طراحی ساخت و ارزیابی دستگاه اندازه‌بند بنه زعفران (۶۰۳)

محمد فرهمند[۱]، سید رضا حسن‌بیگی[۲]، محمد حسین کیان‌مهر[۲]، داوود قنبریان[۳]

چکیده

زعفران گیاهی است که در مناطق خشک و نیمه خشک کشت می‌شود. بیش از ۹۲٪ زعفران ایران در استان های خراسان کشت می‌شود. تحقیقات قبلی نشان داده است که کشت بنه‌های (پیاز) بالای ۵ گرم باعث افزایش عملکرد گیاه زعفران می‌شود. در ایران اندازه‌بندی بنه‌های زعفران به صورت دستی انجام می‌گیرد که این کار موجب افزایش هزینه‌های عملیات و کاهش کنترل بر وزن بنه‌ها می‌شود. بنابراین در این تحقیق دستگاهی به منظور اندازه‌بندی بنه‌های زعفران طراحی، ساخت و ارزیابی شده است. دستگاه ساخته شده یک نوع اندازه‌بند گریفای دوار می‌باشد که اصول کاری آن بر مبنای عبور محصول از فاصله قابل تنظیم بین یک مخروط دوار و یک حلقه ثابت شکل گرفته است به گونه‌ای که در ابتدای مسیر فقط بنه‌های ریز اجازه عبور از گذرگاه را می-یابند و در انتهای مسیر با افزایش فاصله بین حلقه و مخروط، بنه‌های درشت نیز عبور می‌کنند. مهمترین پارامترهای دخیل در عملکرد این دستگاه قطر، شیب و سرعت چرخش مخروط دوار بودند؛ لذا از یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی به منظور تعیین تأثیر تغییر در فاکتورها بر روی عملکرد دستگاه استفاده شد. همچنین برای ارزیابی دستگاه از شاخص‌های متوسط ناخالصی نسبی دستگاه ($\bar{C}_R$)، بازده یا دقت سورت (E_w) و ظرفیت کاری دستگاه (Q) استفاده شد. نتایج حاصل نشان داد که در تمامی آزمایش ها تأثیر پارامترهای قطر، شیب و سرعت چرخش مخروط بر روی شاخص‌های ارزیابی در سطح ۱٪ معنی‌دار بوده است و بهترین عملکرد دستگاه در شیب ۲۲ درجه، قطر ۳۷/۵ سانتیمتر و سرعت چرخش ۳۰ دور بر دقیقه مخروط دوار به دست آمد. در این حالت متوسط ناخالصی دستگاه ۱۲/۶۴٪ ، بازده سورت ۸۹/۱۶٪ و ظرفیت کاری دستگاه ۸۴/۶۰ کیلوگرم در هر ساعت به دست آمد.

کلیدواژه: زعفران، بنه زعفران، طراحی، ساخت، ارزیابی

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین های کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پست الکترونیک: mf62_farahmand@yahoo.com
۲- استادیار گروه امور فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران
۳- استادیار گروه ماشین های کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

مقدمه

زعفران زراعی گیاهی از خانواده زنبق می‌باشد که به عنوان گران قیمت‌ترین گیاه جهان محسوب می‌شود. منشأ واقعی این گیاه بطور دقیق مشخص نیست ولی برخی مستندات واژگانی و تاریخی آن را بومی دامنه‌های الوند ایران نشان می‌دهند [۱]. از مشخصه‌های بارز این گیاه می‌توان به نیاز کم آبی و بهره‌وری بالای آب در مقایسه با سایر محصولات کشاورزی اشاره کرد. نیاز کم آبی این گیاه آن را برای کشت در مناطق خشک و کم باران ایران همچون استان‌های خراسان و فارس مناسب گردانیده و موجب درآمدزایی بالا و اشتغال‌زایی برای روستائیان این مناطق و جلوگیری از مهاجرت آنها شده است. تولید جهانی زعفران بیش از ۲۳۰ تن در سال برآورد می‌شود که بیش از ۹۰٪ آن در کشور متعلق به ایران است. کلاله زعفران که قسمت خوراکی این محصول می‌باشد، به جهت دارا بودن عطر، طعم و رنگ مطلوب، مصارف زیادی در صنایع غذایی، قنادی، نوشابه‌های الکلی و غیر الکلی و صنایع لبنی دارد [۱۰]. همچنین تأثیر این گیاه بر روی برخی بیماری‌ها از جمله تومورهای سرطانی به اثبات رسیده است [۴، ۱۴ و ۱۵]. گیاه زعفران بدلیل تریپلوئید بودن عقیم است و کپسول و بذر در آن تشکیل نمی‌شود و یا به ندرت تشکیل می‌شود [۱۲]. به همین دلیل این گیاه هر ساله از جوانه‌های موجود در پیاز (بنه) که در واقع ساقه زیرزمینی ضخیم شده‌ای است تولید شده و رشد و نمو می‌کند. لذا مهمترین کاربرد پیاز (بنه) زعفران در حال حاضر استفاده از آن به عنوان بذر جهت تکثیر گیاه می‌باشد. از جمله مصارف دیگر بنه می‌توان به استفاده از آن برای تغذیه دام و همچنین برخی مصارف دارویی از جمله خاصیت ضد سرطانی آن اشاره کرد [۶ و ۱۰].

در طی سالیان اخیر تحقیقات متعددی تأثیر جرم بنه کشت شده بر عملکرد زعفران را به اثبات رسانده‌اند. بر اساس توصیه ملافیلابی بنه‌های زعفران را می‌توان به چهار گروه ۴-۲ (بنه ریز)، ۶-۴ (بنه متوسط)، ۸-۶ (بنه درشت) و ۸ گرم به بالا (خیلی درشت) تقسیم‌بندی نمود [۱۰]. دیماسترو و روتا طی تحقیقات خود در ایتالیا گزارش کردند که اندازه پیاز در میزان گلدهی اثر معنی‌داری داشته ولی در وزن کلاله اثر معنی‌داری ندارد [۵]. پاندی و همکاران با کاشت پیازهایی به قطر ۰/۵ تا ۳/۵ سانتی‌متر در یک طرح بلوک کامل تصادفی گزارش کردند که افزایش قطر بنه زعفران سبب افزایش احتمال روئیدن گیاه، تعداد برگها و درصد گل‌آوری آنها می‌شود [۱۶]. مشایخی و لطیفی طی تحقیقی استفاده از بنه‌هایی به قطر بیشتر از ۲/۵ سانتی‌متر (۶ گرم به بالا) را برای حداکثر تولید توصیه نمودند [۳]. امیدبیگی و همکاران نیز در تحقیق خود بر روی زعفران شهرستانهای فردوس و نیشابور با اجرای یک طرح بلوک کامل تصادفی نشان دادند که از طریق اندازه‌بندی و کاشت پیازهای درشت می‌توان در همان سال اول به محصولی رسید که کشاورزان سنتی در سال سوم به بعد به آن دست می‌یابند [۲]. صادقی نیز با اجرای تحقیق اعلام نمود افزایش هر چه بیشتر جرم بنه‌های کشت شده احتمال گل‌آوری و تعداد گل گیاه زعفران را افزایش می‌دهد. وی با پایین دانستن احتمال گل‌آوری بنه‌های زیر ۴ گرم توصیه نمود جهت کشت از بنه‌های بالاتر از ۵ گرم استفاده شود [۱۹]. حسن‌بیگی و همکاران با اندازه-گیری جرم بیش از ۱۵۰۰ عدد بنه زعفران بدست آمده از سه شهر استان خراسان نشان دادند که توزیع فراوانی جرم بنه‌ها در هر سه شهر چوله به چپ بوده و با توجه به دارا بودن میانگین جرم ۵ تا ۶ گرم، با جداسازی بنه‌ها بر مبنای ۶ گرم بخش زیادی از بنه-ها (حدود ۶۵٪) حذف خواهند شد. لذا آنها در شرایط فعلی اندازه‌بندی و کشت بنه‌های بالای ۵ گرم را توصیه نمودند [۷].

