نشریه زراعت و فناوری زعفران
جلد ۵، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۶ ص. ۳۷۷-۳۶۱

Saffron Agronomy & Technology
Vol. 5, No. 4, Winter 2018, P. 361-377

ساخت و ارزیابی دستگاه تک‌ساز ردیفی گل زعفران

حامد بخشی[۱]، محمدحسین عباسپور فرد[۲]، محمدحسین سعیدی راد[۳]، محمدحسین آق‌خانی[۲] و رقیه پورباقر[۴]

تاریخ دریافت: ۳۱ فروردین ۱۳۹۵ **تاریخ پذیرش:** ۳ مرداد ۱۳۹۶

بخشی،ح.، عباسپور فرد، م.ح.، سعیدی راد، م.ح.، آق‌خانی، م. ح. و پورباقر، ر. ۱۳۹۷. ساخت و ارزیابی دستگاه تک‌ساز ردیفی گل زعفران. زراعت و فناوری زعفران، ۵(۴): ۳۷۷-۳۶۱.

چکیده

جداسازی کلاله از بقیه اجزای گل یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در فرآیند تولید زعفران تجاری می‌باشد. مراحل جداسازی ماشینی کلاله از یک توده گل زعفران شامل: الف) تک سازی گل‌ها، ب) ردیف‌کردن گل‌ها، ج) برش دم (قسمت اضافی) گل‌ها و د) جداکردن گلبرگ و پرچم می‌باشد. درواقع بدون تک‌سازی و جدا کردن تک‌تک گل‌ها از هم، جداسازی ماشینی کلاله نمی‌تواند انجام شود. به دلیل اهمیت این مرحله از جداسازی گل زعفران در این تحقیق یک دستگاه دست‌ساز آزمایشی برای تنک‌سازی و ردیف کردن گل زعفران ساخته شد، به‌طوری که قابلیت کار و نصب با دستگاه‌های برش و جداسازی کلاله از گل و تبدیل به مقیاس صنعتی را نیز داشته باشد. برای این منظور از یک استوانه بردارنده برای تک‌سازی گل‌ها و از یک سطح شیب‌دار و نوار نقاله برای ردیف کردن گل‌های زعفران استفاده شد. دستگاه ساخته شده ازنقطه‌نظر بازده تک سازی و تلفات مورد ارزیابی قرار گرفت. به این منظور از سه نوع گل زعفران (غنچه، باز دم‌کوتاه و دم‌بلند)، سه سرعت دورانی استوانه بردارنده (۶، ۱۲ و ۲۱/۵ دور بر دقیقه)، سه میزان مکش (۳۰، ۷۰ و ۱۰۰ میلی‌متر جیوه) و چهار قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی (۲ تا ۵ میلی‌متر) با سه تکرار استفاده گردید. نتایج تحقیق نشان داد که به‌طورکلی، بیش‌ترین بازده تک‌سازی برای گل‌های زعفران باز دم‌کوتاه برابر ۷۵ درصد، در قطر سوراخ داخلی انگشتی‌های مکشی ۵ میلی‌متر و میزان مکش ۱۰۰ میلی‌متر جیوه در سرعت دورانی ۶ دور بر دقیقه به‌دست می‌آید. برای ارزیابی عملکرد ردیف‌کردن گل زعفران، تعداد ۱۰۰ عدد گل زعفران با طول ۵ سانتی‌متر انتخاب شدند و در ۵ تکرار آزمایش گردید که میانگین ردیف‌سازی با جهت صحیح گل‌ها برابر ۸۴ درصد بدست آمد.

کلمات کلیدی: تک سازی، جداسازی، ردیف کردن، گل زعفران.

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- استاد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- دانشیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران
۴- دانشجوی دکتری گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: abaspour@um.ac.ir)

DOI: 10.22048/jsat.2017.52095.1157

مقدمه

در حال حاضر یکی از مهم‌ترین محصولات صادراتی کشاورزی کشور زعفران می‌باشد. از مشکلات اصلی در تولید زعفران، برداشت و جداسازی اجزای مختلف گل آن است که علی‌رغم تحقیقات زیادی که بر روی جنبه‌های مختلف تولید زعفران صورت گرفته این مهم به‌دلایلی همچنان مغفول مانده است. جداسازی یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در فرآیند تولید زعفران می‌باشد، زیرا بخش عمده‌ای از هزینه تولید را به کشاورزان زعفران کار تحمیل می‌کند. به‌این‌علت که در موقع گلدهی زعفران، گل آن هر روز باید برداشت شود، بنابراین عملیات جداسازی کلاله نیز باید بدون وقفه و متناسب با برداشت گل انجام شود. نگهداری بیش از یک روز گل باعث کاهش کیفیت، مرغوبیت، عطر، طعم و خرابی محصول زعفران می‌شود (Alishahi & Shamsi, 2012; Valeghozhdi et al., 2010). به دلیل پیچیدگی و ظریف بودن گل زعفران نمی‌توان فرآیندهای پس از برداشت به‌منظور تهیه محصول تجاری و قابل‌عرضه به بازار را به‌صورت یک مرحله‌ای انجام داد. جداسازی ماشینی کلاله از یک توده‌ی گل زعفران شامل: ۱- ردیف‌کردن گل‌ها، ۲- تک سازی کردن گل‌ها، ۳- برش دم (قسمت اضافی) گل‌ها و ۴- جداکردن گلبرگ و پرچم می‌باشد. در زمینه برش دم و جداکردن گلبرگ و پرچم تا کنون چندین دستگاه طراحی و ساخته شده است.

در سال‌های اخیر، دستگاهی به‌منظور جداسازی کلاله از گل ساخته شده است که دارای سه واحد برش گل زعفران، جداسازی اجزای گل زعفران و خشک‌کن می‌باشد (Saeidirad et al., 2013). بااین‌وجود محدودیت اصلی این دستگاه تغذیه آن است که به‌صورت دستی و توسط چند اپراتور انجام می‌شود. قسمت برش دستگاه قادر است ۵ کیلوگرم در هر ساعت گل زعفران را با هر نوع اندازه و نوع برش دهد. این دستگاه از روش پردازش تصویر برای تعیین محل برش استفاده می‌کند و با دقت ۱/۵ میلی‌متر دم گل را از گل برگ برش می‌دهد. ظرفیت قسمت جداکننده این دستگاه می‌تواند ۱۶ کیلوگرم در ساعت اجزای گل‌های برش خورده را جداسازی کند. جداسازی کلاله از گل به روش پنوماتیکی و توسط جریان باد انجام می‌شود. گزارش شده است که در این قسمت حدود ۹۰ درصد گلبرگ‌ها و پرچم‌ها از کلاله‌های خروجی جداشده و هیچ کلاله‌ای در قسمت خروجی گلبرگ‌ها وجود ندارد. درواقع میزان خطا و تلفات دستگاه ناچیز و قابل‌اغماض می‌باشد.

طی پژوهشی دیگر که شباهت زیادی ازنظر اصول کار به پژوهش قبل دارد، دستگاه برش و جداسازی کلاله از گل ساخته شد که اشکال عمده آن نیز تغذیه دستی گل به دستگاه است، به‌طوری‌که توسط یک اپراتور گل‌ها به‌صورت تک‌تک در اختیار دستگاه قرار داده شده تا از جلوی یک سیستم بینایی یا دوربین عبور کنند. برای تعیین محل برش دم گل از گلبرگ، عکس گرفته‌شده توسط دوربین، آنالیز و مورد پردازش قرار می‌گیرد. موقعیت محل برش محاسبه شده به یک سیستم موقعیت‌یاب خطی ارسال می‌شود تا واحد برش (کاتر) را در ارتفاع مناسب قرار دهد. در پایان توسط سیستم دمنده، کلاله‌ها از گلبرگ جدا شده و هر کدام از اجزای مختلف گل در سبدهای متفاوتی ریخته می‌شدند. این فرآیند بر اساس تفاوت در مقاومت آیرودینامیکی کلاله و گلبرگ انجام می‌شود. در این دستگاه آنالیز و محاسبه تصاویر و همچنین موقعیت‌یابی خطی توسط کامپیوتر انجام می‌گیرد. در این تحقیق ادعا شده است که ظرفیت جداسازی حدود ۸ برابر روش دستی است (Graciaa et al., 2009).

