طراحی، ساخت و ارزیابی مدل آزمایشی دستگاه اندازه‌بند غلتکی مغز بادام

علی قربانی مَرغمَلِکی*، داود قنبریان، محمدعلی قضاوی، شاهین بشارتی

به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار، استادیار و مربی گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم

دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

چکیده :

مغز بادام جزء آن دسته از محصولاتی است که پیش از صادرات بایستی به طور صحیحی اندازه بندی شود. در این تحقیق طراحی، ساخت و ارزیابی یک دستگاه اندازه بندی 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) اندازه بندی می‌کند. شاخص‌های استاندارد متوسط ناخالصی نسبی ($\bar{C}_R$)، بازده یا دقت وزنی جداسازی (E_w) و ظرفیت کاری (Q) برای ارزیابی عملکرد دستگاه مورد استفاده قرار گرفتند. آزمایشات عملی نشان دهنده تأثیر پارامترهای دبی تغذیه، شیب غلتک‌ها و سرعت دورانی آن‌ها بر عملکرد دستگاه بود. لذا به منظور ارزیابی دستگاه، از آزمایش فاکتوریل سه فاکتوره، در قالب یک طرح کاملا تصادفی و سه تکرار برای هر آزمایش، جهت تعیین میزان و نحوه تأثیر عوامل موثر روی عملکرد دستگاه، استفاده شد. نتایج نشان داد که بهترین عملکرد دستگاه در دبی تغذیه [kg/8h] ۱۰۰۰، شیب ۹ درجه و سرعت [rpm] ۱۱۰ با متوسط ناخالصی ۲۳٪، بازده وزنی جداسازی ۸۰٪ و ظرفیت کاری ۸۳۰ کیلوگرم در یک شیفت کاری ۸ ساعته به دست می‌آید.

کلمات کلیدی : اندازه بند غلتکی، اندازه بندی، درجه بندی، طراحی و ساخت، مغز بادام

مقدمه

کشور ایران علیرغم همه پتانسیل‌ها و زمینه های خدادادی موجود، در خصوص ارائه محصولات کشاورزیِ با کیفیت، پیشرفت آنچنانی نداشته و قریب به اتفاق محصولات کشاورزی آن به صورت فله ای و درجه بندی نشده وارد بازار مصرف می‌شود که این امر جدی‌ترین مشکل در صادرات محصولات کشاورزی محسوب می‌شود (Shadan, 2007). بادام یکی از تولیدات عمده صنعت کشاورزی ایران است. ایران به روایت آمار و گزارش‌های سازمان خواروبار جهانی[1]، سوّمین تولید کننده عمده این محصول پس از امریکا و اسپانیا در جهان 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. مغز بادام از جمله آن دسته محصولاتی است که پیش از بسته بندی برای صادرات، بایستی به طور صحیحی از نظر اندازه درجه‌بندی شود. از دیدگاه جهانی، مبنای قیمت‌گذاری مغز بادام همین اندازه بندی است به طوری که مغزهای با اندازه درشت‌تر و کیفیت بالاتر و نیز از نظر ظاهری؛ شکیل‌تر، دارای قیمت بیشتری نیز هستند. متأسفانه با وجود تولید انبوه این محصول استراتژیک کشاورزی، به دلیل وجود ضعف در صنعت فرآوری بادام، کشور ایران هنوز نتوانسته است به جایگاه شایسته خود در عرصه جهانی دست پیدا کند (Yazdani and Eshragi, 2006).

تجهیزات مکانیکی که برای درجه بندی محصولات کشاورزی استفاده قرار می‌گیرند به دو نوع وزنی و ابعادی قابل تقسیم بندی هستند. موارد استفاده از درجه بندهای وزنی به دلیل هزینه های زیاد و پیچیدگی عملیات معدود است (Peleg, 1985 ; Farahmand *et al.*2007 ;Molla-Gholamzade *et al.* 2012). به همین دلیل استفاده از درجه‌بند های ابعادی یا اندازه بندها به عنوان یک روش اقتصادی در طراحی سیستم‌های اندازه‌بندی اکثر محصولات کشاورزی از جمله مغز بادام مورد توجه قرار گرفته است. در سال‌های اخیر دستگاه های متعددی برای اندازه‌بندی محصولاتی چون لیمو، سیب، پرتقال، سیب زمینی، نارنگی و منگوستین[2] 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 ;TabatabaeeKoloorandHashemi, 2007 ;Ghanbarian *et al.* 2008 ; Molla-Gholamzade *et al.* 2012). مطالعات و بررسی‌های میدانی انجام شده در سطح استان چهارمحال و بختیاری و سایر استان‌های بادام خیز کشور مانند همدان و فارس، نشان می‌دهد که اندازه‌بند های 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 دستگاه های اندازه‌بند ارتعاشی موجود در سطح بازار، منجر به استفاده بسیار اندک از این دستگاه‌ها و میل به روش‌های سنتی و دستی در اندازه بندی مغز بادام گردیده است که با توجه به حجم انبوه تولید

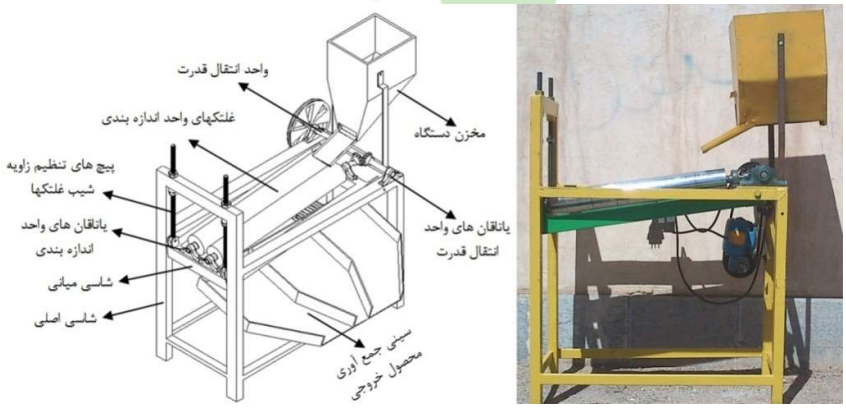
[1] Food and Agriculture Organization (FAO)
[2] Mangosteen