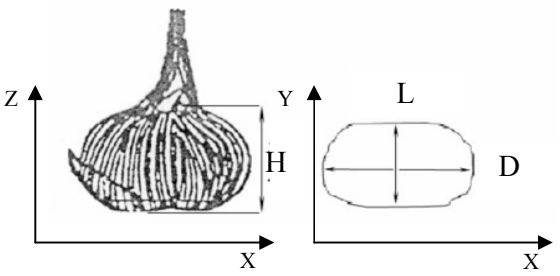
مهمترین پارامترها در طراحی و ساخت سیستم‌های سورتینگ، جابجایی، فرآوری و بسته‌بندی محصولات کشاورزی خواص فیزیکی آنها می‌باشد. از بین این خواص، جرم، حجم، ابعاد، سطح تصویر و مرکز ثقل مهمترین پارامترها در طراحی سیستم‌های اندازه‌بندی می‌باشند. [۱۳، ۱۸، ۲۰ و ۲۱]. بطور کلی دستگاههای سورت‌کننده‌ای که برای اندازه‌بندی محصولات سبک و سنگین از یکدیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند بر دو نوع می‌باشند. نوع اول مستقیماً با اندازه‌گیری جرم اندازه‌های جرمی مختلف را تشخیص می‌دهند که به اندازه‌بندهای جرمی یا وزنی معروف می‌باشند. نوع دوم با اندازه‌گیری پارامترهای دیگر– نظیر ابعاد و سطح تصویری محصول – بطور غیر مستقیم جرم را اندازه‌گیری می‌کنند. طبیعتاً نوع اول دقت بالاتری دارند ولی وجود معایبی از جمله هزینه‌های بالای اولیه و نگهداری دستگاه، زمانبری و پیچیدگی عملیات موجب گردیده‌اند که گرایش به سمت این دستگاهها کم باشد. جداسازی بر اساس سطح تصویری نیز به مکانیزم‌های دارای دوربین‌های خاص نیاز دارد که گران‌قیمت می‌باشند [۹، ۱۳، ۱۷ و ۲۰]. بنابراین اندازه‌بندی ابعادی به عنوان یک روش اقتصادی در طراحی سیستم‌های اندازه‌بندی اکثر محصولات کشاورزی از جمله بنه زعفران می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. اندازه‌بندی بیشتر محصولات کشاورزی به صورت ماشینی انجام می‌گیرد. ماشینهای متعددی برای اندازه‌بندی میوه‌هایی چون سیب، پرتقال، نارنگی و منگوستین ساخته شده‌اند [۸، ۹، ۱۷و ۱۸]. این ماشینها را می‌توان به چند دسته تقسیم کرد: الف) اندازه‌بندهای تسمه و تخته‌ای، ب) اندازه‌بندهای نقاله‌ای سوراخدار و ج) اندازه‌بندهای جرمی [۱۷]. با

این وجود سورت زعفران در ایران به صورت سنتی انجام می‌گیرد به طوری که کشاورزان ایرانی بنه‌ها را توسط دست برداشت، سورت، اندازه‌بندی و کشت می‌کنند [۱۱]. معایب سورت دستی زعفران را می‌توان زمان‌بری طولانی، هزینه کارگری بالا و عدم کنترل دقیق عملیات اندازه‌بندی دانست [۷]. واضح است که غلبه بر این مشکلات تنها از طریق جایگزینی فرآیند تولید بومی و سنتی با کشت مکانیزه امکان پذیر است. از آن‌جایی که گیاه زعفران عقیم است و تنها راه تکثیر آن کشت بنه‌های آن می‌باشد، لذا طراحی و ساخت دستگاههایی به منظور انجام عملیات اندازه‌بندی بنه‌ها می‌تواند گامی در جهت توسعه کشت مکانیزه باشد. با توجه به عدم وجود دستگاه اندازه‌بند بنه زعفران، هدف این تحقیق طراحی، ساخت و ارزیابی یک دستگاه اندازه‌بند مکانیکی از نوع ابعادی برای اندازه‌بندی بنه زعفران می‌باشد.

مواد و روشها

الف) انتخاب دستگاه مناسب

به منظور انتخاب نوع دستگاه مناسب جهت اندازه‌بندی ابعادی نیاز به تعیین همبستگی بین ابعاد با جرم محصول می‌باشد. ساخت چنین دستگاهی در صورت بالا بودن این همبستگی توجیه پذیر می‌باشد. لذا بنه زعفران از مزارع سه منطقه مهم تولید کننده زعفران در استان خراسان رضوی – تربت‌حیدریه، گناباد و کاشمر – تهیه شد. بنه‌ها به پردیس ابوریحان دانشگاه تهران واقع در شهرستان پاکدشت برای انجام آزمایشها منتقل شدند. بعد از حذف پوشینه‌ها، زواید و دم بنه‌ها و تنها باقی گذاردن یک لایه پوست بر روی بنه‌ها، جرم و ابعاد ۲۰۰ عدد بنه از هر منطقه اندازه‌گیری شد. بر روی هر بنه سه محور عمود بر هم تعریف شد (شکل ۱). اولی محور اصلی بنه که در راستای دم آن قرار دارد (ارتفاع بنه، H). محورهای دوم و سوم که در صفحه عمود بر محور اصلی قرار دارند، در راستای قطرهای بزرگ (طول، L) و قطر کوچک (عرض، D) بنه می‌باشند. ابعاد بنه‌ها در راستای این سه محور با استفاده از یک کولیس دیجیتال با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری جرم بنه‌ها (M) توسط یک ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم انجام شد.



شکل ۱. ابعاد و محورهای اصلی بنه زعفران.