علاوه بر روش‌های مبتنی بر پردازش تصویر، از روش‌های

صرفاً مکانیکی نیز برای تعیین محل برش استفاده شده است. برای مثال در تحقیقی با استفاده از یک تیغه برش مکانیکی، گل از محل مناسب برش خورده و جداسازی اجزای گل با استفاده از یک استوانه دوار انجام می‌شود (Saeidirad et al., 2013). در تلاشی دیگر دستگاهی با استفاده از فک‌های متحرک عمل برش را انجام داده و به دنبال آن جداسازی گل انجام می‌شود. در همه این موارد نیز تغذیه گل به داخل دستگاه به‌صورت دستی انجام می‌شود (Mohaimani & Abbasi, 2007).

در چندین تحقیق از خصوصیات مختلف فیزیکی و آیرودینامیکی گل زعفران، برای جدایش کلاله از گلبرگ و پرچم استفاده شده است. نتیجه این تحقیقات نشان داد که می‌توان با استفاده از جریان هوا در تونل باد عمودی، کلاله را از سایر اجزای گل زعفران با راندمان جداسازی بیش از ۹۰ درصد جدا کرد (Emadi & Yarlagadda, 2008; Paschino & Gambella, 2008; Shamsi et al., 2012).

همچنین در تحقیقی، به دسته‌بندی و جداسازی گل زعفران با استفاده از ویژگی‌های ظاهری تصویر گل پرداختند. بر این اساس مرکز ثقل گل زعفران به دو روش: ۱) مرکز ثقل– شعاع و ۲) پیمایش محیط و اندازه‌گیری فاصله تا مرکز ثقل به‌دست آمد. با به‌دست آوردن مرکز ثقل گل می‌توان دم آن را تشخیص داد و جدا کرد (Esfandiari et al., 2011). در همه این تحقیقات آنچه که نادیده گرفته‌شده است تک‌سازی[1] اولیه گل‌ها از میان توده‌ی گل است. به‌عبارت‌دیگر در همه این تحقیقات فرض شده است که گل‌ها قبلاً از توده جدا شده و یا این‌که تک‌سازی به‌صورت دستی و با استفاده از نیروی انسانی صورت گرفته است.

از طرفی علی‌رغم مطالعات متعدد صورت گرفته، هنوز بخش اعظم جداسازی کلاله از گل به‌صورت دستی انجام می‌شود که این امر بسیار زمان‌بر و با مشکلات کارگری زیادی روبرو است. علاوه بر آن، باعث افزایش احتمال انتقال آلودگی به سر گل، پژمردگی گل و کاهش کیفیت زعفران تولیدی می‌شود. این کار تفاوت چندانی با روش جداسازی کلاله از گل به‌صورت دستی نمی‌کند. علاوه بر آن باعث کاهش بازده و افزایش هزینه در جداسازی می‌شود. مشاهدات میدانی نشان می‌دهد که کارهای پژوهشی صورت گرفته در این زمینه به دلایلی منجر به تولید محصول تجاری نشده‌اند و مشکل جداسازی مکانیزه تا حد زیادی همچنان باقی است و این امر توجه جدی‌تر و بیشتری را می‌طلبد.

در این پژوهش تلاش شد مکانیزم مناسبی برای جداسازی و تک‌سازی گل‌های زعفران طراحی و ساخته شود به‌گونه‌ای که ازنظر اندازه، وزن و قیمت تمام شده قابلیت استفاده به‌صورت انفرادی در هر یک از خانوارهای زعفران کار را داشته باشد.

مواد و روش‌ها

برای ساخت دستگاه تک‌ساز و ردیف‌کن گل زعفران با مطالعه‌ی کارهای انجام شده بر روی خواص مختلف فیزیکی، مکانیکی و آئرودینامیکی گل زعفران، اقدام به ساخت دستگاهی شد که بیش‌ترین عملکرد، کمترین هزینه و تلفات را داشته باشد.

این دستگاه با هدف تک‌سازی و ردیف کردن گل‌های زعفران در شرایط آزمایشگاهی در کارگاه گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه فردوسی مشهد طراحی و ساخته شد. یکی از اهداف اصلی طرح، ساخت دستگاهی بود تا ضمن این‌که قابلیت تولید صنعتی و تجاری را داشته باشد، ازنظر اندازه، ظرفیت و هزینه ساخت در مقیاس خانگی باشد، تا با توجه به اینکه بخش عمده تولید زعفران به‌صورت خرده مالکی و در اراضی نسبتاً کوچک تولید می‌شود، هر خانوار زعفران کار استطاعت مالی برای خرید چنین دستگاهی را داشته باشد. این دستگاه به‌عنوان واحد تغذیه ماشین‌های جداسازی کلاله از گل زعفران که در

1- Singulation

بخش بررسی منابع اشاره شد می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. پس از جمع‌آوری و محاسبه خواص موردنیاز گل زعفران، طراحی اجزاء اصلی دستگاه و نقشه کلی آن با استفاده از نرم‌افزار سالیدورکس[1] نسخه ۲۰۱۳ تهیه گردید. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، اجزاء اصلی دستگاه تک‌ساز ردیفی گل زعفران ساخته شده عبارتند از: شاسی، مخزن و صفحه لرزان، استوانه بردارنده، فن مکش، ضربه‌زن، سطح شیب‌دار و نوار نقاله گل‌های ردیف شده (شکل ۱ a).

پس از ساخت نمونه اولیه و رفع ایرادات آن، دستگاه نهایی متشکل از اجزای زیر می‌باشد: مخزن گل که در بالاترین قسمت قرار دارد، یک استوانه بردارنده با مکانیزم ایجاد خلأ منقطع که روی آن‌یک سری انگشتی توخالی تعبیه شده، فن مکش برای ایجاد خلأ در استوانه بردارنده و نقاله برای انتقال گل‌های ردیف شده. گل‌ها از مخزن و توسط صفحه لرزان که در زیر مخزن قرار دارد، به‌تدریج در اختیار انگشتی‌های مکشی روی استوانه بردارنده قرار می‌گیرد. این استوانه دارای چهار انگشتی بوده که به فواصل زاویه‌ای یکنواخت ۹۰ درجه پیرامون آن نصب‌شده‌اند. استوانه بردارنده ضمن چرخش، مکش لازم را به انگشتی‌ها در لحظه برخورد با گل‌ها ایجاد می‌کند و سبب چسبیدن گل به دهانه انگشتی می‌شود. با دوران استوانه بردارنده، انگشتی حامل گل تغییر وضعیت داده و هنگامی‌که در مقابل سطح شیب‌دار قرار گرفت، خلأ درون انگشتی قطع گردیده و در این لحظه روی سطح شیب‌دار که در زیر آن قرار دارد رها می‌شود. از آنجایی که گل‌های زعفران مرکز ثقل نامتقارن دارند سقوط آزاد گل زعفران از ارتفاع باعث می‌شود، گل‌ها کاملاً عمودی (دم شان به سمت پایین) قرار گیرند و بر اساس این اصل همه گل‌ها ضمن اینکه تک‌سازی می‌شوند، با جهت یکسانی روی نقاله مستقر می‌شوند. برای اطمینان از جهت‌گیری گل‌ها در قسمت انتهایی سطح شیب‌دار حالت فرورفتگی دارد که باعث می‌شود گل‌ها کاملاً از طرف دم گل در یک ردیف قرار گیرند. در قسمت پایین آن یک سیستم نوار نقاله تعبیه‌شده که گل‌ها بر روی آن قرار می‌گیرند و به سمت مسیر تعیین‌شده حرکت می‌کنند (شکل ۱ b و c).

از ویژگی‌های این دستگاه می‌توان به تغییر سرعت دورانی استوانه بردارنده گل، تنظیم لرزش و شیب صفحه لرزان زیر مخزن، تنظیم میزان مکش انگشتی‌ها، تغییر سطح مقطع (قطر سوراخ) مکش نوک انگشتی‌ها، تغییر ارتفاع و زاویه سطح شیب‌دار و تغییر سرعت خطی نوار نقاله اشاره کرد. بدین منظور دستگاه به وسایل زیر تجهیز شده است:

۱) موتور محرک جریان مستقیم (DC) با قابلیت تغییر سرعت دورانی توسط منبع تغذیه

۲) سطح شیب‌دار قابل تنظیم ازلحاظ ارتفاع و زاویه

۳) انگشتی‌های قابل تعویض بر روی استوانه بردارنده‌ی گل

۴) فن مکش با قابلیت تنظیم فشار مکش

جزئیات مربوط به محاسبات اجزاء مختلف دستگاه و نقشه تفصیلی قطعات آن توسط (Bakhshi, 2015) ارائه شده است.

