

ارزیابی دو مکانیزم اعمال نیروهای فشاری و ضربه‌ای برای جداسازی کلاله از گل زعفران خشک شده

محمدحسین سعیدی‌راد* و عباس مهدی‌نیا**

* نگارنده مسئول: مشهد، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، ص. پ. ۴۸۸، تلفن: ۰۵۱۱-۳۸۲۲۳۰۱-۴.

پیام‌نگار: saedirad@yahoo.com

** اعضای هیأت علمی بخش تحقیقات فنی و مهندسی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی

تاریخ دریافت: ۹۱/۹/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۲/۱۴

چکیده

از مهمترین مشکلات زراعت زعفران، مکانیزه نبودن برداشت است. نیاز به نیروی کار فراوان در دوره‌ای محدود برای برداشت زعفران باعث محدود شدن توسعه کشت این محصول استراتژیک و همچنین بالارفتن هزینه‌های تولید شده است. یکی از روش‌های نگهداری گل زعفران، خشک کردن آن است تا در فرصت مناسب بتوان کلاله از گل را جدا کرد. به‌منظور دستیابی به مکانیزاسیون مناسب برای جداسازی کلاله از گل‌های خشک شده، دو مکانیزم، یکی به‌کار بردن نیروهای فشاری و دیگری ایجاد ضربه برای جداسازی گل‌های زعفران خشک شده مورد ارزیابی قرار گرفت. در این تحقیق گل‌های خشک شده با استفاده از غلتک‌های فشاردهنده و خورشیدی‌های ضربه‌زن تحت تأثیر نیروهای فشاری و ضربه‌ای قرار گرفتند و تأثیر آهنگ تغذیه در سه سطح (۲/۶، ۶ و ۸/۷ گرم بر ثانیه)، سرعت دورانی برای غلتک‌های فشاردهنده در سه سطح (۸۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ دور در دقیقه) و خورشیدی‌های ضربه‌زن در سه سطح (۵۰۰، ۷۰۰ و ۹۰۰ دور در دقیقه) و نوع گل خشک شده در سه سطح (غنچه، نیمه‌باز و کاملاً باز)، بر درصد وزنی کلاله‌های جدا شده و کلاله‌های شکسته به‌صورت طرح آماری کاملاً تصادفی در قالب آزمایش فاکتوریل و در سه تکرار بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که درصد وزنی کلاله‌های جدا شده در گل‌های باز و نیمه‌باز نسبت به گل‌های غنچه بالاتر است ولی میزان شکستگی کلاله‌ها در گل‌های غنچه تا ۳۰ درصد کمتر است. با افزایش سرعت دورانی استوانه‌ها، درصد وزنی کلاله‌های شکسته افزایش می‌یابد. مشخص شد که ضربه‌زن‌های خورشیدی کارایی مناسب را برای جداسازی کلاله‌های گل‌های خشک شده زعفران ندارند تا آن‌جا که میزان کلاله‌های جدا شده در کلیه تیمارها کمتر از ۵۰ درصد به‌دست آمده است. استفاده از غلتک فشارنده با سرعت دورانی ۲۰۰ دور در دقیقه و آهنگ تغذیه ۶ گرم بر ثانیه برای جداسازی کلاله از گل‌های خشک شده نیمه‌باز، مطلوب‌ترین شرایط را نتیجه به‌دست می‌دهد که موجب جداسازی ۹۹/۴۸ درصد کلاله‌ها می‌شود.

واژه‌های کلیدی

جداسازی، کلاله زعفران، گل زعفران، نیروی ضربه‌ای، نیروی فشاری

مقدمه

کشور است به‌طوری‌که از کل محصول تولید شده ۲۰ درصد آن در داخل مصرف و مابقی به کشورهای دیگر صادر می‌شود (Anon, 2010). از مهمترین مشکلات زراعت و تجارت زعفران می‌توان مواردی از قبیل صادرات فله‌ای، بسته‌بندی نامناسب، بهداشتی نبودن زعفران، آلوده