ب) طراحی و ساخت دستگاه

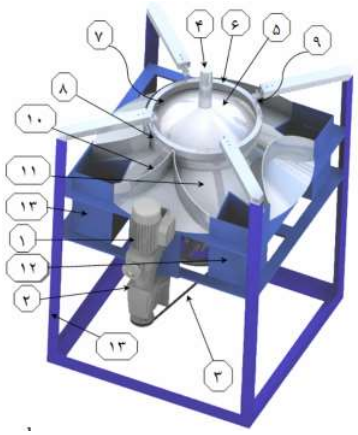
در این تحقیق با توجه به شکل هندسی بنه‌های زعفران و نتایج حاصل از اندازه‌گیری ابعاد و جرم بنه‌ها و همبستگی موجود بین ابعاد و جرم بنه‌ها دستگاه اندازه‌بند گریفای دوار انتخاب شد. برای تعیین گذرگاه سورت که محصول کوچکتر بتواند از آن عبور کند و محصول بزرگتر نتواند از آن خارج شود از روش ارائه شده توسط پلگ استفاده شد. برای تعیین فاصله بهینه گذرگاه سورت ابتدا به تعداد ۲۰۰ عدد بنه زعفران به صورت تصادفی انتخاب و ابعاد آنها اندازه‌گیری شد. سپس میانگین‌ها (μ_1 و μ_2) و انحراف استاندارد قطرها (σ_1 و σ_2) برای دو گروه جرمی مورد نظر (کمتر و بیشتر از ۵ گرم) تعیین شدند، در نهایت با استفاده از رابطه (۱) فاصله مورد نیاز (X_{s1}) محاسبه شد [۱۷].

$$X_{s1}=\left[\frac{\alpha_2\sigma_1^2-\alpha_1\sigma_2^2}{\sigma_1^2-\sigma_2^2}\right]\pm\left[\left(\frac{\alpha_2\sigma_1^2-\alpha_1\sigma_2^2}{\sigma_1^2-\sigma_2^2}\right)^2-\frac{\alpha_2^2\sigma_1^2-\alpha_1^2\sigma_2^2-2\sigma_1^2\sigma_2^2\ln(\sigma_1/\sigma_2)}{\sigma_1^2-\sigma_2^2}\right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

از علامت منفی یا مثبت رابطه (۱) باید طوری استفاده نمود تا نتیجه در محدوده $\mu_1 \le X_{s1} \le \mu_2$ قرار گیرد.

شکل (۲) طرحی از دستگاه اندازه‌بند گریفای دوار ساخته شده را نشان می‌دهد. دستگاه اندازه‌بند ساخته شده شامل: مخروط دوار، حلقه دایروی اندازه‌بندی (فاصله ایجاد شده بین مخروط دوار و حلقه دایروی گذرگاه سورت را تشکیل می‌دهند)، مخزن تغذیه، ظرفهای جمع‌آوری بنه‌های زعفران، موتور الکتریکی، جعبه‌دنده دور متغیر و سیستم انتقال قدرت بود که همگی بر روی یک شاسی فولادی مناسب نصب شدند.

به منظور بررسی اثر پارامتر شیب مخروط دوار بر دقت دستگاه ساخته شده، تعداد سه عدد مخروط با شیب‌های ۲۹، ۲۲ و ۱۵ درجه؛ به ترتیب بزرگتر، مساوی و کوچکتر از زاویه اصطکاک بنه‌ها با ورق پلی‌اتیلن ساخته شد. مخروطها به روش تراشکاری- مخروط تراشی- از یک استوانه توپر پلی‌اتیلن به قطر ۴۱۰ میلی‌متر ساخته شدند. قطر قاعده مخروط‌های ساخته شده ۴۰۰ میلی‌متر (حداکثر قطر مورد نظر) و ضخامت آنها ۴۰ میلی‌متر بود. جهت دستیابی به قطرهای کوچکتر، چهار عدد حلقه با قطرهای ۳۷/۵، ۳۳، ۲۹/۵ و ۲۶ سانتی متر جهت قرارگیری بر روی مخروط‌ها و ایجاد گذرگاه سورت ساخته شد. حلقه‌ها به گونه‌ای ساخته شدند که پس از خروج بنه‌های زیر پنج گرم در طول مسیر، بنه‌های بالای پنج گرمی که اجازه خروج از گذرگاه سورت را پیدا نکرده‌اند در انتهای مسیر به یکباره خارج شوند و وارد ظرف خروجی مربوط به خود گردند. برای تأمین سطوح مختلف سرعت چرخش مخروط دوار (۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ دور بر دقیقه)، از یک الکتروموتور سه فاز ۱۳۹۰ دور بر دقیقه، ۰/۷۵ کیلووات، یک جعبه‌دنده کاهنده دور متغیر با نسبت کاهش دور ۱:۱۰ تا ۱:۲۵۰ و یک مجموعه پولی و تسمه با نسبت کاهش دور ۱:۲/۵ استفاده شد. لازم به ذکر است که در سرعتهای دورانی کمتر از ۱۰ دور بر دقیقه لرزش دستگاه بسیار زیاد و ظرفیت آن نیز خیلی کم بود، این در حالی است که در سرعتهای دورانی بیشتر از ۴۰ دور بر دقیقه آسیب‌های وارده به بنه‌ها افزایش یافته و سرعت بالای چرخش مخروط سبب پرتاب بنه‌ها به بیرون از دستگاه می‌شد. از دو عدد سطل پلاستیکی دو لیتری نیز به عنوان ظروف خروجی گروه‌های ابعادی مختلف استفاده شد.



(۱) الکتروموتور (۲) جعبه‌دنده کاهنده دور متغیر (۳) مجموعه پولی و تسمه (۴) محور چرخنده (۵) مخروط دوار (۶) حلقه دایروی اندازه‌بندی (۷) گذرگاه خروج بنه‌های ریز (۸) گذرگاه خروج بنه‌های درشت (۹) پیچ تنظیم فاصله گذرگاه (۱۰) صفحات هدایت کننده بنه‌ها به داخل ظروف خروجی (۱۱) مخروط ثابت که بنه‌ها پس از عبور از گذرگاه بر روی آن سقوط می‌کنند (۱۲) ظرف جمع‌آوری بنه‌های ریز (۱۳) ظرف جمع‌آوری بنه‌های درشت (۱۴) شاسی دستگاه. (۱۵) یاتاقان-های لغزشی نگهدارنده محور.