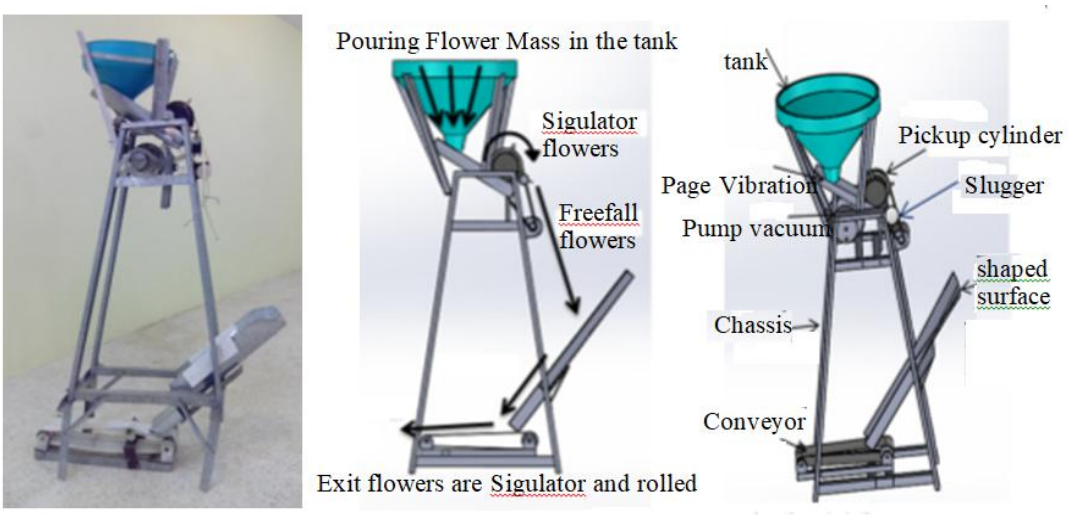
ارزیابی دستگاه

ارزیابی استوانه بردارنده

به‌منظور ارزیابی عملکرد دستگاه ساخته‌شده از دو پارامتر بازده و خطا (تلفات) استفاده شد. در این فرآیند منظور از بازده تک‌سازی، تعداد یا درصدی از انگشتی‌های استوانه بردارنده که گل‌های زعفران را به‌صورت تک‌تک (یکی‌یکی) از صفحه لرزان برداشت کرده باشند و منظور از خطای تک‌سازی، به تعدادی از انگشتی‌های استوانه بردارنده که گل‌های زعفران را به‌صورت چندتایی (بیش از یک گل) از صفحه لرزان برداشت کرده باشند. عوامل متعددی هستند که می‌توانند در بازده و خطای تک‌سازی استوانه بردارنده مؤثر باشند. با توجه به متغیرهای دستگاه و محصول، دستگاه در سه سرعت دورانی استوانه بردارنده، سه

1- Solid Works 2013

میزان مکش انگشتی‌ها و چهار سطح مقطع سوراخ انگشتی‌ها و سه نوع گل، با سه تکرار، با طرح فاکتوریل ۳×۴×۳×۳ بر پایه کاملاً تصادفی انجام شد و با نرم‌افزار SPSS.V.R20 در آزمون توکی مقایسه میانگین‌ها انجام شد.



c b a

شکل ۱- a) شماتیک طرح کلی دستگاه، b) جهت حرکت گل‌ها بر روی دستگاه طی عمل تک‌سازی و ردیف کردن و c) دستگاه ساخته شده

Figure 1- a) Schematic of the singulator device, b) The direction of flowers' movement on the device during singulation and c) Photo of fabricated device.

برای آزمایش این دستگاه از گل‌های غنچه، باز و گل باز بزرگ‌تر استفاده شدند. اندازه گل‌های غنچه و باز دم‌کوتاه به طول ۵ سانتی‌متر و گل باز دم‌بلند با طول ۸ سانتی‌متر انتخاب شدند (شکل ۲). البته گل‌های باز پژمرده هم آزمایش شدند ولی چون نتایج قالب قبولی به‌دست نیامد از تیمارهای آزمایشی حذف گردید. درنتیجه می‌توان گفت که برای عملکرد رضایت‌بخش این وسیله باید گل‌ها قبل از پژمرده شدن فرآوری گردند.

c b a

شکل ۲- نمونه گل برداشت شده برای آزمایش a) غنچه، b) باز دم‌کوتاه و c) باز دم‌بلند

Figure 2- Flower samples used for device evaluation a) Bud, b) Short tail open and c) Long tail open.

تغییرات سرعت دورانی استوانه بردارنده با استفاده از یک منبع تغذیه DC با تغییرات ولتاژ ورودی به موتور محرک استوانه بردارنده انجام گرفت. با توجه به نرخ تغذیه در نظر گرفته شده برای دستگاه، سرعت‌های دورانی ۶، ۱۲ و ۲۱/۵ دور بر دقیقه برای چرخش استوانه بردارنده انتخاب گردید.

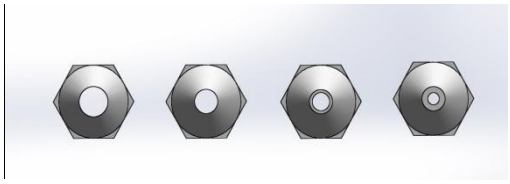
برای ایجاد مکش مورد نیاز از یک فن جاروبرقی[1] استفاده گردید (شکل ۳ a). مقدار مکش فن، توسط یک فشارسنج (با دقت ۲۰ میلی‌متر جیوه) با نصب کردن روی استوانه بردارنده (محل انگشتی‌ها) اندازه‌گیری شد (شکل ۳ b). برای تغییر میزان مکش فن، از تغییر سرعت دورانی فن و با استفاده یک دیمر و با تغییر ولتاژ ورودی به موتور محرک فن، استفاده شد. با توجه به وزن متوسط گل‌های زعفران و ضریب اطمینان برای چسبیدن گل به انگشتی‌ها، مقدار فشار ۳۰ مطلق، ۷۰ و ۱۰۰ میلی‌متر جیوه (۳/۹، ۹/۲۱ و ۱۳/۱۵ کیلو پاسکال) انتخاب گردید.

b a

شکل ۳- a) فن مکش و b) فشارسنج

Figure 3- a) Suction fan and b) Vacuum gauge.

برای به‌دست آوردن سطح مقطع (قطر سوراخ) مناسب مکش، ابتدا به روش آزمون‌وخطا سوراخ‌هایی با قطر بین ۱ تا ۸ میلی‌متر در نوک انگشتی‌ها و در مکشی ۲ برابر، نسبت به مکشی که از روش وزن گل زعفران برای هر قطر سوراخ محاسبه شده بود، در سرعت دورانی ۱۲ دور بر دقیقه برای استوانه بردارنده آزمایش گردید. در انگشتی با قطر سوراخ ۱ میلی‌متر و در فشار ۱۴ کیلو پاسکال بیشتر از ۶۰ درصد انگشتی‌های استوانه بردارنده، خالی از گل بودند (قادر به قاپیدن گل نبود). به عبارتی انگشتی با قطر سوراخ ۱ میلی‌متر به دلیل عدم توانایی مؤثر در مکیدن گل‌ها مناسب تشخیص داده نشد. همچنین در انگشتی‌های با قطر سوراخ‌های ۶، ۷ و ۸ میلی‌متر و در فشار بین ۰/۵ تا ۲ کیلو پاسکال، بیشتر از ۴۵ درصد انگشتی‌ها چند عدد گل را هم‌زمان برداشت می‌کردند. حتی در بعضی از انگشتی‌ها، گلبرگ‌ها یا کلاله‌های گل‌ها به داخل استوانه بردارنده مکیده می‌شدند. به‌طورکلی بر اساس این آزمایش‌های اولیه مشخص گردید که انگشتی‌های با قطر سوراخ بیش از ۵ میلی‌متر به دلیل تلفات زیاد مناسب نمی‌باشد. با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش‌های مقدماتی قطر سوراخ‌های ۲، ۳، ۴ و ۵ میلی‌متر برای انگشتی‌ها، در ارزیابی نهایی دستگاه انتخاب گردید (شکل ۴).



شکل ٤- انگشتی‌ها با قطر سوراخ‌های داخلی ۲ تا ۵ میلی‌متر

Figure 4- Finger tips with orifice diameter of 2 to 5 mm.