بادام ایران، پاسخگوی نیاز های موجود بازار نبوده و بهینه سازی دستگاه های موجود یا استفاده از دستگاه های جدیدی که قابلیت پاسخگویی به این حجم انبوه تولید را داشته باشند از نیاز های 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

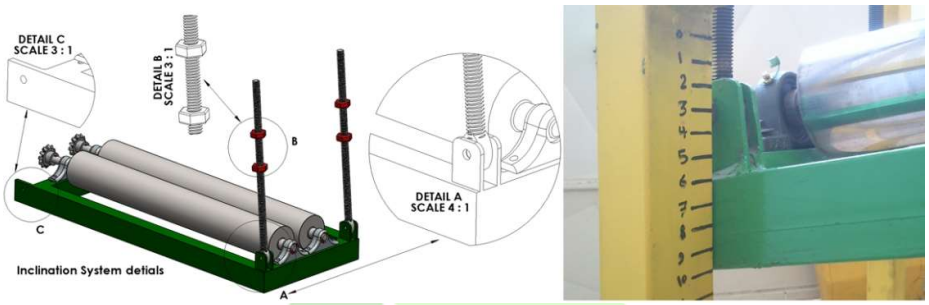
الف) طراحی و ساخت دستگاه

ملاحظات طراحی و ساخت: دستگاه مورد نظر بایستی به گونه ای ساخته شود که تا حد ممکن معایب دستگاه های موجود را حذف نموده و یا آن‌ها را به حداقل برساند. به این معنا که ضمن برخورداری از هزینه های پایین‌تر ساخت، نگهداری و تعمیرات نسبت به نمونه های ارتعاشی موجود در سطح بازار، مکانیزم آن به گونه ای باشد که 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 اندازه بندی مغز بادام، بعد ضخامت آن است. بر این اساس، از میان انواع مختلف مکانیزم‌های موجود، مناسب‌ترین مکانیزم برای اندازه بندی مغز بادام، مکانیزم اندازه بند غلتکی واگرا شناسایی و انتخاب گردید. برای ساخت غلتک‌ها از لوله های فولادی به طول ۷۰۰ و قطر ۹۵ میلی‌متر استفاده شد. شاسی دستگاه در ابعاد ۱۲۰۰×۱۰۰۰×۵۰۰ میلی‌متر ساخته شد. شکل ۱ دستگاه اندازه بند غلتکی مغز بادام 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 روی سطح غلتک‌ها شروع به لغزش می‌نمایند و بالاجبار با بعد ضخامت خود در معرض عبور از فاصله بین غلتک‌ها (گذرگاه اندازه بندی) قرار می‌گیرند.



شکل ۱. دستگاه اندازه بند مغز بادام غلتکی ساخته شده و قسمت‌های مختلف آن

شاسی میانی و مکانیزم تنظیم شیب غلتک‌ها: برای فراهم آوردن امکان موقعیت گیری واحد اندازه بندی 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 مهره ای، برای تغییر ارتفاع مجهز شده است (شکل ۲). دلیل استفاده از شاسی میانی، جدا کردن قسمت اندازه بندی 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 اندازه بندی را صرفا در واحد اندازه بندی فراهم نمود.



شکل ۲. شاسی میانی و مکانیزم تنظیم شیب واحد اندازه بندی

به منظور تأمین توان و راه اندازی دستگاه از یک موتور الکتریکی استفاده شد. توان الکتروموتور باید به اندازه ای 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 راه اندازی هر یک از اجزا موجود در مسیر انتقال قدرت تا غلتک‌ها محاسبه گردید. سپس با لحاظ کردن ضریب اطمینانی که کار موتور را در شرایط پیش بینی نشده تضمین نماید، توان موتور مورد نیاز با توجه به رابطه ۱ محاسبه شد (Shadravan, 2006).

$$P = \frac{2\pi nT}{60000} \qquad (۱)$$

P = توان موتور [KW] n = سرعت دورانی چرخش مورد نیاز موتور [rpm] و

T = گشتاور مورد نیاز برای راه اندازی دستگاه [N.m]، می‌باشند.

گشتاور دستگاه مرکب از گشتاور لازم برای دوران غلتک‌ها به علاوه گشتاور تمامی اجزای انتقال قدرت است که به کمک روابط ۲ و ۳ به دست می‌آید

$$T_{total} = \sum_{i=1}^{k} T_i = \sum_{i=1}^{k} I_i \times \alpha_i \qquad (۲)$$

$$I_i = \frac{1}{2} \times m_i \times {r_i}^2 \qquad (۳)$$

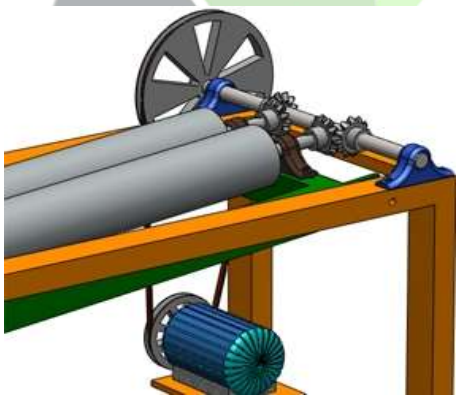
T_i = گشتاور عضو i ام [N.m] I_i = ممان اینرسی جرمی عضو i ام حول محور دوران آن [$Kg.m^2$]

α_i = شتاب زاویه ای عضو i ام [$rad.\ S^{-2}$] m_i = جرم عضو i ام مجموعه [Kg] و

r_i = شعاع یا شعاع معادل عضو i ام [m]، می‌باشد.

به این ترتیب توان مورد نیاز برای راه اندازی دستگاه حدود ۷۴ وات بدست آمد. ملاحظه می‌شود که راه اندازی دستگاه به توان اندکی نیاز دارد که حتی در نمونه صنعتی آن که باید از ۴ جفت غلتک استفاده شود نیز توان مصرفی دستگاه در مقایسه با دستگاه های موجود در بازار (مثل اندازه بندهای لرزشی)، بسیار کمتر بوده که از این قابلیت می‌توان به عنوان یکی از مزایای قابل توجه دستگاه ساخته شده یاد نمود.

