product of Almond in Chahamahal & Bakhtiari Province. Journal of Agricultural Science 12 (1): 1-13. (In Farsi).

Design, development and evaluation of a divergent roller sizer for almond kernels

D. Ghanbarian^{1*} - A. Ghorbani Marghmaleki² - M. A. Ghazavi³ - Sh. Besharati⁴

Received: 14-10-2013

Accepted: 24-02-2014

Introduction: Iran is one of the major producers of almonds. According to the statistics released by FAO (2011), Iran with more than 110000 tons of almonds is the third in rank throughout the world. However, most Iranian almonds are presented as an unsorted and unpackaged product. Some producers sort their products by hand which is very time-consuming and labor-intensive. So, there is an essential need for suitable grading and packaging machines especially for the export of almond kernels. Grading, which is sometimes called sorting, is basically separating the material in different homogenous groups according to its specific characteristics like size, shape, color and on the basis of quality. Weighing is one of the best methods for grading agricultural products based on size, but due to its high cost and complexity of operations, usage of weigh size sorting machines is practically limited. So, sizing of most agricultural products is accomplished based on their dimensional attributes such as diameter, length, thickness or a combination of them. Field study shows that recently vibrating sizing machines are used for grading almond kernels. This type of sizing machine is huge, expensive, noisy and it consumes a lot of energy. Thus, the main objective of the present study was the design, development and evaluation of a new prototype of an almond kernel sizing machine.

Materials and methods: It is important that the machine could resolve defects of existing vibrating machines. It should provide efficient and cost effective sizing for a wide range of kernel sizes and shapes. Furthermore, it should be of simple construction and be able to accept manual feeding. Previously conducted experiments showed that the thickness of the kernel is the most appropriate dimension for its sizing. Among the different types of dimensional sizing machines, the divergent roller grader which grades the products based on their thickness is considered to be one of the simplest options. So, a divergent roller grader was developed and built in this research. The prototype consisted of two diverging rotating rollers which were made of mild steel with an outside diameter of 95 mm and a length of 700 mm. They were mounted to provide an adjustable slope towards the wide opening end. These roller beds were fixed on a box shaped frame of size 500×1000×1200 mm. The slope and counter-rotating action of the rollers encouraged the kernels to continue moving toward the end where the gap between the rollers was the widest. A tray was fixed at the feeding end of the machine for feeding the kernels. A provision was given to adjust the gap from a minimum to a maximum level. Based on the required activate torques of the rollers, an electric 74 W motor was selected to drive the machine. The power transmission mechanism consists of two pulleys 150 and 250 mm diameters and a V belt type A with a length of 1448 mm. The center distance of the pulleys is calculated to be 410 mm. Standard criterions of weighted sorting error index (\bar{C}_R), weighted sorting efficiencies index (E_w) and operation capacity (Q) were used to evaluate the machine. Practical analysis showed that the machine's performance is influenced mainly by the slope of the rollers, the rotation speed of the rollers, and the feeding rate of the product. In order to evaluate the performance of the prototype, a factorial experiment in a completely randomized design with three replications for each test was done. The performance evaluation was carried out for three levels of feeding rates (600, 1000, and 1400 kg 8h⁻¹, three levels of slopes (2, 7, and 12 degree), and three rotation speeds of rollers (50, 80, and 110 rpm). Spreadsheet software MSTATC and SPSS were used to analyze the data and the Duncan's multiple range tests were used to compare the means.

Results and discussion: Analysis of variance showed that all three studied factors have significant effects on evaluating standard criterions of \bar{C}_R , E_w , and Q at the 1% level of confidence. In this work, an increase in the slope of rollers led to a decrease in \bar{C}_R , whereas at the same time an increase in E_w and Q was observed. It may be because at a higher level of slope the almond kernels slip more effectively on rollers surface. This condition restrains the aggregation of kernels on the first part of the gap between the rollers. So, they have enough time to drop through all of the gap. Experimental results show that as the feeding rate increases, \bar{C}_R and Q increase, whereas E_w decreases. Based on the

1, 2, 3 and 4- Associate professor, Former MSc Student, Former assistant professor and Lecturer respectively, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
(*- Corresponding Author Email: dghanbarian@yahoo.com)

results of the experiments, with an increase of rotation speed of rollers from 50 to 110 rpm, the \bar{C}_R decreases up to %6.5, and E_w decreases about %6. Study of interactions showed effects among which only the interaction of slope and rotation speed of rollers significantly affects all standard criterions. The results also showed that the operation capacity (Q) was significantly affected ($P \leq 0.01$) by the interaction effects between the feeding rate and the slope of rollers, and the feeding rate and the rotation speed of the rollers. The mechanical damage to almond kernels in the form of external damage such as cracks and scuffing was almost zero, which is a very important advantage of this machine in comparison with the other sizing machines.

Conclusions: In this research, a divergent roller sizer was designed, developed and evaluated for almond kernels. The results showed that the best machine operation is obtained at a feeding rate of $1000 \text{ kg } 8\text{h}^{-1}$, slope of 9 degrees and rotation speed of 110 rpm. In this situation, the prototype could reach weighted sorting efficiencies index of 80% and operation capacity of 830 kg in an 8 hour work shift with weighed sorting error index of 23%.

Keywords: Almond kernel, Design and development, Sizing, Sorting, Roller sizer