برای اندازه‌گیری بازده تک‌سازی دستگاه، تعداد انگشتی‌های خالی از گل، در "n" دور چرخش استوانه بردارنده را از مجموع تعداد کل انگشتی‌های عبور کرده از مخزن گل در "N" دور چرخش استوانه بردارنده (که مجموعاً باید تعداد آنها ۴×N باشد) کم و تقسیم بر تعداد کل انگشتی‌ها در "N" دور چرخش استوانه بردارنده می‌گردد (رابطه ۱). همچنین برای اندازه‌گیری خطا تک‌سازی دستگاه، تعداد انگشتی‌هایی که در "N" دور چرخش

1 - مدل YDC 07-16 ساخت شرکت Machinery made CO., LTD

استوانه بردارنده بیش از یک گل برداشت می‌کنند را تقسیم بر مجموع تعداد کل انگشتی‌ها در "N" دور چرخش استوانه بردارنده (N×۴) به‌دست می‌آید (رابطه ۲). از روابط ۱ و ۲ بازده و خطای تک‌سازی برای تمام تیمارها اندازه‌گیری شدند.

$$\varepsilon_s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \times 100 \quad (۱)$$

در این رابطه:

ε_s = بازده تک‌سازی (درصد)

n_1 = تعداد کل انگشتی‌ها در "N" دور چرخش استوانه بردارنده

n_2 = تعداد انگشتی‌های خالی از گل در "N" دور چرخش استوانه بردارنده

$$L_s = \frac{m_1}{n_2} \times 100 \quad (۲)$$

در این رابطه:

L_s = خطا تک‌سازی (درصد)

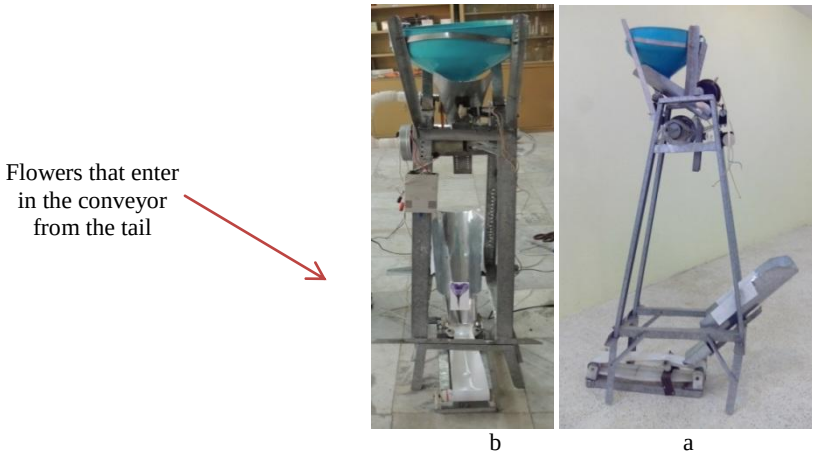
m_1 = تعداد انگشتی‌هایی که بیش از یک گل برداشت می‌کند، در "N" دور چرخش استوانه بردارنده

n_2 = تعداد کل انگشتی‌ها در "N" دور چرخش استوانه بردارنده

ارزیابی ردیف کردن دستگاه

برای ارزیابی عملکرد ردیف‌کردن گل زعفران با جهت مناسب و به‌دست آوردن درصد بازده و خطا ردیف‌کردن دستگاه، تعداد ۱۰۰ عدد گل زعفران (در بهترین حالت تک‌سازی متغییرهای استوانه بردارنده) که سقوط آزاد داشتند بر روی سطح شیب‌دار که در فاصله عمودی ۶۰ سانتی‌متر پایین‌تر از استوانه بردارنده و زاویه ۵۰ درجه نسبت به سطح زمین، در ۵ تکرار آزمایش گردید (شکل ۵ a). تعداد گل‌هایی که در جهت دم گل وارد به نوار نقاله می‌شود به‌عنوان صحت دستگاه (بازده) اندازه‌گیری گردید و تعداد گل‌هایی که در جهت عکس و از سر گل (از طرف گلبرگ) وارد نوار نقاله گردیدند، به‌عنوان خطا (تلفات) اندازه‌گیری گردید (شکل ۵ b). درنتیجه ارزیابی عملکرد ردیف کردن دستگاه بر اساس درصد بازده ردیف کردن گل‌های زعفران طبق رابطه ۳ بررسی گردید.

$$\varepsilon_R = \frac{A - B}{A} \times 100 \quad (۳)$$



شکل ۵- a) محل قرار گرفتن سطح شیب‌دار و b) نحوه ردیف‌سازی گل بر روی نقاله

Figure 5- The location and position of the inclined plane and b) The true dirction of flowers on the conveyor.

B= تعداد گل‌های که در جهت سر گل وارد نوار نقاله شدند.

A= تعداد کل گل‌هایی که وارد نوار نقاله شدند.

ε_R= بازده ردیف کردن (درصد)

نتایج و بحث

الف) بررسی بازده تک‌سازی دستگاه برای گل‌های زعفران غنچه، بازِ دم‌کوتاه و بازِ دم‌بلند

با توجه به نتایج حاصل از تجزیه‌ی واریانس (جدول ۱)، قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی (سطح مقطع مکش) و سرعت دورانی استوانه بردارنده در سطح یک درصد بر بازده تک‌سازی همه نوع گل زعفران اعم از غنچه، باز دم‌کوتاه و باز دم‌بلند اختلاف معنی‌دار دارند. اما میزان مکش در سطح یک درصد تنها بر بازده تک‌سازی گل‌های زعفران غنچه و باز دم‌بلند اختلاف معنی‌دار دارند و برای گل‌های زعفران باز دم‌کوتاه در هیچ سطحی معنی‌دار نشد. اثر متقابل دوگانه قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی با میزان مکش در سطح یک درصد در بازده تک‌سازی برای تمام گل‌های زعفران اختلاف معنی‌دار دارند. ولی اثر متقابل دوگانه قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی با سرعت دورانی استوانه بردارنده، در سطح یک درصد در بازده تک‌سازی گل‌های زعفران غنچه اختلاف معنی‌دار دارند و در سطح پنج درصد در بازده تک‌سازی گل‌های زعفران باز دم‌بلند اختلاف معنی‌دار دارند و برای گل‌های زعفران باز دم‌کوتاه اختلاف معنی‌داری ندارد. اثر متقابل دوگانه میزان مکش با سرعت دورانی استوانه بردارنده در سطح یک درصد در بازده تک‌سازی فقط برای گل‌های زعفران غنچه اختلاف معنی‌دار دارند. اثر سه‌گانه، قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی، میزان مکش و سرعت دورانی استوانه بردارنده، در هیچ سطحی در بازده تک‌سازی برای گل‌های زعفران اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول ۱- تجزیه واریانس قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی، سرعت دورانی استوانه بردارنده و میزان مکش بر بازده تک‌سازی برای گل‌های زعفران غنچه، باز دم‌کوتاه و باز دم‌بلند

Table 1- Analysis of variance of inner diameter of nozzles, rotational speed of pickup cylinder and the level of suction on open saffron flowers open and long tail singulation efficiency for bud, Short tail

منبع متغیر Source of variance	درجه آزادی d.f.	میانگین مربعات Mean square		
		گل‌های غنچه Bud flowers	گل‌های باز دم‌کوتاه Open short tail flowers	گل‌های باز دم‌بلند Open long tail flowers
قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی Inner diameter of nozzles (A)	3	248.92**	229.17**	389.86**
میزان مکش (B) Level of suction	2	174.39**	112.28ns	68.17**
سرعت دورانی استوانه بردارنده (C) Rotational speed of pickup cylinder	2	352.52**	377.56**	301**
اثر متقابل (A ×B) Interaction effect	6	14.27**	24.6**	11.48**
اثر متقابل (A ×C) Interaction effect	6	7.66**	5.73ns	6.86*
اثر متقابل (B ×C) Interaction effect	4	5.76**	4.34ns	3.37ns
اثر متقابل (A×B×C) Interaction effect	12	1.3ns	3.7ns	1.82ns
خطا Error	72	1.4	1.86	2.38

** معنی‌داری در سطح یک درصد، *معنی‌داری در سطح پنج درصد، ns اثر معنی‌داری ندارد.

** Significant at the one percent of probability, *Significant at the five percent of probability, nsNone significant.

براساس مقایسه‌ی میانگین آزمون توکی در جدول۲ بازده تک‌سازی برای تمام گل‌های زعفران، رابطه‌ی عکس با سرعت دورانی استوانه بردارنده و رابطه‌ی مستقیم با قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی و میزان مکش دارد. بازده تک‌سازی هنگامی که سرعت دورانی استوانه بردارنده ۶ دور بر دقیقه می‌باشد، بیش‌تر از حالتی است که ۱۲ و ۲۱/۵ درو بر دقیقه باشد. هر چه سرعت دورانی استوانه بردارنده کم‌تر باشد، انگشتی‌های استوانه بردارنده زمان بیش‌تری برای گرفتن و برداشت گل‌های زعفران دارند. اما در دورهای بالاتر ۱۲ و ۲۱/۵ این زمان کم‌تر است و درنتیجه بازده تک‌سازی کاهش می‌یابد.