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



شکل ۳. واحد انتقال قدرت

طبق رابطه شماره 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.

$$L = [4C^2 - (D-d)^2]^{1/2} + \frac{1}{2}(D \times \alpha_D + d \times \alpha_d) \quad (۴)$$

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 است که از رابطه ۵ بدست می‌آید، [rad]

α_d = زاویه تماس تسمه و پولی؛ در پولی محرک است که از رابطه ۶ بدست می‌آید، [rad]

α_D = زاویه تمایل تسمه و پولی؛ در پولی متحرک است که از رابطه ۷ بدست می‌آید، [rad]

$$\gamma = \sin^{-1}\left(\frac{D-d}{2C}\right) \quad (۵)$$

$$\alpha_d = \pi - 2\gamma \quad (۶)$$

$$\alpha_D = \pi + 2\gamma \quad (۷)$$

در دستگاه اندازه بند مورد مطالعه در این تحقیق- با توجه به توان مورد نیاز برای راه اندازی دستگاه -حداقل قطر برای پولی‌های کوچک و بزرگ، طبق رابطه شماره ۸، به ترتیب برابر ۱۶۷ و ۲۲۶ میلی‌متر بدست 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.

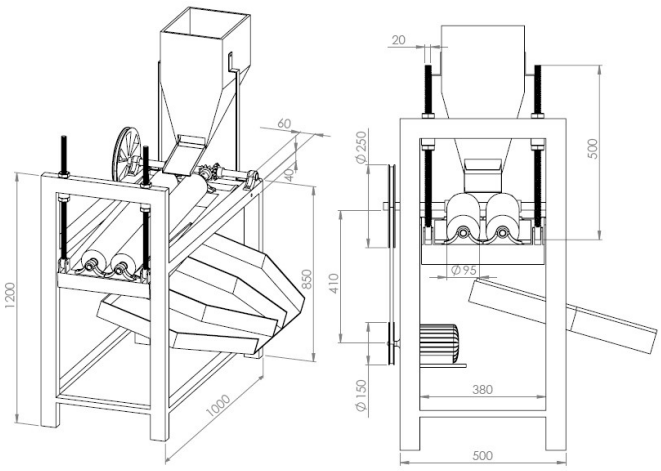
$$D = \left(\frac{P}{n}\right)^{\left(\frac{1}{3}\right)} \quad (۸)$$

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 ۱۴۳۴ mm بدست آمد. با مشخص شدن طول تقریبی تسمه می‌بایستی فاصله بین مراکز دو پولی را طوری در نظر گرفت که با توجه به طول‌های استاندارد، تسمه ای در محدوده طول تقریبی بدست آمده برای آن، در بازار موجود باشد. لذا با توجه به طول تقریبی ۱۴۳۴ میلی‌متر و مراجعه به جدول یاد شده، نزدیک‌ترین تسمه، تسمه V شکل نوع A، با طول استاندارد ۵۷ اینچ (برابر ۱۴۴۸ میلی‌متر) انتخاب شد. با توجه به طول تسمه، C (فاصله بین مراکز دو پولی) برابر ۴۰۷ میلی‌متر یا تقریباً ۴۱ سانتیمتر بدست آمد. شکل ۴ برخی از ابعاد و اندازه های قسمت‌های مختلف دستگاه اندازه بند غلتکی مغز بادام ساخته شده را نشان می‌دهد.



شکل ۴. ابعاد و اندازه های قسمت‌های مختلف دستگاه اندازه بند غلتکی مغز بادام

ب) ارزیابی دستگاه

به منظور ارزیابی دستگاه اندازه بند غلتکی ساخته شده از یک آزمایش فاکتوریل سه فاکتوره، در قالب یک طرح کاملا تصادفی و سه تکرار برای هر آزمایش، جهت تعیین میزان و نحوه تأثیر عوامل موثر روی عملکرد دستگاه، استفاده شد. عوامل موثر در عملکرد دستگاه اندازه بند غلتکی ذیلا معرفی شده‌اند :

۱– شیب استقرار غلتک‌های واحد اندازه بندی ۲– میزان و نحوه تغذیه دستگاه ۳– 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. ضمن اینکه در شیب‌های بالاتر از ۱۲ درجه نیز مغزها به علت سرعت زیاد درست اندازه بندی 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 دستگاه های در حال استفاده در سطح استان چهارمحال و بختیاری، به منظور ایجاد قابلیت مقایسه بین دستگاه ساخته شده و دستگاه های موجود و ۲– محدوده های مناسب دستگاه ساخته شده. بر این اساس با توجه به بیشترین میزان کیل‌دهی ارقام مختلف مغز بادام که چیزی در حدود یک سوم می‌باشد، ظرفیت کار دستگاه های موجود در بازار حدود ۷۳۰ کیلوگرم مغز در روز (در یک شیفت کاری ۸ ساعته) تعیین شد. لذا با توجه به این مورد و بالاترین حد ظرفیت کاری دستگاه ساخته شده (۱۴۰۰ کیلوگرم بر هشت ساعت) 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 یک شیفت ۸ ساعته انتخاب گردید. به منظور ایجاد شرایط واقعی کار توسط باغداران، تغذیه دستگاه به صورت 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 [rpm] ۵۰ ، ظرفیت کاری دستگاه بسیار کم بود. ضمن اینکه در سرعت‌های بالاتر از [rpm] ۱۱۰ 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 اندازه بندی چشمی روی آن‌ها در سه دسته ریز، متوسط و درشت انجام پذیرفت. به منظور تشخیص دسته های مختلف ریز، متوسط و درشت مغز بادام در طی آزمایشات، مغزهای هر دسته به صورت جداگانه مورد رنگ آمیزی قرار گرفتند. سپس مغزها درون ظرفی ریخته شده و از میان آن‌ها نیم کیلوگرم مغز بادام به طور تصادفی برداشته شد. در طی انجام هر آزمایش، با توجه به سطوح تغذیه مشخص شده برای دستگاه، زمان ریخته شدن مغزها درون واحد اندازه بندی (غلتک‌ها) تعیین گردید و سعی شد تا مغزها به طور 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 با دقت ۰/۰۱ ثانیه محاسبه و ثبت گردید. پس از پایان کار دستگاه، تعداد مغزهای درست و اشتباه اندازه شده‌ی هر دسته اندازه بندی (به تفکیک ریز، متوسط و درشت) مورد شمارش و ثبت قرار گرفت. به منظور ارزیابی دستگاه اندازه بند غلتکی مغز بادام ساخته شده از شاخص‌های استاندارد متوسط ناخالصی نسبی $\bar{C}_R[\%]$، بازده وزنی (ارزش دسته های مختلف) جداسازی $E_W[\%]$ و ظرفیت کاری دستگاه $Q[kg/h]$، که به ترتیب با استفاده از روابط ۹ تا ۱۱ بدست می‌آیند استفاده گردید (پلگ، ۱۹۸۵).