شکل ۲. دستگاه اندازه‌بند گریفای دوار جهت اندازه‌بندی بنه‌های زعفران به دو دسته ریز و درشت

ج) زیابی

پنج پارامتر سرعت چرخش مخروط، قطر کاری مخروط، زاویه (شیب) مخروط، میزان تغذیه دستگاه و نوع تغییر فاصله گذرگاه بین دو گروه به عنوان عوامل مؤثر بر روی عملکرد دستگاه شناسایی شدند. به منظور امکان تحلیل مناسبتر داده‌ها و جلوگیری از پیچیده شدن بی مورد طرح، میزان تغذیه دستگاه به صورت دستی و بگونه‌ای انجام گرفت که بنه‌ها یک ردیف ممتد را تشکیل دهند و فقط فاصله ناچیزی بین هر بنه با بنه‌های قبل و بعد وجود داشته باشد. نوع تغییر گذرگاه سورت بین دو گروه نیز با توجه به توصیه جاریموپاس و همکاران بصورت پله‌ای در نظر گرفته شد [۹]. در نهایت ارزیابی دستگاه با استفاده از سه پارامتر دیگر یعنی شیب، قطر و سرعت چرخش مخروط دوار با انجام یک آزمایش فاکتوریل سه عاملی در قالب طرح کاملاً تصادفی به منظور تعیین اثر این پارامترها بر روی عملکرد دستگاه انجام گرفت. با توجه به عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین جرم بنه‌های سه منطقه، تنها از بنه‌های منطقه گناباد برای ارزیابی دستگاه استفاده شد. قبل از انجام آزمایشها مواد ناخالصی و پوشینه‌های زاید جدا شدند به طوریکه هر بنه تنها دارای یک لایه پوشینه بود. فاصله گذرگاه سورت نیز توسط رابطه (۱) محاسبه و در تمامی آزمایشها ثابت نگه

داشته شد. برای انجام هر آزمایش از حدود یک کیلوگرم بنه زعفران تمیز شده استفاده شد. سپس بطور دستی و با کمک یک ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم، بنه‌های کوچکتر و بزرگتر از پنج گرم از هم جدا شده و به منظور تشخیص آنها در طول آزمایش، بنه‌های بزرگتر توسط یک اسپری رنگ‌آمیزی شدند. تغذیه به روش دستی و به گونه‌ای انجام گرفت که بنه‌ها یک ردیف ممتد را تشکیل دهند. هر بنه پس از افتادن بر روی مخروط با توجه به شیب مخروط و نیروی گریز از مرکز روی مخروط غلتیده و به سمت گذرگاه سورت در محیط مخروط هدایت می‌شود و در صورتی که قطر بزرگ آن کوچکتر از گذرگاه باشد، از گذرگاه عبور می‌کند. بنه‌های بزرگتری که از گذرگاه عبور نکرده‌اند در انتهای مسیر با بزرگتر شدن گذرگاه وارد ظرف خروجی مربوط به خود می‌شوند. زمان انجام هر آزمایش با یک زمان‌سنج محاسبه و ثبت گردید. هر آزمایش در سه تکرار انجام شد. در حین انجام آزمایشها پس از انجام هر ده آزمایش به جهت آسیب‌دیدگی و تغییر شکل احتمالی بنه‌ها، بنه‌های جدید جایگزین می‌شدند. پس از انجام هر آزمایش بنه‌های ریز و درشت (کوچکتر و بزرگتر از پنج گرم) درون هر ظرف خروجی از یکدیگر تفکیک شده و تعداد بنه-هایی که به درستی اندازه‌بندی شده وآنهایی که به درستی اندازه‌بندی نشده‌اند، شمارش و ثبت گردید.

برای تحلیل و ارزیابی دستگاه از شاخص‌های متوسط ناخالصی نسبی دستگاه ($\overline{C}_R$)، درصد بازده وزنی سورت (E_w) و ظرفیت کاری دستگاه (Q) استفاده شد. برای محاسبه این شاخص‌ها مقادیر ارزش نسبی بنه‌های ریز و درشت در محصول خروجی (K_i)، بر اساس برآوردی از سطح کاربرد و قیمت بازار، به ترتیب ۰/۲ و ۱ در نظر گرفته شد. روابط زیر نحوه اندازه‌گیری این شاخص‌ها را نشان می‌دهند [۱۶]. س از انجام آزمایش‌ها، داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS مورد تجزیه آماری قرار گرفتند. کلیه آزمونهای مقایسه میانگین سطوح اثرات اصلی و متقابل فاکتورها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام گرفتند.

$$\overline{C}_R = \sum N_{ij} / \sum N_i \quad (۲)$$

$$E_W = \sum \left(P_{gi} G_i / Q P_i\right) W_i \quad (۳)$$

$$Q = m_t / t \quad (۴)$$

$$W_i = K_i P_i / \sum K_i P_i \quad (۵)$$

$$G_i = m_i / t \quad (۶)$$

$$\mathrm{P_i} = \mathrm{N_i} / \sum \mathrm{N_i} \quad (۷)$$

در روابط فوق:

$\overline{C}_R$ = متوسط ناخالصی نسبی دستگاه

E_w = درصد بازده وزنی (ارزشی) سورت

Q = ظرفیت کاری دستگاه

N_{ij} = تعداد بنه اندازه i که درون ظرف اندازه jسقوط کرده‌اند

N_i = تعداد کل بنه‌های اندازه i که وارد ماشین شده‌اند

$\sum N_i$ = تعداد کل بنه‌هایی که وارد ماشین شده‌اند

P_{gi} = نسبت بنه اندازه i به کل بنه‌های موجود در ظرف خروجی i

W_i = تابع وزنی (ارزشی)

K_i = نسبت ارزش نسبی درجه i

P_i = نسبت بنه‌های اندازه i به کل بنه‌ها در شروع کار

G_i = سرعت خروج بنه‌های اندازه i (تعداد در هر ساعت)

m_i = تعداد کل بنه‌ها در ظرف خروجی i

m_t = تعداد کل بنه‌ها

t = زمان اندازه‌بندی (ساعت).

نتایج و بحث

الف) پارامترهای ابعادی بنه زعفران

نتایج حاصل از اندازه‌گیری ابعاد و جرم بنه‌های جمع‌آوری شده از سه منطقه تربت‌حیدریه، گناباد و کاشمر در استان خراسان رضوی در جدول (۱) آمده است. از این جدول پیداست که تفاوتهای موجود بین جرم بنه‌های مناطق مختلف معنی‌دار نمی‌باشد و با توجه به این موضوع، در صورت ارزیابی دستگاه بر روی بنه‌های یک منطقه می‌توان نتایج را به سایر مناطق نیز تعمیم داد. در جدول (۲) ضرایب همبستگی پیرسون بین ابعاد با جرم بنه‌های مناطق تربت‌حیدریه، گناباد و کاشمر آمده‌اند. همانگونه که در جدول (۲) مشاهده می‌شود دو بعد قطر بزرگ و قطر کوچک دارای همبستگی بیش از ٪۹۰ با جرم بنه‌ها می‌باشند و می‌توان از هر کدام از آنها برای اندازه‌بندی بنه استفاده نمود. وجود پوشینه‌های زبر و منعطف گرداگرد بنه، همچنین زایده (دم) حاصل از پوشینه در امتداد ارتفاع، در عمل موجب شده تا در مورد بخشی از بنه‌ها ارتفاع و در موارد دیگر طول بعد بزرگتر باشد؛ لذا استفاده از اندازه‌بندهایی که بر اساس اندازه‌گیری بعد بزرگتر کار می‌کنند برای اندازه‌بندی بنه زعفران مشکل ایجاد می‌کند. با در نظر گرفتن این موضوع استفاده از جداسازهایی که جداسازی را بر اساس بعد کوچکتر – که در مورد بنه زعفران عمدتاً قطر کوچک می‌باشد – انجام می‌دهند مناسب‌تر تشخیص داده شد. یکی دیگر از مشکلات اساسی جداسازی بنه زعفران، مقاومت در برابر غلتش آن می‌باشد. شکل خاص بنه زعفران و وجود پوشینه‌های لیفی بر روی آن موجب شده تا مقاومت در برابر غلتش این محصول بسیار بالا باشد. لذا انتخاب دستگاههای دواری که خود موجب تسهیل غلتش بنه‌ها شوند دارای مزیت می‌باشد. با توجه به دلایل فوق، در این تحقیق دستگاه جداساز دوار گریفا که بر اساس اندازه‌گیری بعد کوچک محصول کار می‌کند، طراحی، ساخته و ارزیابی شد.