هر چه قدر میزان مکش بیش‌تر شود، نیروی مکش افزایش می‌یابد. با افزایش نیروی مکش مقدار بازده تک‌سازی استوانه بردارنده افزایش می‌یابد. به‌طوری‌که میزان مکش در ۱۰۰ میلی‌متر جیوه، بازده تک‌سازی بیش‌تری نسبت به میزان مکش ۳۰ و ۷۰ میلی‌متر جیوه دارد. هم‌چنین با توجه به این جدول مشاهده می‌شود که بیش‌ترین بازده تک‌سازی، در قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی ۵ میلی‌متر است. به دلیل این‌که با افزایش قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی، سطح مقطع مکش افزایش می‌یابد و درنتیجه نیروی مکش افزایش می‌یابد. افزایش نیروی مکش باعث می‌شود، گل‌های زعفران محکم‌تر به نوک انگشتی‌های استوانه بردارنده بچسبد و تعداد انگشتی‌های بدون گل کاهش یابد و درنتیجه بازده تک‌سازی افزایش می‌یابد. بنابراین بازده تک‌سازی گل‌های زعفران با افزایش قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی و میزان مکش و کاهش سرعت دورانی استوانه بردارنده افزایش می‌یابد.

جدول۲- میانگین بازده تک سازی برای گل‌های زعفران غنچه، باز دم‌کوتاه و باز دم‌بلند

Table 2- Mean of singulation efficiency for bud, Short tail open and long tail open saffron flowers

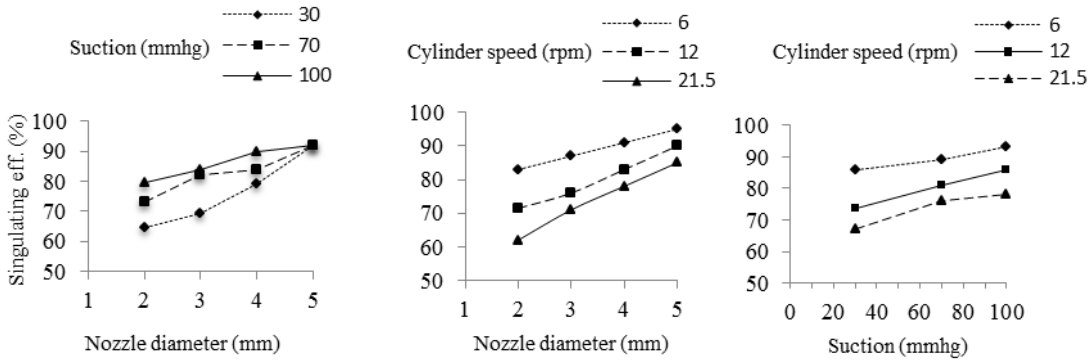
نوع گل Type of flowers	قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی Inner diameters of sucking nozzles (mm)				میزان مکش Level suction (mmhg)			سرعت دورانی استوانه بردارنده Rotational speeds of pickup cylinders (rpm)		
	2	3	4	5	30	70	100	6	12	21.5
غنچه Bud (%)	72.5	78.4	74.5	90	75	82	86	89.5	80	74
باز دم‌کوتاه Short tail open (%)	75	78.5	84	91.5	78	82	86.8	89.6	83.5	73.6
باز دم‌بلند Long tail open (%)	69	81.66	88.33	90	78.7	82.36	85.5	89.25	82.57	75

در شکل ۶ اثرهای متقابل دوگانه برای بازده تک‌سازی گل‌های زعفران غنچه ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود می‌توان نتیجه گرفت که در مکش‌های مختلف با افزایش قطر داخلی سوراخ انگشتی‌ها بازده تک‌سازی برای گل‌های زعفران غنچه افزایش می‌یابد. بازده تک‌سازی در انگشتی‌های با قطر داخلی ۵ میلی‌متر بیش‌تر از بازده تک‌سازی قطرهای ۲، ۳ و ۴ میلی‌متر است. هم‌چنین با افزایش میزان مکش بازده تک سازی افزایش می‌یابد. در انگشتی‌های با قطر داخلی سوراخ ۵ میلی‌متر به دلیل افزایش سطح مقطع نیروی مکش افزایش می‌یابد، تغییرات فشار مکش تأثیری بر بازده

تک‌سازی گل‌های زعفران غنچه ندارد. می‌توان نتیجه گرفت که بیش‌ترین بازده تک‌سازی در میزان مکش بالا و قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی ۵ میلی‌متر برای گل‌های زعفران غنچه ایجاد می‌شود.

اثر متقابل قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی و سرعت دورانی استوانه بردارنده بر بازده تک‌سازی گل‌های زعفران غنچه نیز در شکل ۶ نشان داده شده است. در سرعت‌های دورانی مختلف برای استوانه بردارنده با افزایش قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی بازده تک‌سازی برای گل‌های زعفران غنچه افزایش می‌یابد. در سرعت دورانی ۶ دور بر دقیقه بازده تک‌سازی بیش‌تر از زمانی است که سرعت دورانی ۱۲ و ۲۱/۵ دور بر دقیقه است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که بیش‌ترین بازده تک‌سازی در سرعت دورانی استوانه بردارنده پایین و در انگشتی‌های مکشی با قطر سوراخ ۵ میلی‌متر برای گل‌های زعفران غنچه است.

همچنین اثر متقابل میزان مکش و سرعت دورانی استوانه بردارنده بر بازده تک‌سازی گل‌های زعفران غنچه در شکل ۶ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در سرعت‌های دورانی مختلف استوانه بردارنده با افزایش میزان مکش، بازده تک‌سازی برای گل‌های زعفران غنچه افزایش می‌یابد. در سرعت دورانی ۶ دور بر دقیقه بازده تک‌سازی بیش‌تر از زمانی است که سرعت دورانی استوانه بردارنده ۱۲ و ۲۱/۵ دور بر دقیقه است. بنابراین بیش‌ترین بازده تک‌سازی در سرعت دورانی استوانه بردارنده پایین و میزان مکش بالا برای گل‌های زعفران غنچه ایجاد می‌شود.



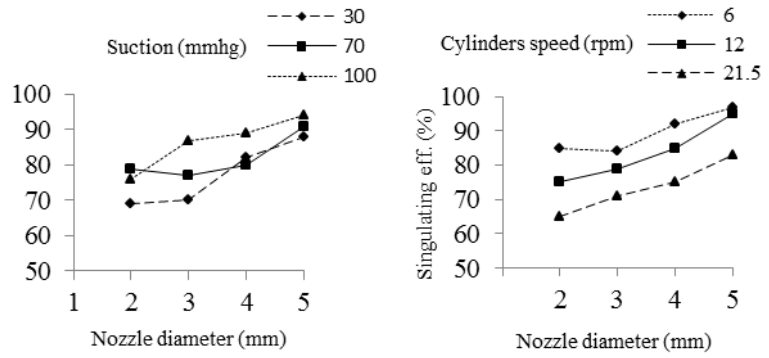
شکل ٦- اثرهای متقابل دوگانه بر بازده تک‌سازی گل‌های زعفران غنچه

Figure 6- Dual interaction effects on singulating efficiency of bud saffron flowers.

در شکل ۷ اثرهای متقابل دوگانه بر بازده تک‌سازی گل‌های زعفران باز دم‌کوتاه بررسی شده است. با توجه به اثر متقابل دوگانه قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی (سطح مقطع مکش) و میزان مکش، می‌توان نتیجه گرفت که در مکش‌های مختلف، با افزایش قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی، بازده تک‌سازی برای گل‌های زعفران باز دم‌کوتاه افزایش می‌یابد. بیشترین بازده تک‌سازی در انگشتی‌های مکشی با قطر داخلی سوراخ ۵ میلی‌متر اتفاق می‌افتد. همچنین با افزایش مکش و در قطرهای مختلف داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی، بازده افزایش می‌یابد. می‌توان نتیجه گرفت که بیش‌ترین بازده تک‌سازی در مقادیر مکش بالا و قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی ۵ میلی‌متر برای گل‌های زعفران باز دم‌کوتاه ایجاد می‌شود.