سطح زیر کشت زعفران در استان خراسان در حدود ۵۷۰۰۰ هکتار است که با عملکرد ۴/۶ کیلوگرم در هکتار سالانه بالغ بر ۲۲۰ تن محصول خشک تولید می‌شود. در حال حاضر محصول زعفران یکی از اقلام مهم صادراتی

به‌همراه خامه سفید که در انتهای آن قرار دارد آزاد می‌کند. با نگه داشتن کلاله در بین دو انگشت، سایر قسمت‌های گل با انگشتان دست دیگر کشیده می‌شود تا خامه به‌طور کامل از داخل ساقه جدا گردد. کلاله گل‌های بعدی نیز به‌همان روش روی کلاله گل ماقبل قرار می‌گیرد تا به‌تدریج یک دسته کلاله در بین انگشتان تشکیل شود. به‌منظور تولید زعفران پوشال، تمامی گل‌ها از ناحیه یقه قیچی می‌شوند تا کلاله از سایر قسمت‌های گل جدا گردد. مخلوط کلاله‌ها و سایر قسمت‌های گل با توجه به تفاوت‌های موجود در جرم مخصوص و سرعت حد کلاله‌ها با سایر قسمت‌های گل، در چند مرحله جداسازی می‌شوند (Saeidirad & Mokhtarian, 2011).

جستجوی منابع مرتبط با تحقیق حاضر نتیجه‌ای در بر نداشت. پژوهش‌هایی در خصوص خواص فیزیکی گل زعفران و روش‌های جداسازی کلاله از گل‌های تازه برداشت شده وجود دارد که در زیر به آنها اشاره می‌شود. خواص فیزیکی اجزای گل زعفران شامل ابعاد، وزن، چگالی‌های ظاهری و حقیقی، تخلخل، ضرایب اصطکاک استاتیک و دینامیک و سرعت حد در رطوبت‌های مختلف است. دامنه تغییرات چگالی ظاهری، چگالی حقیقی و تخلخل برای اجزای گل به‌ترتیب عبارت است از $0.16-0.3$ گرم بر سانتی‌متر مکعب، $0.56-0.55$ گرم بر سانتی‌متر مکعب و $2/85-5/95$. دامنه تغییرات ضریب اصطکاک دینامیکی نیز از 0.45 برای پرچم در روی آهن تا $1/14$ برای گلبرگ روی ورق آهن گالوانیزه ثبت شده است. سرعت حد اجزای مختلف گل بین $2/38-0/9$ متر بر ثانیه متغیر است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که طراحی دستگاه جداکننده اجزای گل بر مبنای اختلاف مقادیر ضرایب اصطکاک و سرعت حد امکان‌پذیر است (Emadi & Saeidirad, 2011).

دستگاه فرآوری ساخته شده زعفران دارای سه قسمت است: برش گل زعفران، جداسازی گل زعفران و

شدن آن در مراحل مختلف برداشت، مکانیزه نبودن برداشت و هزینه بالای تولید را نام برد. علاوه بر این، نیاز به نیروی کار فراوان در دوره محدود برداشت، باعث محدودیت در توسعه کشت و همچنین بالا رفتن هزینه‌های تولید این محصول استراتژیک شده است. در صورت مکانیزه شدن برداشت زعفران به‌ویژه در مرحله جداسازی کلاله‌ها از گل زعفران، علاوه بر کاهش هزینه‌های تولید و افزایش سطح زیر کشت، می‌توان محصولی بهداشتی تولید و بسیاری از مشکلات صادرات آن را حل کرد.