جدول (۱). ابعاد و جرم بنه زعفران در سطح رطوبت طبیعی

خاصیت فیزیکی	منطقه			
	تربت‌حیدریه	گناباد	کاشمر	مخلوط سه منطقه
جرم (g)	۴/۷۱±۲/۷۱a	۴/۳۸±۲/۵۰a	۴/۲۲±۱/۹۸a	۴/۴۴±۲/۴۲
ارتفاع (mm)	۱۸/۳۹± ۲/۹۶b	۱۹/۱۵±۲/۸۳a	۱۸/۸۷±۲/۶۷ab	۱۸/۸۰±۲/۸۴
قطر کوچک (mm)	۱۹/۶۱±۴/۳۰a	۱۸/۷۱±۴/۴۹b	۱۸/۲۴±۳/۶۸b	۱۸/۸۵±۴/۲۰
قطر بزرگ (mm)	۲۲/۱۴±۴/۹۴a	۲۲/۰۰±۴/۹۴a	۲۱/۴۴±۳/۷۷a	۲۱/۸۶±۴/۵۹

* درج حروف غیر مشابه در هر ردیف بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ٪۵ است

جدول (۲). ضرایب همبستگی پیرسون بین ابعاد با جرم بنه‌های مناطق تربت‌حیدریه، گناباد و کاشمر

پارامتر	جرم	ارتفاع	قطر کوچک	قطر بزرگ
جرم	۱			
ارتفاع	۰/۸۱۶**	۱		
قطر کوچک	۰/۹۱۶**	۰/۷۲۵**	۱	
قطر بزرگ	۰/۹۵۱**	۰/۸۱۲**	۰/۸۸۶**	۱

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪

گذرگاه بهینه سورت را می‌توان با استفاده از داده‌های حاصل از اندازه‌گیری جرم و قطر کوچک بنه‌ها با استفاده از رابطه (۱) محاسبه نمود. برای محاسبه گذرگاه بهینه سورت جهت جداسازی بنه‌ها به دو گروه کوچکتر و بزرگتر از پنج گرم می‌بایست میانگین و انحراف معیار هر دو گروه (زیر پنج و بالای پنج گرم) را محاسبه و در رابطه (۱) قرار داد ولی از آنجایی که گستره تغییرات در این گروه‌ها زیاد است، گذرگاه محاسبه شده به این طریق چندان دقیق نخواهد بود. لذا برای محاسبه دقیق‌تر فرض شد که جداسازی به دو گروه ۵–۳ و ۷–۵ گرم مد نظر باشد و بر اساس میانگین و انحراف معیار قطر کوچک این دو گروه، گذرگاه بهینه محاسبه شد. روشن است که در ظرف ۵–۳ گرم، تمامی بنه‌های کوچکتر از پنج گرم و در ظرف ۷–۵ گرم نیز، تمامی بنه‌های بزرگتر از پنج گرم قرار خواهند گرفت. با استفاده از این روش برای طراحی و تنظیم گذرگاه بهینه سورت مقدار ۲۰/۱۴ میلی‌متر برای بنه‌های منطقه گناباد بدست آمد.

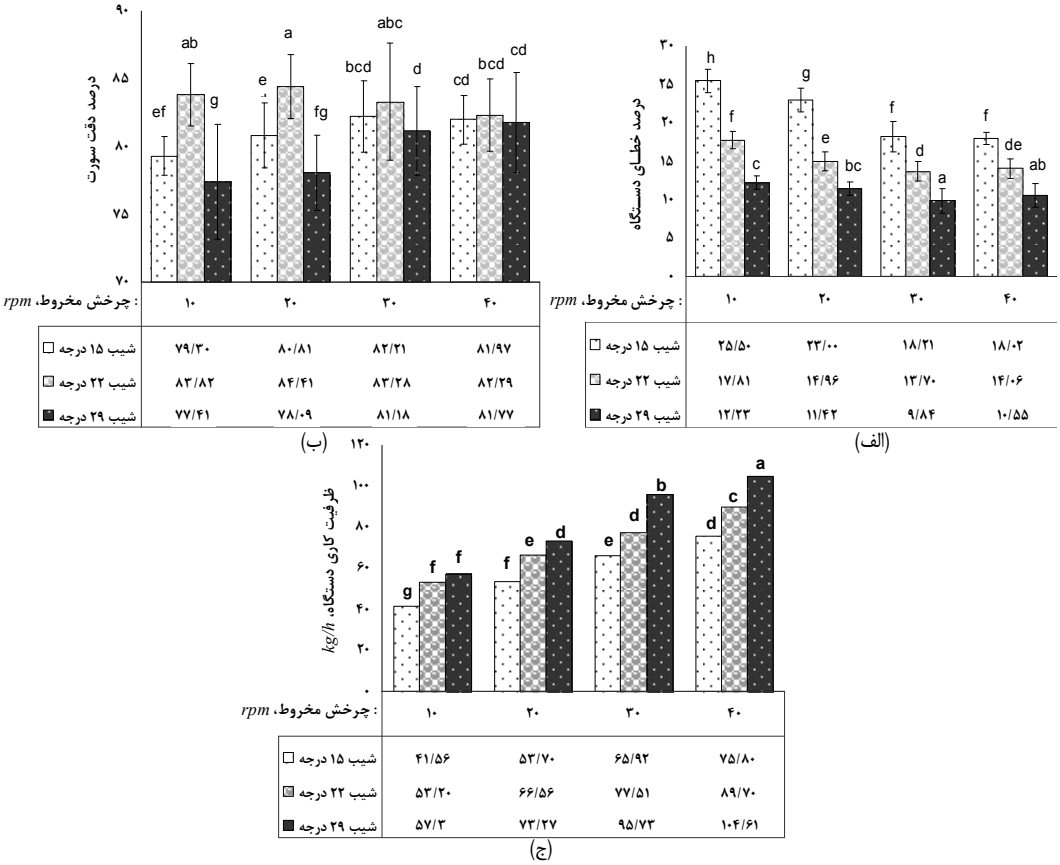
جدول (۳). نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) شاخص‌های ارزیابی عملیات اندازه‌بندی