هم‌چنین اثر متقابل قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی و

سرعت دورانی استوانه بردارنده بر بازده تک‌سازی گل‌های زعفران باز دم‌کوتاه در شکل ۷ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در سرعت‌های دورانی مختلف، با افزایش قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی، بازده تک‌سازی برای گل‌های زعفران باز دم‌کوتاه افزایش می‌یابد. بیشترین بازده تک‌سازی در سرعت دورانی ۶ rpm اتفاق می‌افتد. بنابراین بیش‌ترین بازده تک‌سازی در سرعت کم دورانی استوانه بردارنده پایین و در انگشتی‌های مکشی با قطر داخلی سوراخ ۵ میلی‌متر برای گل‌های زعفران باز دم‌کوتاه ایجاد می‌شود.



شکل ۷- اثرهای متقابل دوگانه بر بازده تک‌سازی گل‌های زعفران باز دم‌کوتاه

Figure 7- Dual interaction effects dual on singulating efficiency of short tail open saffron flowers.

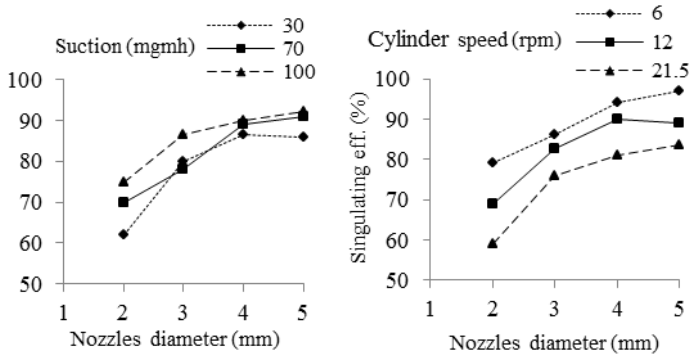
اثر متقابل قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی و میزان مکش در شکل ۸ نشان داده شده است. می‌توان نتیجه گرفت که در مکش‌های مختلف با افزایش قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی، بازده تک‌سازی برای گل‌های زعفران باز دم‌بلند افزایش می‌یابد. بیشترین بازده تک‌سازی در انگشتی‌های مکشی با قطر داخلی سوراخ ۵ میلی‌متر مشاهده می‌شود. همچنین در قطرهای مختلف سوراخ انگشتی، با افزایش مکش بازده افزایش می‌یابد. می‌توان نتیجه گرفت که بیش‌ترین بازده تک‌سازی در مکش‌های بالا و قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی ۵ میلی‌متر برای گل‌های زعفران باز دم‌بلند ایجاد می‌شود.

همچنین اثر متقابل قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی و سرعت دورانی استوانه بردارنده بر بازده تک‌سازی گل‌های زعفران باز دم‌بلند در شکل ۸ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در سرعت‌های دورانی مختلف استوانه بردارنده، با افزایش قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی، بازده تک‌سازی برای گل‌های زعفران باز دم‌بلند افزایش می‌یابد. در سرعت دورانی استوانه بردارنده ۶ دور بر دقیقه بیش‌ترین بازده تک‌سازی مشاهده می‌شود. بنابراین بیش‌ترین بازده تک‌سازی در سرعت دورانی کم استوانه بردارنده پایین و در انگشتی‌های مکشی با قطر سوراخ بزرگ‌تر برای گل‌های زعفران باز دم‌بلند ایجاد می‌شود.

ب) بررسی تلفات تک‌سازی دستگاه برای گل‌های زعفران غنچه، باز دم‌کوتاه و باز دم‌بلند

با توجه به نتایج حاصل از جدول تجزیه‌ی واریانس (جدول ۳)، قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی (سطح مقطع مکش) و سرعت دورانی استوانه بردارنده در سطح یک درصد بر تلفات تک‌سازی، برای تمام گل‌های زعفران اختلاف معنی‌دار دارند. ولی اثر میزان مکش حتی در سطح پنج درصد برای گل‌های

زعفران غنچه بر تلفات تک سازی اختلاف معنی‌داری ندارد.



شکل ۸- اثرهای متقابل دوگانه بر بازده تک‌سازی گل‌های زعفران باز دم‌بلند

Figure 8- Dual interaction effects on singulating efficiency of long tail open saffron flowers.

جدول ۳- تجزیه واریانس قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی، سرعت دورانی استوانه بردارنده و میزان مکش بر خطای تک‌سازی برای انواع گل‌های زعفران

Table 3- Analysis of variance of nozzle inner diameter, cylinder speed and the level of suction on singulating error for different types of saffron flowers

منبع متغیر Source of variance	درجه آزادی d.f.	میانگین مربعات Mean square		
		گل‌های غنچه Bud flowers	گل‌های باز دم‌کوتاه Open short tail flowers	گل‌های باز دم‌بلند Open long tail flowers
قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی Inner diameter of nozzles (A)	3	49**	132.15**	91.43**
میزان مکش (B) Level of suction	2	1.69^{ns}	17.12**	17.06**
سرعت دورانی استوانه بردارنده (C) Rotational speed of pickup cylinder	2	23.69**	31.56**	97.28**
اثر متقابل (A ×B) Interaction effect	6	3.83**	2.41**	0.86^{ns}
اثر متقابل (A ×C) Interaction effect	6	0.97^{ns}	3.56**	7.7**
اثر متقابل (B ×C) Interaction effect	4	0.47^{ns}	0.7^{ns}	3.37*
اثر متقابل (A×B×C) Interaction effect	12	0.9^{ns}	1.01^{ns}	1.82^{ns}
خطا Error	72	0.57	0.75	1.13

** معنی‌داری در سطح یک درصد، *معنی‌داری در سطح پنج درصد، ^{ns} اثر معنی‌داری ندارد.

** Significant at the one percent of probability, *Significant at the five percent of probability, ^{ns}None significant.

اثر دوگانه قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی و میزان مکش در سطح یک درصد بر تلفات تک‌سازی برای گل‌های زعفران غنچه و باز دم‌کوتاه اختلاف معنی‌دار دارند ولی برای گل‌های زعفران باز دم‌بلند، اختلاف معنی‌دار ندارد. اثر دوگانه قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی و سرعت دورانی استوانه بردارنده در سطح یک درصد بر تلفات تک‌سازی برای گل‌های زعفران باز دم‌کوتاه و دم‌بلند اختلاف معنی‌دار دارند. ولی برای گل‌های زعفران غنچه اختلاف معنی‌دار ندارد. اثر دوگانه میزان مکش و سرعت دورانی استوانه بردارنده در هیچ سطحی بر تلفات تک‌سازی برای گل‌های زعفران غنچه و باز دم‌کوتاه

اختلاف معنی‌دار ندارند. اما فقط برای گل‌های زعفران باز دم‌بلند در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار دارد. اثر سه‌گانه در هیچ سطحی بر تلفات تک‌سازی برای گل‌های زعفران غنچه و باز دم‌کوتاه و باز دم‌بلند اختلاف معنی‌دار ندارند.

با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌های آزمون توکی که در جدول 4 آمده است، تلفات تک‌سازی گل‌های زعفران با قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی و میزان مکش رابطه‌ی مستقیم دارد ولی با سرعت دورانی استوانه بردارنده رابطه‌ی عکس دارد. میانگین تلفات در حالتی که قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی ۲ میلی‌متر باشد خیلی کم‌تر از حالتی است که قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی ۵ میلی‌متر است. درواقع از آنجایی که هرچه قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی کم‌تر باشد، سطح مقطع مکش کم‌تر شده و با کم‌تر شدن سطح مقطع، تعداد گل‌های زعفران کم‌تری می‌توانند به نوک انگشتی‌های مکش بچسبند، درنتیجه تلفات تک‌سازی کاهش می‌یابد. درحالی‌که اگر قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی زیاد باشد، سطح مقطع مکش افزایش یافته و تعداد گل‌های زعفران بیش‌تری می‌توانند به نوک انگشتی‌های مکش بچسبند و درنتیجه تلفات تک‌سازی افزایش می‌یابد.