گلدهی زعفران دوره‌ای کوتاه، ۲۰-۱۵ روزه، دارد. این دوره با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه و همچنین زمان آبیاری اولیه می‌تواند از اواخر مهرماه تا اوایل آذرماه باشد. برداشت گل‌های زعفران به‌صورت غنچه به‌مراتب راحت‌تر و سریع‌تر از برداشت گل‌های باز شده است. موقعی که برگ‌های سوزنی شکل زعفران نیز سبز شده باشند برداشت محصول مشکل و وقت‌گیر خواهد بود. حمل و نقل غنچه نیز آسانتر از حمل و نقل گل‌های باز شده است و فضای کمتری اشغال می‌کند. گل‌هایی که با تاخیر در مزرعه برداشت می‌شوند باید به‌سرعت برای انجام دادن سایر مراحل برداشت آنها (درآوردن کلاله) آماده شوند در حالی که غنچه‌ها توان ماندگاری ۴-۲ روزه را در محیط خنک و دور از نور آفتاب دارند. اما با توجه به حجم بالای کار و همچنین کمبود نیروی انسانی و به‌کار نرفتن ماشین در این مرحله، فقط برداشت بخشی از گل‌ها به‌صورت غنچه امکان‌پذیر خواهد بود. در این حالت لازم است غنچه‌ها و گل‌های باز شده در مزرعه در ظرف جداگانه‌ای قرار داده شوند تا بتوان سایر مراحل برداشت را نیز به‌ترتیب اولویت ماندگاری کمتر مدیریت کرد. کلاله از گل به دو روش جدا می‌شود و هر کدام از نظر کیفیت، محصول متفاوتی به‌دست می‌دهد. برای تهیه کلاله‌های زعفران به‌صورت دسته‌ای، که اصطلاحاً دختر پیچ نیز گفته می‌شود، کارگر با شکافتن ساقه گل، کلاله سه شاخه‌ای را

آیرویدینامیکی متفاوت کلاله و گلبرگ است. نتایج ارزیابی دستگاه نشان می‌دهد که ظرفیت برش گل‌ها ۸ برابر روش سنتی (دستی) است (Gracia et al., 2009).

اصول کار اغلب دستگاه‌ها و ماشین‌های ساخته شده برای جداسازی کلاله از گل زعفران، بر اساس جداسازی کلاله از گل تازه برداشت شده استوار است. هدف این تحقیق، بررسی امکان جداسازی کلاله از گل زعفران خشک شده با اعمال نیروی‌های ضربه‌ای و فشاری است. در این روش گل برداشت شده از مزرعه در شرایط مناسب خشک شده تا کیفیت ظاهری و رنگ و عطر آن حفظ شود. سپس تأثیر عوامل ماشینی محصولی بر جداسازی کلاله از گل زعفران خشک شده با استفاده از دو مکانیزم فشاری و ضربه‌ای بررسی شدند.

مواد و روش‌ها

نمونه‌های آزمایشی شامل گل‌های زعفران در سه شکل (گل‌های باز، نیمه‌باز و غنچه) از مزرعه زعفران واقع در ایستگاه تحقیقات کشاورزی طرق، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی تهیه شدند. گل‌های زعفران در ابتدای صبح و قبل از طلوع آفتاب، (به‌صورت غنچه)، پس از طلوع آفتاب (به‌صورت نیمه‌باز) و در ساعت ۱۰ صبح (کاملاً باز)، برداشت شدند. نمونه‌ها در دمای ۶۰ درجه سلسیوس و جریان هوای ۰/۵ متر برثانیه و با استفاده از خشک کن کابینتی مطابق موجود در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی خشک شدند. جدول ۱ میزان رطوبت گل‌های تازه و خشک شده و همچنین زمان خشک شدن آنها را برای سه نوع گل مورد آزمایش نشان می‌دهد.

خشک‌کن زعفران. این دستگاه قادر است پنج کیلوگرم گل زعفران را در یک ساعت برش دهد و کلاله‌ها را از گل‌ها جدا کند. خشک‌کن این دستگاه با ظرفیت ۱۶ کیلوگرم در ساعت، قادر است کلاله زعفران را با رطوبت استاندارد و کیفیت بسیار بالا خشک کند که مدت زمان فرآوری خشک کردن، ۱۲ دقیقه با سوخت گاز مایع شهری است (Abrishamifar, 2006).