منابع تغییرات	درجه آزادی	منابع میانگین مربعات (MS)		
		$\overline{C_R}$ (٪)	E_W (٪)	Q (kg/h)
شیب مخروط	۲	۱۲۵۷/۴۴**	۱۸۰/۰۶**	۶۶۳۳/۶۷**
قطر مخروط	۳	۲۰/۶۸**	۹۰/۷۱**	۳۲۲۲/۵۴**
سرعت چرخش مخروط	۳	۱۶۶/۲۴**	۳۱/۶۰**	۱۰۷۰۶/۶۱**
شیب×سرعت چرخش مخروط	۶	۲۵/۶۷**	۲۸/۲۶**	۱۶۸/۲۰**
شیب×قطر مخروط	۶	۲/۳۵ns	۱۳/۳۱**	۲۱۱/۲۸**
قطر×سرعت چرخش مخروط	۹	۱/۶۱ns	۲۰/۹۰**	۱۷۹/۶۵**
قطر× شیب×سرعت چرخش مخروط	۱۸	۱/۸۳ns	۱۲/۵۶**	۱۳۲/۳۳**
خطا	۹۶	۱/۲۴	۴/۰۳	۳۰/۹۸
ضریب تغییرات (٪)	–	۷/۰۵	۲/۴۷	۷/۸۱

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ns یعنی معنی‌دار نیست

ب) نتایج زیابی دستگاه

در جدول (۳) نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های ارزیابی عملیات اندازه‌بندی ارائه شده است. از این جدول پیداست اثرات اصلی هر سه فاکتور (شیب، قطر و سرعت چرخش مخروط دوار) بر تمامی شاخص‌های ارزیابی شده در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. اثرات متقابل فاکتورهای شیب و قطر مخروط، شیب و سرعت چرخش مخروط و همچنین قطر و سرعت چرخش مخروط بر روی شاخص‌های درصد دقت سورت و ظرفیت کاری دستگاه در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل فاکتورهای شیب و سرعت چرخش مخروط بر روی شاخص درصد خطای دستگاه در سطح ۱٪ معنی‌دار بود؛ ولی اثرات متقابل فاکتورهای شیب و قطر مخروط و نیز قطر و سرعت چرخش مخروط بر روی این شاخص غیرمعنی‌دار بود. در ادامه به طور جداگانه اثرات متقابل فاکتورهای معنی‌دار بر روی شاخص‌های تحت ارزیابی بررسی می‌شوند.



شکل (۳). اثرات متقابل شیب و سرعت چرخش مخروط دوار بر روی شاخص‌های (الف): درصد دقت سورت، (ب): درصد خطای دستگاه و (ج): ظرفیت کاری دستگاه

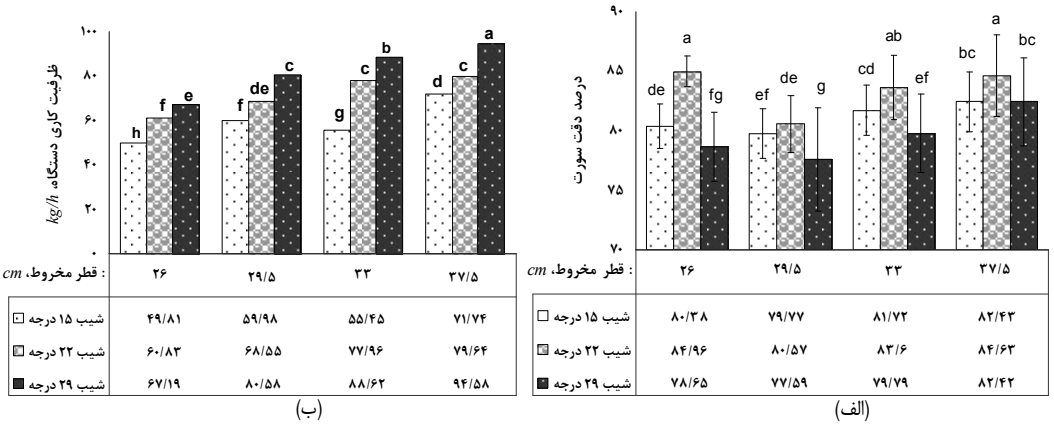
** درج حروف غیر مشابه بر روی ستون‌ها نشانگر تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ است*

با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل شیب و سرعت چرخش مخروط، در شکل (۳) اثرات متقابل شیب و سرعت چرخش مخروط بر روی درصد خطای دستگاه، درصد دقت سورت و ظرفیت کاری دستگاه نشان داده شده است. در شکل (۳-الف) مشاهده می‌شود که در تمام سطوح سرعت چرخش مخروط، افزایش شیب مخروط از ۱۵ به ۲۹ درجه موجب کاهش معنی‌دار درصد خطای دستگاه در سطح ۵٪ شده است. در این شکل پیداست که شیب ۲۹ درجه دارای کمترین درصد خطای دستگاه در تمامی سطوح سرعت چرخش بوده است که علت آن را می‌توان بدین صورت توضیح داد که در شیب ۲۹ درجه تمامی بنه‌ها توسط پدیده لغزش به سمت دهانه گذرگاه حرکت کرده و به طور مطلوبی سورت می‌شوند ولی در شیب‌های کمتر تعدادی از بنه‌ها بر روی مخروط باقی مانده و وارد گذرگاه سورت نمی‌شوند.

اثر متقابل شیب و سرعت چرخش مخروط بر درصد دقت سورت در شکل (۳-ب) نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود در سرعتهای چرخش ۱۰ و ۲۰ دور بر دقیقه، شیب ۲۲ درجه دارای بیشترین و شیب ۲۹ درجه دارای کمترین درصد دقت سورت در سطح ۵٪ بوده‌اند. اما این پدیده در سرعتهای ۳۰ و ۴۰ دور بر دقیقه مشاهده نشد. به طور کلی می‌توان گفت که اختلاف موجود بین درصد دقت سورت شیب‌های مختلف با کاهش سرعت چرخش افزایش یافته است بگونه‌ای که در سرعت چرخش ۴۰ دور بر دقیقه اختلاف موجود غیر معنی‌دار شده؛ ولی در سرعت ۱۰ دور بر دقیقه این اختلاف در سطح ۵٪ معنی‌دار بوده است. علت نزدیکتر شدن دقت سورت سطوح مختلف شیب در سرعتهای بالاتر به یکدیگر و غیر معنی‌دار شدن اثر تغییر شیب در این سرعتها می‌تواند به خاطر کم شدن زمان سورت و عدم وجود زمان کافی برای سورت در سرعتهای بالا باشد که موجب می‌شود فاکتور شیب نتواند اثر خود را به خوبی نشان دهد.