همچنین ملاحظه می‌شود که میانگین تلفات در مکش ۱۰۰ میلی‌متر جیوه بیش‌تر از مکش ۳۰ میلی‌متر جیوه به‌دست آمده است. هر چه قدر مکش کمترتر باشد، نیروی مکش کاهش می‌یابد و وقتی‌که انگشتی‌های بردارنده از میان گل‌های زعفران عبور می‌کند، آن گلی که سطح بیش‌تری از سطح مقطع مکش را گرفته است، با نیروی بیشتری به نوک انگشتی‌ها می‌چسبد و درنتیجه همان گل می‌تواند برداشت شود اما در فشار مکش بالاتر نیروی مکش بیشتر از نیروی وزن گل‌ها است و درنتیجه تمام گل‌ها چسبیده به نوک انگشتی را برداشت می‌کند. همچنین کم‌ترین تلفات در سرعت دورانی استوانه بردارنده ۲۱/۵ دور بر دقیقه است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت کم‌ترین تلفات در انگشتی‌های مکشی با قطر داخلی سوراخ کوچک، مکش کم و سرعت دورانی بالاتر استوانه بردارنده بروز می‌کند.

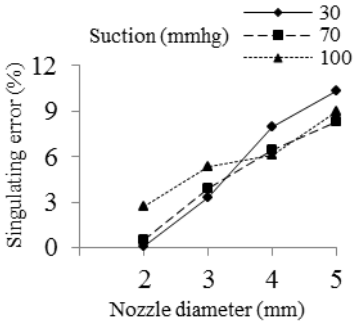
جدول 4- میانگین درصد خطای تک سازی برای انواع گل زعفران

Table 4- Mean singulating efficiency for different saffron flowers

نوع گل Type of flowers	قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی Inner diameters of sucking nozzles (mm)				میزان مکش Level suction (mmhg)			سرعت دورانی استوانه بردارنده Rotational speeds of pickup cylinders (rpm)		
	2	3	4	5	30	70	100	6	12	21.5
غنچه Bud	1.1	4.15	8.25	7.85	4.7	5.5	5.6	7.5	5	3.5
باز دم‌کوتاه Short tail open (%)	1.66	3.42	6.94	14.16	5.14	6	8.5	9	6.25	4.37
باز دم‌بلند Long tail open (%)	1.76	5.55	11.3	11	5.55	7.7	8.95	11.32	7.77	3.12

با توجه به شکل ۹ برای اثر متقابل قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی (سطح مقطع مکش) و میزان مکش، می‌توان نتیجه گرفت که در مکش‌های مختلف، با افزایش قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی به ۵ میلی‌متر، تلفات برای گل‌های زعفران غنچه افزایش می‌یابد. کم‌ترین تلفات در مکش‌های مختلف و قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی ۲ میلی‌متر می‌باشد. بنابراین کم‌ترین تلفات برای گل‌های زعفران غنچه، در مکش ۳۰ میلی‌متر جیوه و در انگشتی‌های مکشی با

قطر داخلی سوراخ ۲ میلی‌متر می‌باشد.

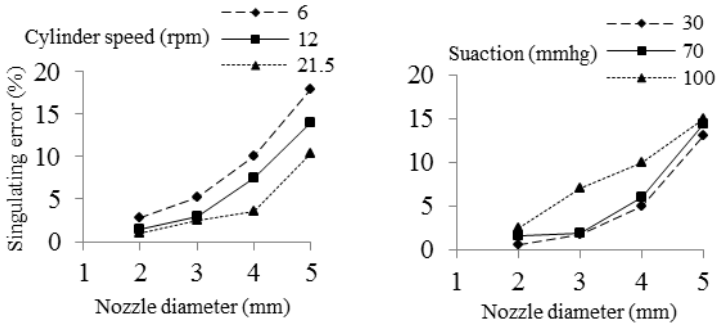


شکل ۹- اثر متقابل قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی (سطح مقطع مکش) و میزان مکش بر تلفات گل‌های زعفران غنچه

Figure 9- The interaction effect of inner diameters of nozzles and level of suction on singulating error of bud saffron flowers.

با توجه به شکل ۱۰ برای اثر متقابل قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی و میزان مکش برای تلفات گل‌های زعفران باز دم‌کوتاه، می‌توان نتیجه گرفت که در مکش‌های مختلف، با افزایش قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی ، تلفات گل‌های زعفران باز دم‌کوتاه افزایش می‌یابد. بنابراین کم‌ترین تلفات برای گل‌های زعفران باز دم‌کوتاه در میزان مکش ۳۰ میلی‌متر جیوه و در قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی ۲ میلی‌متر می‌باشد.

همچنین با توجه به شکل ۱۰ برای اثر متقابل قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی و سرعت دورانی استوانه بردارنده برای تلفات گل‌های زعفران باز دم‌کوتاه، می‌توان نتیجه گرفت که در سرعت‌های دورانی مختلف استوانه بردارنده، با افزایش قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی تلفات گل‌های زعفران باز دم‌کوتاه افزایش می‌یابد. به عبارتی کم‌ترین تلفات برای گل‌های زعفران باز دم‌کوتاه در سرعت دورانی استوانه بردارنده ۶ دور بر دقیقه و در انگشتی‌های مکشی با قطر داخلی سوراخ ۲ میلی‌متر مشاهده شد.



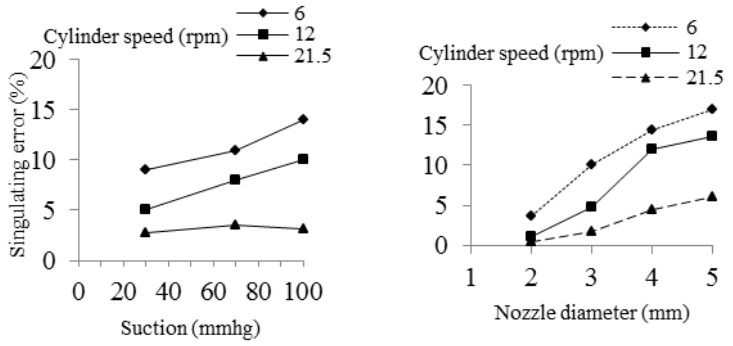
شکل ۱۰- اثرهای متقابل دوگانه در خطای تک‌سازی گل‌های زعفران باز دم‌کوتاه

Figure 10- Dual interaction effects on singulating error of short tailopen saffron flowers.

با توجه به شکل برای اثر متقابل قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی و سرعت دورانی استوانه بردارنده بر تلفات گل‌های زعفران باز دم‌بلند، می‌توان نتیجه گرفت که در سرعت‌های دورانی مختلف استوانه بردارنده، با افزایش قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی به ۵ میلی‌متر، تلفات برای گل‌های زعفران باز دم‌بلند افزایش می‌یابد. کم‌ترین تلفات در سرعت دورانی استوانه بردارنده مختلف در قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی ۲ میلی‌متر می‌باشد. بنابراین کم‌ترین تلفات برای گل‌های زعفران باز دم‌بلند در سرعت دورانی استوانه بردارنده ۶ دور بر دقیقه و در قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های

مکشی به ۲ میلی‌متر می‌باشد.

اثر متقابل میزان مکش و سرعت دورانی استوانه بردارنده بر تلفات تک‌سازی گل‌های زعفران باز دم‌بلند، در شکل نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در سرعت‌های دورانی مختلف استوانه بردارنده، با افزایش میزان مکش، تلفات گل‌های زعفران باز دم‌بلند افزایش می‌یابد. کم‌ترین تلفات در سرعت‌های دورانی مختلف استوانه بردارنده در میزان مکش ۳۰ میلی‌متر جیوه می‌باشد، بنابراین کم‌ترین تلفات برای گل‌های زعفران باز دم‌بلند در سرعت دورانی استوانه بردارنده ۲۱/۵ دور بر دقیقه و میزان مکش ۳۰ میلی‌متر جیوه می‌باشد.



شکل ۱۱- اثرهای متقابل دوگانه در خطای تک‌سازی گل‌های زعفران باز دم‌بلند

Figure 11- Dual interaction effects on singulating error of long tail open saffron flowers.

ج) نتایج بازده و تلفات ردیف کردن دستگاه

بر اساس آزمون‌های صورت گرفته در بهترین حالت تک‌سازی متغیرهای استوانه بردارنده (یعنی برای گل‌های زعفران باز دم‌کوتاه، انگشتی‌های مکشی با قطر داخلی سوراخ ۲ میلی‌متر و میزان مکش ۳۰ میلی‌متر جیوه در سرعت دورانی ۲۱/۵ دور بر دقیقه) و با توجه به رابطه ۳ مقدار میانگین بازده ردیف‌سازی (گل‌های ردیف شده با جهت قرارگیری، دم گل به سمت جلو) برای گل‌های باز زعفران ۸۴ درصد و به عبارتی مقدار میانگین تلفات ردیف‌سازی (گل‌های ردیف شده با جهت قرارگیری غلط) برابر با ۱۶ درصد به‌دست آمد.