در تحقیقی، امکان جداسازی قسمت‌های مختلف گل زعفران به کمک تونل باد عمودی و اندازه‌گیری سرعت حد بررسی شد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که مقدار سرعت حد برای سه قسمت گل یعنی کلاله، پرچم و گلبرگ دارای اختلاف معنی‌داری است. همچنین گزارش شده که بین سرعت حد کلاله زعفران (۲/۴-۲/۸ متر بر ثانیه) و سرعت حد سایر قسمت‌ها (۲-۱ متر بر ثانیه) اختلاف معنی‌داری وجود دارد و با استفاده از این اختلاف معنی‌دار امکان جداسازی کلاله از سایر قسمت‌ها وجود دارد. دبی هوای مورد نیاز ۱۷۰۰ مترمکعب بر ساعت و فشار استاتیک ۰/۸۲ سانتی‌متر برآورد شده است (Emadi, 2009).

سیستم برش اتوماتیک به‌منظور جدا کردن کلاله از گل زعفران طراحی و ساخته شد. در این سیستم به‌منظور مشخص کردن نقطه مناسب برش از پردازش تصویر استفاده شده است. یک برنامه کامپیوتری قابل انعطاف تصویر گل را آنالیز می‌کند و مقدار محاسبه شده به یک سیستم موقعیت یابی خطی ارسال می‌شود تا دستگاه برش را در ارتفاع مشخص قرار دهد. در پایان، کلاله‌ها از گلبرگ به کمک سیستم دمنده جدا و در سبدهای متفاوت ریخته می‌شود. این خاصیت به‌دلیل داشتن مقاومت

جدول ۱- میزان رطوبت گل‌های زعفران و زمان خشک شدن آنها

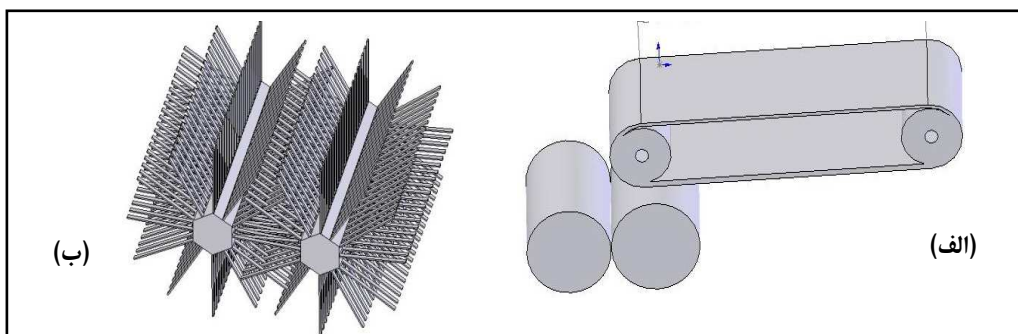
نوع گل	رطوبت نمونه خشک نشده (درصد)	زمان خشک شدن (دقیقه)
غنچه	۷۹/۳	۴۵
نیمه‌باز	۷۷/۲	۴۰
کاملاً باز	۷۶/۸	۴۰

سیستم با یک تسمه نقاله افقی تغذیه می‌شود، این تسمه نقاله توان مورد نیاز خود را از یک موتور الکتریکی جریان مستقیم با سرعت ۱۱۰ دور در دقیقه دریافت می‌کند. تغییر دور موتور و در نتیجه تغییر آهنگ تغذیه با تغییر ولتاژ یک منبع تغذیه جریان-ولتاژ متغیر انجام می‌شود. به منظور دستیابی به مناسب‌ترین شرایط و روش برای جداسازی کلاله از گل زعفران خشک شده، دو آزمایش جداگانه با استفاده از غلتک‌های فشاردهنده و خورشیدی‌های ضربه‌زن انجام گرفت. در هر یک از این آزمایش‌ها، تأثیر تیمارهای: ۱- آهنگ تغذیه در سه سطح (۲/۶، ۶ و ۸/۷ گرم بر ثانیه)، ۲- سرعت دوران برای غلتک‌ها در سه سطح (۸۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ دور در دقیقه) و برای استوانه‌های خورشیدی (۵۰۰، ۷۰۰ و ۹۰۰ دور در دقیقه) و ۳- نوع گل خشک شده در سه سطح (غنچه، نیمه‌باز و کاملاً باز) بر صفات، یکی درصد وزنی کلاله‌های جدا شده از گل و دیگری درصد وزنی کلاله‌های شکسته، در سه تکرار بررسی شد. در منابع مورد استفاده مورد مشابهی یافت نگردید، بنابراین برای انتخاب سرعت‌های دورانی غلتک‌ها و استوانه‌های خورشیدی ابتدا یک پیش‌آزمایش اجرا شد و سطوحی از سرعت برای هر یک از دو سیستم انتخاب شد که در ارزیابی مشاهده‌ای قابل بررسی بودند.