$$\bar{C}_R[\%] = \frac{\sum_i N_{ci}}{\sum_i N_i} \qquad (۹)$$

$$E_W[\%] = \frac{\sum_i (P_{gi} P_i K_i)}{\sum_i (P_i K_i)} \qquad (۱۰)$$

$$Q\left[\frac{kg}{h}\right] = \frac{\text{جرم محصول ورودی}}{\text{زمان اندازه بندی}} \qquad (۱۱)$$

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

N_i= تعداد مغزهای درست اندازه بندی شده دسته i ام P_{gi} = نسبت درست درجه بندی شده محصول در دسته i ام

P_i = نسبت خلوص محصول i در مخزن K_i = ارزش نسبی دسته i ام

در تحقیق حاضر، از نرم افزارهای SPSS و MSTATC به منظور تحلیل نتایج حاصل از آزمایشات استفاده شد. برای تحلیل کلیه آزمون‌های مقایسه میانگین، از آزمون چند دامنه ای دانکن استفاده گردید.

ج) نتایج و بحث

جدول شماره ۱ نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های ارزیابی دستگاه اندازه بند غلتکی مغز بادام را نشان می‌دهد. نتایج نشان دهنده 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 کاملا معنی دار بوده و تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۱٪ بین پارامترهای یاد شده وجود دارد. اثرات متقابل دبی تغذیه × شیب غلتک و دبی تغذیه × سرعت دورانی غلتک بر متوسط ناخالصی نسبی و بازده وزنی جداسازی معنی دار نیست در حالی که اثرات متقابل فاکتورهای یاد شده، بر روی ظرفیت کاری دستگاه در سطح احتمال ۱٪ معنی دار است.

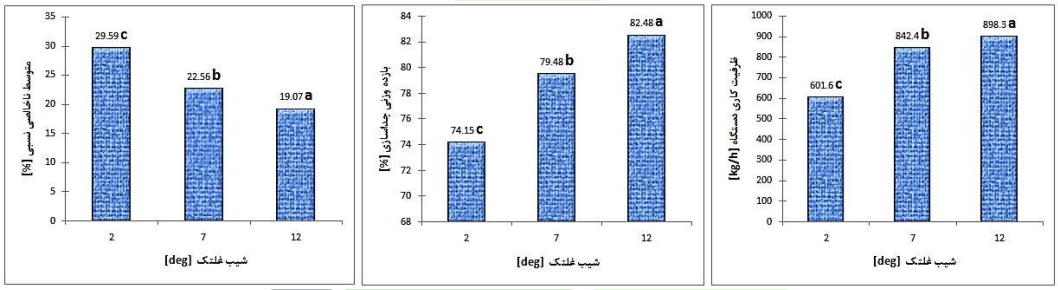
جدول ۴-۱۰. نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های ارزیابی دستگاه اندازه بند غلتکی مغز بادام

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات (M.S.)		
			E_W	Q
دبی تغذیه	۲	۴۵۶/۴۴**	۲۳۶/۳۳**	۱۶۲۶۹۷۴/۱۷**
شیب غلتک	۲	۷۷۵/۲۶**	۴۸۱/۰۰**	۶۷۱۱۴۵/۰۱**
سرعت دورانی غلتک	۲	۳۰۲/۳۷**	۲۶۰/۱۱**	۹۰۳۹۱/۵۶**
شیب غلتک× دبی تغذیه	۴	۱/۴۸^{ns}	۶/۷۸^{ns}	۹۹۸۸۹/۰۹**
سرعت دورانی غلتک× دبی تغذیه	۴	۴/۰۹^{ns}	۱/۷۸^{ns}	۸۹۹۴/۴۲**
شیب غلتک× سرعت دورانی غلتک	۴	۲۰/۶۳**	۱۴/۶۱**	۱۴۷۲۸/۴۱**
شیب غلتک× دبی تغذیه× سرعت دورانی غلتک	۸	۵/۹۹^{ns}	۴/۱۷^{ns}	۳۸۵۳/۹۵*
خطا	۵۴			

** معنی دار در سطح احتمال ۱٪
* معنی دار در سطح احتمال ۵٪
ns عدم معنی داری

همچنین از جدول پیداست که اثرات متقابل فاکتورهای شیب غلتک و سرعت دورانی غلتک بر روی هر سه شاخص ارزیابی متوسط ناخالصی نسبی، بازده وزنی جداسازی و ظرفیت کاری دستگاه، در سطح احتمال ۱٪ معنی دار شده است. همان طور 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 معنی دار نیست در حالی که تأثیر این فاکتور بر روی ظرفیت کاری دستگاه در سطح احتمال ۵٪ معنی دار است. در ادامه با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۱) به بررسی اثرات هر یک فاکتورهای معنی دار شده بر روی شاخص‌های ارزیابی دستگاه پرداخته می‌شود.

شکل شماره ۵ تأثیر پارامتر شیب غلتک‌ها را در یک دید کلی بر روی هر سه شاخص متوسط ناخالصی نسبی، بازده وزنی جداسازی و ظرفیت کاری دستگاه اندازه بند مغز بادام 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 این گونه می‌توان توضیح داد که با افزایش شیب، به دلیل سُرش و غلطش آسان‌تر؛ مغزها در طول گذرگاه اندازه بندی سریع‌تر و راحت‌تر جابجا شده و از روی هم افتادگی و تجمع ناگزیری که در ابتدای غلتک‌ها موجب از دست رفتن فرصت مناسب برای تماس با گذرگاه اندازه بندی و در نتیجه افزایش ناخالصی دستگاه می‌شود، کاسته شود. بنابراین تعداد بیشتری از مغزهای دسته های ریز و متوسط فرصت کافی را برای تماس با گذرگاه اندازه بندی پیدا کرده و از افتادن آن‌ها به دسته های نامناسب جلوگیری شده است.