گل‌هایی که سقوط آزاد از استوانه بردارنده دارند به حالت کاملاً عمودی (یعنی دمشان به سمت پایین) به سطح شیب‌دار برخورد می‌کنند. در لحظه برخورد گل‌ها به سطح شیب‌دار باعث چرخش بعضی از گل‌ها می‌شوند. درنتیجه جهت گل‌ها عوض می‌شوند و علت اصلی بروز تلفات ردیف کردن دستگاه به خاطر برخورد گل‌ها به سطح شیب‌دار می‌باشد. این موضوع نشان می‌دهد که بررسی‌های بیشتری بر روی نوع و جنس سطح شیب‌دار باید صورت گیرد تا هنگام برخورد با سطح کمترین تغییر وضعیت در آن‌ها ایجاد شود.

نتیجه‌گیری

با ارزیابی دستگاه ساخته شده مشخص شد که استفاده از مکش‌های کمتر در انگشتی‌های بردارنده تلفات تک‌سازی گل‌های زعفران کمتر می‌شود. این امر ضمن اینکه توان مصرفی دستگاه را کاهش می‌دهد و فشار کمتری به فن مکش دستگاه وارد می‌شود. علاوه بر این استفاده از انگشتی‌های مکشی با قطر داخلی کوچک‌تر، تلفات تک‌سازی را کاهش می‌دهد. دلیل عمده این است که سطح مقطع مکش کم‌تر باعث می‌شود که تنها یک گل زعفران به نوک انگشتی مکش بچسبند و از قاپیدن هم‌زمان چند گل جلوگیری شود. هر چه سرعت دورانی استوانه

بردارنده بیش‌تر باشد، انگشتی‌های استوانه بردارنده زمان کم‌تری برای گرفتن و برداشت گل‌های زعفران دارند و در نتیجه تعداد انگشتی‌های که چند تا گل برداشت می‌کنند کاهش می‌یابد و موجب کاهش تلفات تک‌سازی می‌شود.

میانگین بازده و تلفات تک سازی برای گل‌های مختلف زعفران به ترتیب ۷۱ و ۱۱/۵ درصد می‌باشد. بیش‌ترین بازده تک‌سازی برای گل‌های زعفران باز دم‌کوتاه حدود ۷۵ درصد، در قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی ۵ میلی‌متر، میزان مکش ۱۰۰ میلی‌متر جیوه و سرعت دورانی ۶ دور بر دقیقه می‌باشد. با توجه به این‌که مهم‌ترین هدف در تک‌سازی گل‌های زعفران، پایین بودن تلفات می‌باشد، درنتیجه کم‌ترین تلفات تک‌سازی دستگاه برای گل‌های زعفران غنچه برابر با ۷ درصد، با قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی ۲ میلی‌متر، میزان مکش ۳۰ میلی‌متر جیوه و سرعت دورانی ۲۱/۵ دور بر دقیقه به‌دست آمد. به دلیل این‌که بیش‌تر گل‌های زعفران که جداسازی می‌شوند، به‌صورت باز دم‌کوتاه می‌باشد؛ در نتیجه مقدار تلفات برای گل‌های زعفران باز دم‌کوتاه برابر با ۱۲/۴ درصد، با قطر داخلی سوراخ انگشتی‌های مکشی ۲ میلی‌متر، میزان مکش ۳۰ میلی‌متر جیوه و سرعت دورانی ۲۱/۵ دور بر دقیقه به‌دست آمد. برای حصول بازده بالاتر و تلفات کمتر لازم است با انجام تحقیقات بیشتر بر روی دستگاه ساخته شده فرایند بهینه‌سازی آن ادامه یابد.

منابع

Alishahi, A., and Shamsi, M. 2012. Saffron separation from other parts of the flowers in the wind tunnel and its assessment with fuzzy logic. Journal of Agricultural Machinery 2 (2): 120-126. (In Persian with English Summary).

Bakhshi, H. 2015. Design, construction and evaluation of a row singulator for saffron flowers. Msc. dissertation, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary).

Emadi, B. 2008. Design of a wind tunnel for separating flower parts of saffron. In 9th Global Congress on Manufacturing and Management-GCMM, November 2008.

Esfandiari, M., Sharini, M., Gholipour, A., and Rahmati, A. 2011. Category and qualitative separation flower using a appearance of the image features. In Second National Conference on Computer Engineering and Information Technology, Hamedan, Iran, 17 february, 2011. (In Persian).

Graciaa, L., Perez-Vidalb, C., and Gracia-Lo´pezc, C. 2009. Automated cutting system to obtain the stigmas of the saffron flower. Biosystems Engineering 104 (4): 8-17.

Mohaimani, S.M., and Abbasi, M. 2007. Construction separation of stigma saffron the mechanical method. ISME, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran, 15-17 may, 2007. (In Persian).

Paschino, F., and Gambella, F. 2008. First contribute to the mechanization string of saffron flowers (*Croccus Sativus* L.). International Conference, Italy, 15-17 September, 2008.

Saeidirad, M.H., Zaryfneshat, S., Nia, A.M., and Nazarzadeh, S. 2013. Investigation and research in the development of mechanization and to provide a best practice and the pattern of mechanized operations in the saffron harvest. Engineering Researches Center of Agriculture and Natural Resources of

Khorasan Razavi. (In Persian).

Shamsi, M., Mazloomzadeh, M., Asghari, J., and Mohamadian, A. 2012. Review and assess the possibility of separating blow stigma from saffron flower. In Seventh National Congress of Agricultural Machinery Engineering and Mechanization, shiraz, Iran, 4-6 September, 2011. (In Persian).

Valeghozhdi, H., Hassan Beygi Bidgoli, H.B., Saeidirad, M.H., and Kianmehr, M.H. 2010. Shear strength of stem and picking force for saffron flowers. Agricultural Engineering Research, 11 (3): 41-54. (In Persian with English Summary).

Design, construction and evaluation of a row singulator for saffron flowers

Hamed Bakhshi[1], Mohammad Hossein Abbaspour Fard[2], Mohammad Hossein Saidi-Rad[3], Mohammad Hossein Aghkhani[2] and Roghayeh Pourbagher4

Submitted: 19 April, 2016 **Accepted**: 25 July, 2017

Bakhshi, H., Abbaspour Fard, M.H. Saidi-Rad, M.H., Aghkhani, M.H., and Pourbagher, R. 2018. Design, construction and evaluation of a row singulator for saffron flowers. Saffron Agronomy & Technology 5(4): 361-371.

Abstract

Separation of stigma from petals is one of the required tasks in saffron production. The mechanical separation of saffron flowers may be performed through the following steps: I) singulation of the flowers ii) aligning the flowers iii) cutting the style (Konje) and iv) separating the stigma from the petals. Because of the importance of saffron flower separation, a prototype device was constructed in this project for singulating and aligning of saffron flowers, prior to the cutting operation. This device can also be installed to work with other cutting and separating equipment and produce on an industrial scale. A pickup vacuum cylinder was used for singulating the flowers and an inclined V-shaped surface was employed for aligning of saffron flowers. The constructed apparatus was evaluated from the standpoint of singling efficiency and losses. For this purpose, three types of saffron flowers (buds, open short tail and long tail), three rotational speeds of pickup cylinder (6, 12 and 21.5 rpm), three levels of suction (30, 70 and 100 mm Hg), and four different inner diameters of finger's nozzle (2, 3, 4 and 5 mm) were used with three replications. The results of analysis on the constructed device showed that the highest efficiency (75%) is observed for short tailopen saffron flowers with 5 mm inner diameter of sucking nozzles, suction of 100 mm Hg and the rotational speed of 6 rpm. To evaluate the performance of flower aligning, 100 saffron flowers with an average length of 5 cm were selected and tested with 5 replications. The average aligning with the correct direction obtained was equal to 84%.

Keywords: Separation, Singulation, Saffron flower, Aligning.

1 - Graduated Master of Science, Dept. of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

2- Professor of Dept. of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

3- Associate Professor, Department of Agricultural Engineering Research , Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran

4- Ph.D Student of Dept. of Biosystems Engineering,Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

(*- Corresponding Author E-mail: abaspour@um.ac.ir)

DOI; 10.22048/jsat.2017.52095.1157