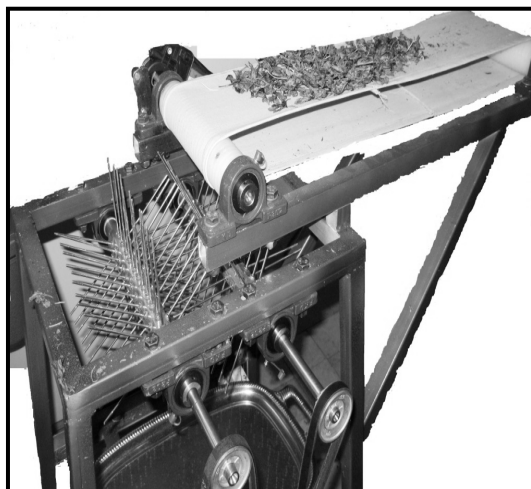
در هر دو مورد، طرح آماری کاملاً تصادفی در قالب آزمایش فاکتوریل با سه تکرار اجرا شد و تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS انجام گرفت.

به‌منظور اعمال نیروی‌های فشاری و ضربه‌ای به گل‌های زعفران خشک شده که در سه دسته (غنچه، نیمه‌باز و کاملاً باز) تهیه شده بودند، دستگاه آزمایشگاهی که قابلیت نصب غلتک‌های فشاردهنده و همچنین خورشیدی‌های ضربه‌زن را داشت، طراحی و ساخته شد. شکل ۱ مکانیزم این غلتک‌ها و خورشیدی‌ها را نشان می‌دهد. دستگاه فشارنده غلتکی متشکل از دو غلتک پلی‌اتیلنی به فاصله ۵ میلی‌متر از یکدیگر است. جهت دوران این دو غلتک در خلاف یکدیگر است که با ورود مواد از بالا روی این دو غلتک، حرکت دورانی آنها باعث عبور مواد از بین آنها شده و گل‌های زعفران فشرده می‌شوند (شکل ۱).

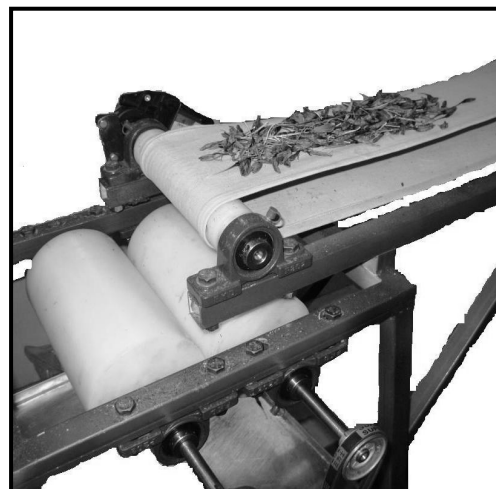
در مکانیزم خورشیدی ضربه‌زن، روی دو شمش شش ضلعی برنجی، شش ردیف انگشتی فلزی به طول ۱۰۰ و قطر ۳ میلی‌متر با فاصله ۲۰ میلی‌متر از یکدیگر نصب شدند. این دو استوانه خورشیدی، قابلیت نصب را روی شاسی دستگاه (به‌جای غلتک‌های فشاردهنده) دارند. گل‌های خشک شده با تسمه نقاله روی دو استوانه خورشیدی در حال دوران ریخته می‌شوند و با عبور از بین دو استوانه ضرباتی توسط میله‌های دو استوانه به گل‌ها وارد خواهد شد. حرکت دورانی غلتک‌های فشاردهنده و استوانه‌های خورشیدی توسط یک موتور الکتریکی تک فاز با سرعت دوران ۱۴۰۰ دور در دقیقه تامین می‌شود و تغییر سرعت دوران نیز با استفاده از دستگاه دیمر کاهنده دور امکان‌پذیر است (شکل ۲).