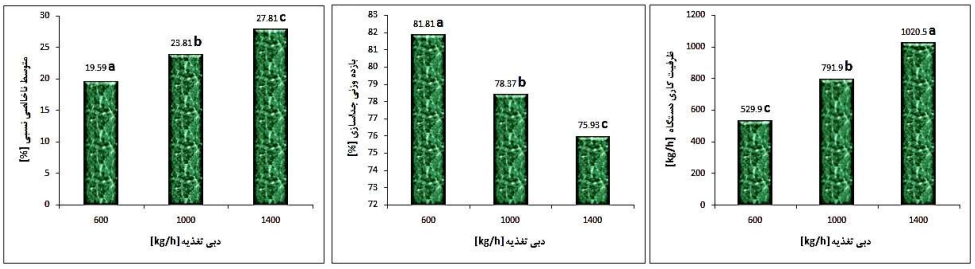


شکل۵. تأثیر شیب غلتک بر شاخص‌های ارزیابی دستگاه.

* درج حروف غیر مشابه در هر نمودار، نشان دهنده تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۱٪ است.

بر این اساس فضا نیز سریع‌تر برای اندازه بندی شدن مغزهای جدید – بدون نگرانی از انباشته شدن مغزها در قسمت ابتدایی غلتک‌ها – آزاد شده است. بنابراین در یک محدوده زمانی معین، با افزایش شیب، تعداد بیشتری از مغزها اندازه بندی شده‌اند. این امر که از نظر منطقی نیز درست به نظر می‌رسد، ظرفیت کاری دستگاه را افزایش داده است.

شکل شماره ۶ تأثیر پارامتر دبی تغذیه را در یک دید کلی بر روی هر سه شاخص متوسط ناخالصی نسبی، بازده وزنی جداسازی و ظرفیت کاری دستگاه اندازه بند مغز بادام 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.



شکل۶. تأثیر دبی تغذیه بر شاخص‌های ارزیابی دستگاه.

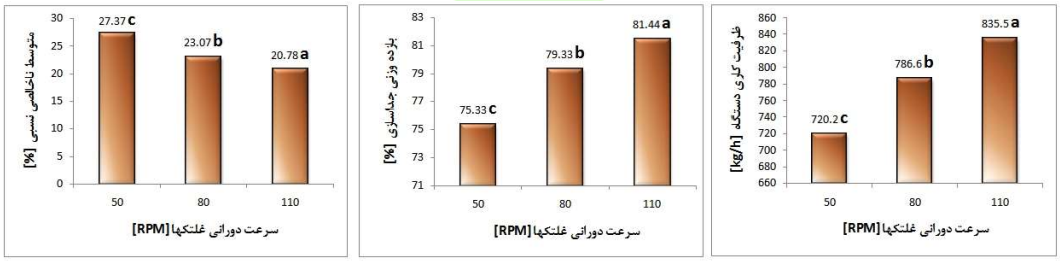
* درج حروف غیر مشابه در هر نمودار، بیانگر اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱٪ است.

علت افزایش متوسط ناخالصی نسبی؛ با افزایش دبی تغذیه را این گونه می‌توان توضیح داد که با افزایش دبی تغذیه، به علت افزایش روی هم افتادن مغزها در ابتدای غلتک‌ها، مغز های گروه های ریز و متوسط نمی‌توانند به موقع با گذرگاه اندازه بندی تماس پیدا کنند و همراه با جریان مواد به قسمت‌های جلوتر از محدوده مناسب خود برای اندازه بندی انتقال پیدا کرده و در دسته های اشتباه می‌ریزند که این امر موجب افزایش متوسط ناخالصی نسبی دستگاه با افزایش دبی تغذیه شده است. لازم به ذکر است هر چند که در دبی ۶۰۰ کیلوگرم بر 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 به هیچ وجه قابل مقایسه با دستگاه های موجود در سطح بازار نبوده و دستگاه عملا قابلیت رقابت خود را از دست خواهد داد.

مجموعاً همان طور که از شکل شماره ۶ قابل ملاحظه است، با افزایش دبی تغذیه، بازده وزنی جداسازی دستگاه (دقت کاری دستگاه) در حدود ۶ درصد افت می‌کند. علت این کاهش بازده را همان طور که قبلاً نیز اشاره شد می‌توان به افزایش پدیده تجمع و روی هم افتادگی مغزها در ابتدای غلتک‌ها و نبود فرصت کافی برای تماس مغزهای گروه های ریز و متوسط با گذرگاه اندازه بندی متناسب خود، نسبت داد. در حقیقت در اینجا رفتن مغزها به دسته های نامناسب نیست که باعث کاهش بازده وزنی شده است بلکه طبق رابطه معرفی شده برای بازده وزنی (رابطه شماره ۱۰)، این کاهش تعداد مغزهای درست اندازه بندی شده (در دبی‌های بالاتر) است که موجب افت بازده وزنی جداسازی دستگاه شده است. افزایش ظرفیت کاری دستگاه در اثر افزایش دبی تغذیه نیز امری طبیعی است. چرا که طبیعتا با افزایش دبی تغذیه، میزان خروجی دستگاه نیز (در محدوده زمانی معین) افزایش خواهد یافت هر چند که افزایش دبی تغذیه بیش از حد ظرفیت دستگاه، می‌تواند منجر به افزایش متوسط ناخالصی نسبی دستگاه گردد.

شکل شماره ۷ تأثیر پارامتر سرعت دورانی غلتک‌ها را بر روی هر سه شاخص متوسط ناخالصی نسبی، بازده وزنی جداسازی و ظرفیت کاری دستگاه اندازه بند مغز بادام نشان می‌دهد. آنچنان که در یک دید کلی از نمودارهای این شکل مشخص است، افزایش سرعت دورانی منجر به افزایش بازده وزنی جداسازی و ظرفیت کاری دستگاه و کاهش متوسط ناخالصی نسبی آن شده

است. همان طور که از شکل ۷ دیده می‌شود، 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 اندازه بندی 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 گروه های ریز و متوسط که – به علت افتادن مغزها روی هم بیشترین نقش را در افزایش متوسط ناخالصی نسبی دارند– وارد دسته های اشتباه شده‌اند که همین امر به طور موثری از میزان متوسط خطای دستگاه کاسته و بر بازده وزنی جداسازی (دقت کاری دستگاه) افزوده است.