اثر متقابل شیب و سرعت چرخش مخروط بر ظرفیت کاری دستگاه نیز در شکل (۳–ج) نشان داده شده است. همانطور که در این شکل پیداست در تمام سطوح سرعت چرخش مخروط (به جز در سرعت چرخش ۱۰ دور بر دقیقه بین شیب‌های ۲۲ و ۲۹ درجه) با افزایش شیب، ظرفیت کاری دستگاه به طور معنی‌داری در سطح ۵٪ افزایش می‌یابد که علت آن لغزش بهتر بنه‌ها به سمت گذرگاه سورت در شیب‌های بالاتر می‌باشد. در شیب‌های پایین به علت عدم تمایل بخشی از بنه‌ها برای حرکت به سمت دهانه گذرگاه، عملیات با وقفه مواجه شده و برای حفظ حالت تغذیه مناسب، به ناچار باید سرعت تغذیه کاهش یابد. همچنین در تمام سطوح شیب، با افزایش سرعت چرخش، ظرفیت کاری به طور معنی‌داری در سطح ۵٪ افزایش یافت. این روند به طور طبیعی نیز قابل انتظار بود؛ چرا که با افزایش سرعت چرخش مخروط، میزان بنه‌های بیشتری می‌توانند وارد دستگاه شده و اندازه‌بندی شوند.

با در نظر گرفتن هر سه شاخص ارزیابی، از شکل (۳) می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که بهترین عملکرد دستگاه در شیب مخروط ۲۹ درجه و سرعت چرخش ۴۰ دور بر دقیقه و همچنین شیب مخروط ۲۲ درجه و سرعت چرخش ۳۰ دور بر دقیقه حاصل شده است که به لحاظ وارد شدن صدمات مکانیکی کمتر به بنه‌ها در سرعت ۳۰ دور بر دقیقه ، استفاده از این سرعت به همراه شیب مخروط ۲۲ درجه پیشنهاد می‌شود.



شکل (٤). اثرات متقابل شیب و قطر مخروط دوار بر روی شاخص‌های (الف): درصد دقت سورت و (ب): ظرفیت کاری دستگاه

** درج حروف غیر مشابه بر روی ستون‌ها نشانگر تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ است*

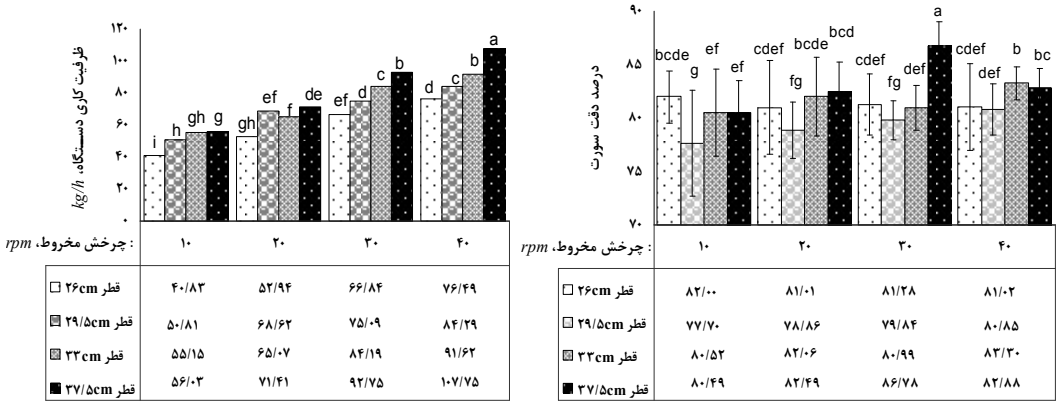
اثرات متقابل شیب و قطر مخروط بر درصد دقت سورت و ظرفیت کاری دستگاه در قسمتهای (الف) و (ب) شکل (۴) نشان داده شده‌اند. در شکل (۴–الف) پیداست که در تمامی سطوح قطر (به جز در قطر ۲۹/۵ بین شیب‌های ۱۵ و ۲۲ درجه و در قطر ۳۷/۵ بین شیب‌های ۱۵ و ۲۹ درجه)، شیب‌های مختلف اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ با هم داشته و شیب ۲۲ درجه دارای بهترین درصد دقت سورت بوده است. دلیل این امر را می‌توان بدین صورت توضیح داد که در شیب ۱۵ درجه به دلیل عدم لغزش، بخش زیادی از بنه‌ها به سمت پایین مخروط حرکت نمی‌کنند و در نتیجه با کاهش بنه‌های وارد شده به گذرگاه سورت، دقت سورت کاهش می‌یابد. در شیب ۲۹ درجه نیز با وجود کاهش کلی تعداد بنه‌هایی که بطور اشتباه سورت می‌شوند، به دلیل نسبت بیشتر بنه‌های درشت در بین بنه‌های مسبب خطا و وزن ارزشی بالاتر آنها، دقت سورت با کاهش معنی‌داری در سطح ۵٪ مواجه می‌شود.

شکل (۴–ب) اثر متقابل شیب و قطر مخروط را بر ظرفیت کاری دستگاه نشان می‌دهد. در این شکل مشاهده می‌شود که در تمامی سطوح قطر مخروط، با افزایش شیب، ظرفیت کاری دستگاه بطور معنی‌داری در سطح ۵٪ افزایش می‌یابد که علت این پدیده را می‌توان به لغزش بهتر بنه‌ها به سمت دهانه گذرگاه سورت و گیرکردگی کمتر بنه‌ها در گذرگاه نسبت داد به طوری که این عوامل موجب می‌شوند بتوان میزان بنه ورودی به دستگاه را افزایش داد. همچنین در این شکل پیداست که در تمامی سطوح شیب مخروط (به جز در شیب ۲۲ درجه بین قطرهای ۳۳ و ۳۷/۵ سانتی‌متر و نیز در شیب ۱۵ درجه بین قطرهای ۲۹/۵ و ۳۳ سانتی‌متر)، با افزایش قطر، ظرفیت کاری نیز در سطح ۵٪ زیاد شده است.

در مجموع از شکل (۴) می‌توان چنین نتیجه گرفت که در قطر ۳۷/۵ سانتی‌متر بهترین درصد دقت سورت و همچنین بالاترین ظرفیت کاری دستگاه حاصل شده است؛ بهترین درصد دقت سورت نیز در شیب ۲۲ درجه و بالاترین ظرفیت کاری دستگاه در شیب ۲۹ درجه به دست آمد که با توجه به اهمیت بیشتر درصد دقت دستگاه، شیب ۲۲ درجه و قطر ۳۷/۵ سانتی‌مترتوصیه می‌شود.

اثرات متقابل قطر و سرعت چرخش مخروط بر درصد دقت سورت و ظرفیت کاری دستگاه در قسمتهای (الف) و (ب) شکل (۵) نشان داده شده است. همانطور که از شکل (۵-الف) پیداست در تمام سطوح سرعت چرخش مخروط، اثر تغییر قطر بر درصد دقت سورت غیر منظم و اغلب در سطح ۵٪ غیر معنی‌دار بوده است. این روند در سطوح قطر مختلف نیز بین سرعتهای چرخش مختلف دیده می‌شود. تنها تفاوت برجسته در مورد تیمار حاصل از قطر ۳۷/۵ سانتی‌متر و سرعت چرخش ۳۰ دور بر دقیقه بود که نتایج قبلی نیز این تیمار را مناسبترین تیمار نشان داده بود.