شکل ۱- مکانیزم‌های اعمال‌کننده فشار و ضربه



(ب)



(الف)

شکل ۲- (الف) دستگاه آزمایشگاهی مجهز به غلتک‌های فشاردهنده، و (ب) خورشیدی ضربه‌زن

تأثیر آهنک تغذیه بر درصد وزنی کلاله‌های جدا شده در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است. بررسی تأثیرات متقابل نشان می‌دهد که اثر متقابل نوع گل در سرعت دورانی در سطح احتمال ۵ درصد تأثیر معنی‌داری بر درصد وزنی کلاله‌های جدا شده دارد. اثر متقابل نوع گل در آهنک تغذیه نیز در سطح احتمال ۵ درصد بر درصد وزنی کلاله‌های شکسته معنی‌دار است (جدول ۲).

نتایج و بحث

الف- جداسازی با استفاده از استوانه‌های فشاردهنده

در آزمایش استفاده از استوانه‌های فشاردهنده نتایج آنالیز واریانس نشان می‌دهد که نوع گل تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بر درصد وزنی کلاله‌های جدا شده و همچنین کلاله‌های شکسته دارد. تأثیر سرعت دورانی استوانه‌ها تنها بر درصد وزنی کلاله‌های شکسته و

جدول ۲- نتایج آنالیز واریانس منابع متغیر مورد مطالعه بر درصد وزنی کلاله‌های جدا شده و کلاله‌های شکسته

میانگین مربعات		درجه آزادی	منابع تغییر
کلاله‌های شکسته	کلاله‌های جدا شده		
۹۴۳/۹۷**	۴۴/۹۳۰**	۲	نوع گل
۲۳۳/۵۲**	۰/۴۰ ns	۲	سرعت دورانی استوانه‌های فشاردهنده
۱/۰۱ ns	۳۵/۴۶**	۲	آهنک تغذیه
۱۰/۹۱ ns	۰/۷۳ ns	۴	نوع گل × سرعت دورانی
۷/۶۴ ns	۱/۸۱*	۴	نوع گل × آهنک تغذیه
۱۰/۳۷ns	۰/۷۸ns	۴	سرعت دورانی × آهنک تغذیه
۳/۲۵ns	۰/۳۴ns	۸	نوع گل × سرعت دورانی × آهنک تغذیه
۴/۴۰	۰/۵۸		خطا

** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، * اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ns نبود اختلاف معنی‌دار

تأثیر نوع گل

نسبت به گل‌های غنچه بالاتر است و نشان می‌دهد که غنچه بودن گل‌های خشک شده جداشدن کلاله از گل را با مشکل مواجه می‌کند. از طرف دیگر، محصور بودن کلاله در بین گلبرگ‌ها در گل‌های غنچه باعث کاهش میزان شکستگی کلاله‌ها از ۲۶/۱۷ درصد (برای گل‌های باز) به ۱۶/۱۸ درصد (برای غنچه‌ها) شده است که کاهش ۳۰ درصدی را نشان می‌دهد (جدول ۳).

نتایج آزمون مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن و در سطح احتمال ۵ درصد نشان می‌دهد که در دو صفت مورد مطالعه، تفاوت معنی‌داری بین گل‌های باز و نیمه‌باز وجود ندارد ولی گل‌هایی که به صورت غنچه خشک شده بودند با دو نوع گل دیگر تفاوت معنی‌داری دارند. درصد وزنی کلاله‌های جداشده در گل‌های باز و نیمه‌باز

جدول ۳- نتایج آزمون مقایسه میانگین‌ها در سطوح مختلف متغیرها با استفاده از آزمون دانکن