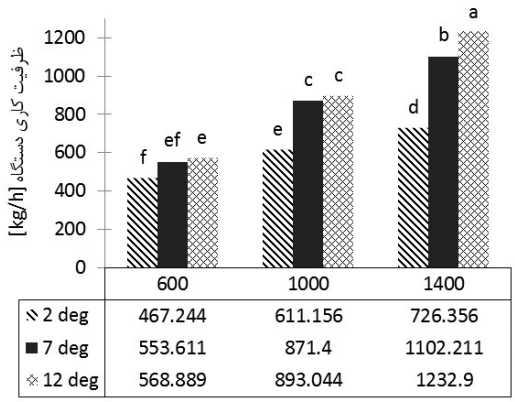
شکل۷. تأثیر سرعت دورانی غلتک‌ها روی شاخص‌های ارزیابی دستگاه اندازه بند مغز بادام

* درج حروف غیرمشابه در هر نمودار، نشان دهنده وجود تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۱٪ است.

افزایش حدود ۱۱۵ کیلوگرمی ظرفیت کاری دستگاه با افزایش سرعت دورانی غلتک‌ها از ۵۰ تا ۱۱۰ دور در دقیقه امری طبیعی است. زیرا همان طور که اشاره شد، افزایش سرعت چرخش غلتک‌ها، موجب تسریع روند جابجایی مغزها در طول گذرگاه اندازه بندی می‌شود که این امر باعث می‌شود تا بتوان در واحد زمانی معین، تعداد بیشتری مغز را به واحد اندازه بندی فرستاد بدون اینکه نگرانی از تجمع و روی هم افتادگی آن‌ها در منطقه ریزش مغز از مخزن به قسمت‌های ابتدایی غلتک‌ها وجود داشته باشد و لذا در یک دید کلی افزایش سرعت دوران غلتک‌ها منجر به افزایش قابل توجه ظرفیت کاری دستگاه می‌گردد.

شکل شماره ۸ تأثیرات متقابل دبی تغذیه و شیب غلتک را روی شاخص ظرفیت کاری دستگاه (Q) در سطح احتمال معنی داری ۵٪ نشان می‌دهد. بررسی اثر متقابل پارامترهای یاد شده 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 که البته این افزایش ظرفیت کاری برای دبی تغذیه ۱۴۰۰ کیلوگرم بر ۸ ساعت، دارای اختلاف چشمگیری با دو سطح تغذیه دیگر بوده و ظرفیت کاری دستگاه در این دبی از حدود [kg/8h] ۷۲۶ تا حدود [kg/8h] ۱۲۳۳ افزایش داشته است. شکل ۸ همچنین نشان می‌دهد که از نظر

میزان تأثیر بر ظرفیت کاری دستگاه، در دو سطح دبی تغذیه ۶۰۰ و ۱۰۰۰ کیلوگرم بر ۸ ساعت، اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۵٪ بین شیب‌های ۷ و ۱۲ درجه وجود ندارد در حالی که بین ظرفیت‌های کاری دستگاه در دبی تغذیه [kg/8h] ۱۴۰۰، تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۵٪ بین شیب‌های ۲، ۷ و ۱۲ درجه وجود دارد.



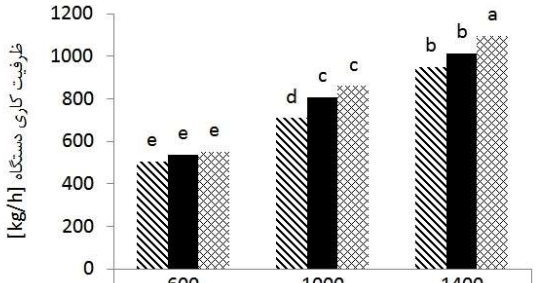
	600	1000	1400
2 deg	467.244	611.156	726.356
7 deg	553.611	871.4	1102.211
12 deg	568.889	893.044	1232.9

شکل۸. اثر متقابل دبی تغذیه و شیب غلتک‌ها روی ظرفیت کاری دستگاه

* درج حروف غیرمشابه، بیانگر وجود تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵٪ است.

دلیل افزایش ظرفیت کاری دستگاه با افزایش شیب غلتک‌ها و دبی تغذیه می‌تواند به علت تسهیل حرکت و لغزش مغز بادام‌ها روی سطح غلتک‌ها در اثر افزایش شیب غلتک‌ها باشد که سبب شده است تا بتوان تعداد بیشتری مغز بادام را در محدوده زمانی معین، به واحد اندازه بندی فرستاد که این امر منجر به افزایش ظرفیت کاری دستگاه گردیده است.

شکل شماره 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.



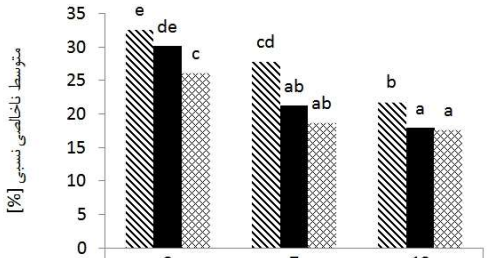
	600	1000	1400
50 rpm	504.278	707.5	948.844
80 rpm	535.744	808.244	1015.733
110 rpm	549.722	859.856	1096.889

شکل۹. تأثیر متقابل دبی تغذیه و سرعت دورانی غلتک‌ها روی ظرفیت کاری دستگاه اندازه بند مغز بادام

* درج حروف غیرمشابه، بیانگر وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵٪ است.

معنی داری اثرات متقابل دبی تغذیه و سرعت دورانی غلتک‌ها حاکی از آن است که کمترین ظرفیت کاری دستگاه در دبی تغذیه [kg/8h] ۶۰۰ و سرعت دوران [rpm] ۵۰ با مقداری در حدود [kg/8h] ۵۰۴ بوده است. همچنین بیشترین ظرفیت کاری دستگاه در دبی تغذیه [kg/8h] ۱۴۰۰ و سرعت [rpm] ۱۱۰ حاصل شده است که تحت این شرایط ظرفیت کاری دستگاه به حدود [kg/8h] ۱۰۹۷ رسیده است. افزایش ظرفیت کاری دستگاه با افزایش سرعت دورانی غلتک‌ها و دبی تغذیه امری طبیعی است که از نظر منطقی نیز درست به نظر می‌رسد زیرا افزایش سرعت چرخش غلتک‌ها، موجب تسریع روند فرم گیری و جابجایی مغزها در طول گذرگاه اندازه بندی می‌شود. این امر باعث می‌شود که در واحد زمانی معین، بتوان تعداد بیشتری مغز را به منظور اندازه بندی به واحدهای اندازه بندی (غلتک‌ها) فرستاد بدون اینکه نگرانی از تجمع و روی هم افتادگی آن‌ها در قسمت‌های ابتدایی غلتک‌ها وجود داشته باشد و لذا در یک دید کلی افزایش سرعت دوران غلتک‌ها منجر به افزایش قابل توجه ظرفیت کاری دستگاه می‌گردد.

در شکل شماره ۱۰ اثرات متقابل پارامترهای شیب و سرعت دوران غلتک‌ها روی متوسط ناخالصی نسبی دستگاه اندازه بند مغز بادام نشان داده شده است. همان طور 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. معنی داری اثر متقابل پارامترهای شیب و سرعت دوران غلتک‌ها حاکی از آن است که بیشترین متوسط ناخالصی نسبی به میزان ۳۲/۵۶٪ و در سرعت دورانی [rpm] ۵۰ و شیب ۲ درجه وجود دارد. در حالی که کمترین میزان ناخالصی نسبی به میزان ۱۷/۵۶٪ در سرعت دورانی [rpm] ۱۱۰ و شیب ۱۲ درجه وجود داشته است.



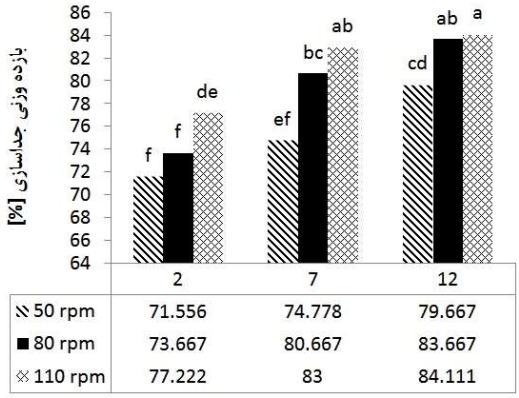
	2	7	12
50 rpm	32.56	27.78	21.78
80 rpm	30.11	21.22	17.89
110 rpm	26.11	18.67	17.56

شکل ۱۰. تأثیر متقابل پارامترهای شیب و سرعت دوران غلتک‌ها روی متوسط ناخالصی نسبی دستگاه

* درج حروف غیرمشابه، بیانگر وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵٪ است.

شکل شماره ۱۰ همچنین نشان می‌دهد که در شیب‌های ۷ و ۱۲ درجه تفاوت معنی داری 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 بکار گرفت که هم در ظرفیت کاری دستگاه تأثیر مثبت می‌گذارد و هم متوسط ناخالصی نسبی را کاهش می‌دهد. 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 مغز بیشتری از گروه های ریز و متوسط توانسته‌اند با گذرگاه اندازه بندی تماس پیدا کنند و از افتادن آن‌ها در دسته های اشتباه جلوگیری شده است که همین امر از میزان متوسط ناخالصی دستگاه کاسته است.

شکل شماره ۱۱ تأثیرات متقابل شیب و سرعت دورانی غلتک‌ها روی بازده وزنی جداسازی دستگاه اندازه بند مغز بادام را نشان می‌دهد. همان طور 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 [rpm] ۵۰ بدست آمده است. در حالی که بیشترین میزان بازده وزنی (۸۴/۱٪) در شیب ۱۲ درجه و سرعت دورانی [rpm] ۱۱۰ حاصل شده است. لذا همان طور که گفته شد بهتر است دستگاه در سرعت‌ها و شیب‌های بالاتر بکار گرفته شود زیرا هم از میزان متوسط ناخالصی نسبی دستگاه می‌کاهد و هم بر میزان بازده وزنی دستگاه تأثیر مثبت می‌گذارد.

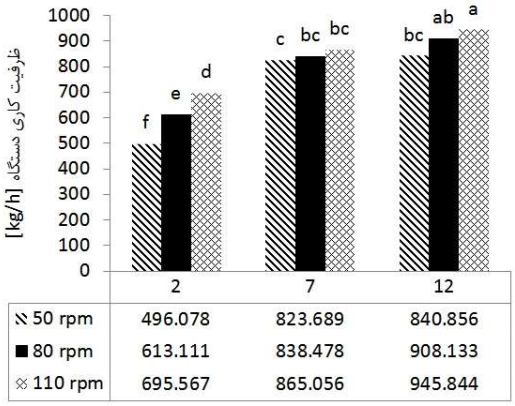


شکل ۱۱. تأثیر متقابل شیب و سرعت دورانی غلتک‌ها روی بازده وزنی جداسازی دستگاه اندازه بند

* درج حروف غیرمشابه روی ستون‌ها، بیانگر وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵٪ است.

علت افزایش بازده وزنی جداسازی دستگاه را می‌توان به تسهیل سُرش و غلتش مغز بادام‌ها در طول مسیر اندازه بندی 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 اندازه بندی رو به جلو حرکت می‌کنند و از روی هم افتادگی آن‌ها کاسته می‌شود. لذا تعداد مغزهای ریز و متوسط بیشتری فرصت اینکه با گذرگاه اندازه بندی تماس پیدا کرده و در دسته های صحیح خود اندازه بندی شوند را بدست 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 اندازه بند مغز بادام ساخته شده نشان می‌دهد. از شکل پیداست که در هر سه سطح شیب ۲، ۷ و ۱۲ درجه و به ازای هر سطح سرعت دورانی ۵۰ ، ۸۰ و ۱۱۰ دور در دقیقه، 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 تأثیرات مثبت سرعت‌های بالاتر روی کاهش شاخص متوسط ناخالصی نسبی و افزایش بازده وزنی جداسازی، بهتر است از سرعت و شیب‌های بیشتر برای واحد های اندازه بندی (غلتک‌ها) استفاده گردد.