اثر متقابل قطر و سرعت چرخش مخروط بر ظرفیت کاری دستگاه نیز در شکل (۵-ب) نشان داده شده است. از این شکل پیداست که در مجموع سرعتهای بالاتر چرخش (۳۰ و ۴۰ دور بر دقیقه) نسبت به سرعتهای پایین‌تر (۱۰ و ۲۰ دور بر دقیقه) دارای ظرفیت کاری بالاتری می‌باشند. همچنین در هر یک از سطوح سرعت ۳۰ و ۴۰ دور بر دقیقه بیشترین ظرفیت کاری در قطر ۳۷/۵ سانتی‌متر اتفاق افتاده است. نتایج حاصله توسط جاریموپاس و همکاران نیز نشان داده بود که در سرعتهای چرخش بالاتر مخروط دوار در دستگاه اندازه‌بند گریفا، ظرفیت کاری بیشتر می‌باشد [۹].



شکل (۵). اثرات متقابل قطر و سرعت چرخش مخروط دوار بر روی شاخص‌های (الف): درصد دقت سورت و (ب): ظرفیت کاری دستگاه

** درج حروف غیر مشابه بر روی ستون‌ها نشانگر تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ است*

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل نشان داد که در تمامی موارد تأثیر پارامترهای قطر، شیب و سرعت چرخش مخروط بر روی شاخص‌های $\bar{C}_R$، E_W و Q در سطح ۱٪ معنی‌دار بوده است. بر اساس ارزیابی انجام شده چنین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که جهت اندازه‌بندی بنه زعفران توسط دستگاه اندازه‌بند گریفای دوار شیب ۲۲ درجه، قطر ۳۷/۵ سانتی‌متر و سرعت چرخش ۳۰ دور بر دقیقه مخروط دوار مناسبترین انتخاب می‌باشد. بر اساس داده‌های حاصل از ارزیابی دستگاه در این تیمار متوسط ناخالصی دستگاه ($\bar{C}_R$) ۱۲/۶۴٪، دقت یا بازده سورت (E_W) ۸۹/۱۶٪ و ظرفیت کاری دستگاه ۸۴/۶۰ کیلوگرم در هر ساعت بوده است.

منابع

۱- ابریشمی، م. ح. ۱۳۷۶. زعفران ایران: شناخت تاریخی، فرهنگی و کشاورزی. انتشارات آستان قدس رضوی.
۲- امیدبیگی، ر.، رمضانی، ا.، صادقی، ب. و س.م. زیارت‌نیا. ۱۳۸۲. اثر وزن پیاز روی عملکرد زعفران در اقلیم نیشابور. مجموعه مقالات سومین همایش ملی زعفران ایران، ۱۱ و ۱۲ آذرماه. مشهد- ایران.
۳- مشایخی، ک. و ن. لطیفی. ۱۳۷۶. بررسی اثر وزن بنه بر گلدهی زعفران. مجله علوم کشاورزی ایران، جلد ۲۸، شماره ۱.

4- Abdullaev, F. I. and G. D. Frenkel. 1992. The Effect of Saffron on Intracellular DNA, RNA and Protein Synthesis in Malignant and Non- Malignant Human Cells. Biofactors, v(4(1)): 43-45.
5- De-Mastro, G. And C. Ruta. 1993. Relative Between Corm Size And Saffron (Crocus Sativus L.) Flowering. Acta Horticulture, No. 344: 512-517.
6- Escribano, J., Diaz-Guerra, M. J., Riese, H. H., Alvarez, A., Proenza, R. and J. A. Fernandez. 2000. The Citotoxic Effect of Glucoconjugate Extracted from Corms of Saffron Plant (Crocus Sativus) on Human Cell Lines in Culture. Planta Med v(66(2)): 157-162.
7- Hassan-Beygi, S.R., Kianmehr, M.H. and A. Arabhosseini. 2006. Correlation Study of Dimensions and Mass of Saffron Corm. 2nd International Symposium on Saffron Biology and Technology. Mashhad, Iran.
8- Jarimopas, B. 2001. Postharvest Machinery and Packaging of Fruit (134 p). Bangkok: Funny Pub. Co. (in Thai).
9- Jarimopas, B., Toomsaengtong, S. and C. Inprasit. 2007. Design and Testing Of A Mangosteen Fruit Sizing Machine. Journal of Food Engineering, v(79(3)): 745-751.
10- Kafi, M., Rashed, M.H., Koocheki, A. and A. Mollafilabi. 2002. Saffron: Production Technology and Processing. Center of Excellence for Agronomy (Special Crops). Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
11- Koocheki, A. 2004. Indigenous Knowledge in Agriculture with Particular Reference to Saffron Production in Iran. Proceeding of the First International Symposium on Saffron Biology and Biotechnology, pp. 175-182.
12- Mathew, B. and C. A. Brighton. 1997. Four Central Asian Species (Liliaceae). The Iranian Journal of Botany. v(1(2)): 123-135.
13- Mohsenin, N.N. 1986. Physical Properties of Plant and Animal Materials. Gordon and Breach Science Publishers. pp. 1–88.
14- Morjani, H. Tarantilis, P., Polissiou, M. and M. Manfait. 1990. Growth Inhibition and Induction of Crythroid Differentiation Activity by Crocin, Dimethylcrocetine and β-Carotene on K562 Tumor Cells. Anticancer Res v(10): 1398-1406.
15- Nair, S. C., Salomi, M. J., Varghese, C. D., Pannikar, B. and K. R. Pannikar. 1992. Effect of Saffron on Thymocyte Proliferation, Intracellular Gluthathione Levels and Its Antitumor Activity. Biofactors v(4(1)):51-54.
16- Pandey, D., Pandey, V. S. and R. P. Srivastava. 1979. A Note on the Effect of the Size of Corm on the Sprouting and Flowering of Saffron. Progressive Horticulture, v(6 (23)): 89-92.
17- Peleg, K. 1985. Produce Handling, Packaging, and Distribution. the AVI Publishing Company. Inc, Westport, CT, pp. 23-96.
18- Peleg, K. and Y. Ramraz. 1975. Optimal Sizing of Citrus Fruit. Trans. of the ASAE v(18): 1035–1039.
19- Sadeghi, B. 1996. Effects of Corm Size on Flower Production in Saffron. Annual Report. Scientific and Industrial Research Organization of Khorasan. Mashhad-Iran.
20- Stroshine, R. and D. Hamann. 1995. Physical Properties of Agricultural Materials and Food Products. Unpublished Note. Purdue University, West Lafayette-Indiana.
21- Tabatabaeefar, A. and A. Rajabipur. 2005. Modeling the Mass of Apples by Geometrical Attributes. Scientia Hort. v(105): 373–382.