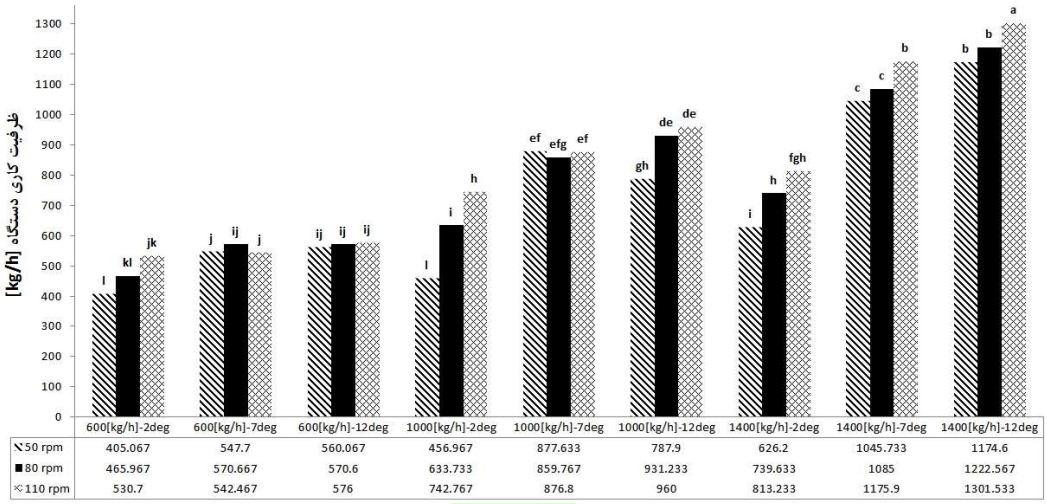


	2	7	12
▨ 50 rpm	496.078	823.689	840.856
■ 80 rpm	613.111	838.478	908.133
▩ 110 rpm	695.567	865.056	945.844

شکل۱۲. تأثیر متقابل شیب و سرعت دورانی غلتک‌ها روی ظرفیت کاری دستگاه اندازه بند

* درج حروف غیرمشابه روی ستون‌ها، بیانگر تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵٪ است.

شکل شماره ۱۳ اثر متقابل سه‌گانه پارامترهای دبی تغذیه و شیب و سرعت دورانی غلتک‌ها را روی ظرفیت کاری دستگاه اندازه بند مغز بادام ساخته شده نشان می‌دهد. از شکل می‌توان ملاحظه کرد که در هر گروهِ شیب‌های ۲، ۷ و ۱۲ درجه‌ی 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 حدود [kg/8h] ۴۰۵ ، در دبی تغذیه [kg/8h] ۶۰۰ و شیب ۲ درجه و سرعت دوران [rpm] ۵۰ بدست آمده است. در حالی که بیشترین ظرفیت کاری دستگاه به میزان تقریبی [kg/8h] ۱۳۰۱ ، در دبی تغذیه [kg/8h] ۱۴۰۰ و شیب ۱۲ درجه و سرعت دوران [rpm] ۱۱۰ 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. هر چند افزایش دبی منجر افزایش در شاخص متوسط ناخالصی نسبی دستگاه می‌شود اما با انجام عملیات بهینه سازی 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.



شکل ۱۰. اثر متقابل سه‌گانه پارامترهای دبی و شیب و سرعت دورانی غلتک‌ها روی ظرفیت کاری دستگاه اندازه بند مغز بادام

* درج حروف غیرمشابه روی ستون‌ها، بیانگر تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵٪ است.

نتیجه گیری

دستگاه جدیدی برای اندازه بندی مغز بادام بر مبنای مکانیزم غلتک‌های واگرا طراحی و ساخته شد. نتایج ارزیابی دستگاه اندازه بند 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 کاملا معنی دار بوده و تفاوت معنی داری 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 اندازه بندی (غلتک‌ها)، بر شاخص‌های ارزیابی دستگاه تأثیر مثبت می‌گزارد. هر چند که افزایش بیش از حد هر کدام از این عوامل بر عملکرد دستگاه نتیجه منفی گذاشته و موجب عوارضی همچون پرت شدن مغزها به بیرون از دستگاه یا به دسته های نامناسب آن‌ها می‌گردد. نتایج ارزیابی دستگاه نشان داد مناسب‌ترین عملکرد دستگاه در دبی تغذیه [kg/8h] ۱۰۰۰، شیب ۹ درجه غلتک‌ها و سرعت دورانی [rpm] 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 روش‌هایی مانند بهینه سازی به دست آورد. محاسبات صورت گرفته برای تعیین میزان توان مورد نیاز برای کار دستگاه، نشان داد که در مقایسه با دستگاه های ارتعاشی موجود در سطح بازار، توان مورد نیاز برای راه اندازی دستگاه حاضر بسیار کمتر می‌باشد. به طوری که حتی توان مورد نیاز دستگاه اندازه بند غلتکی در مقیاس صنعتی نیز از نمونه های صنعتی دستگاه های 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 اندازه بندی مغز بادام ساخته شده، بسیار اندک و نزدیک به صفر است که این یکی از نقاط قوت عمده دستگاه ساخته شده جدید می‌باشد.

منابع

1. Farahmand M. Hassan-beygi S.R. Kianmehr M.H. Ghanbarian D. 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 from : http://www.faostat.fao.org
3. Ghanbarian D. Kolchin N.N. HasanBeygi S.R. Ebrahimi R. 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. toomsaengtong S. Inprasit C. 2007. Design and Testing of a Mangosteen Fruit Sizing Machine. Journal of Food Engineering, 79 : 745–751.
6. Molla-Gholamzade A. Ghanbarian D. Fadavi A. 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. Mihan-khah N. 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. Hashemi J. 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. Eshraghi R. Pour-saeed B. 2006. Economical Analyze of Product of Almond in Chahamahal&Bakhtiari Province. Journal of Agricultural Science, 12(1) : 1-13 (in Farsi).