درصد وزنی کلاله‌های جداشده	درصد وزنی کلاله‌های شکسته		
۹۹/۳۹ a	۲۶/۱۷ a	گل باز	نوع گل
۹۹/۳۵ a	۲۶/۶۵ a	گل نیمه‌باز	
۹۷/۱۴ b	۱۶/۱۸ b	غنچه	
۹۸/۶۹ a	۲۱/۱۶ a	۸۰	سرعت دورانی استوانه‌ها (دور در دقیقه)
۹۸/۴۸ a	۲۱/۴۵ a	۲۰۰	
۹۸/۷۱ a	۲۶/۳۹ b	۳۰۰	
۹۹/۲۵ a	۲۳/۰۹ a	۲/۶	آهنگ تغذیه (گرم بر ثانیه)
۹۹/۳۲ a	۲۲/۷۸ a	۶	
۹۷/۳۰ b	۲۳/۱۳ a	۸/۷	

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

تأثیر سرعت دورانی استوانه‌ها

(Saeidirad & Javadi, 2011). با توجه به این که افزایش سرعت موجب بالا رفتن انرژی مکانیکی وارد به محصول می‌گردد، افزایش درصد وزنی کلاله‌های جداشده دور از انتظار نیست.

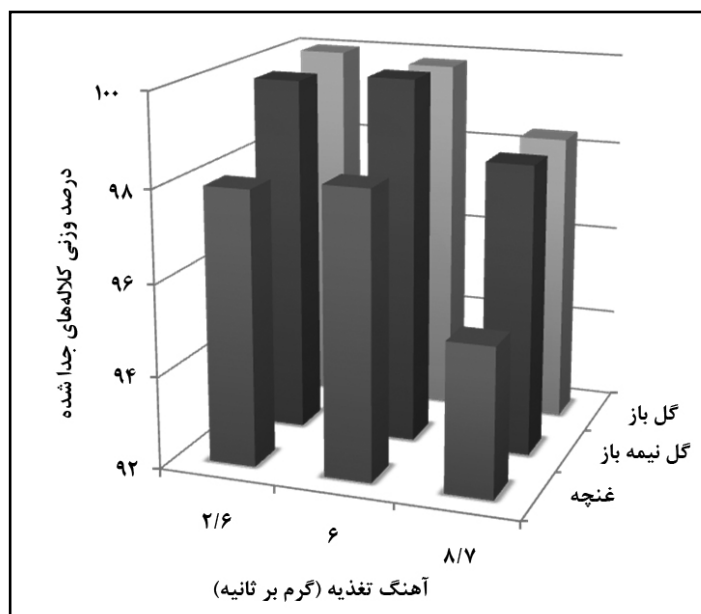
تأثیر آهنگ تغذیه

داده‌های جدول ۳ نشان می‌دهد که بین سطوح مختلف آهنگ تغذیه تفاوت معنی‌داری برای درصد وزنی کلاله‌های شکسته وجود ندارد. مشخص می‌شود که درصد وزنی کلاله‌های جداشده در آهنگ تغذیه ۸/۷ گرم بر ثانیه به میزان ۲ درصد نسبت به آهنگ‌های تغذیه ۲/۶ و ۶ گرم بر ثانیه کاهش یافته که تفاوت آنها در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است. نمودار شکل ۳ نشان‌دهنده تفاوت

نتایج آزمون مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که بین سه سرعت ۸۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ دور در دقیقه، تفاوت معنی‌داری در درصد وزنی کلاله‌های جداشده وجود ندارد و درصد وزنی کلاله‌های شکسته در سرعت ۳۰۰ دور در دقیقه با دو سرعت ۸۰ و ۲۰۰ دور در دقیقه در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری دارد (جدول ۳). داده‌های جدول نشان می‌دهد که با افزایش سرعت دورانی استوانه‌ها، درصد وزنی کلاله‌های شکسته افزایش می‌یابد. این موضوع در مورد عملیات کوبش سایر محصولات کشاورزی نیز اتفاق می‌افتد، یعنی با افزایش سرعت دورانی استوانه کوبنده میزان دانه‌های شکسته افزایش می‌یابد

دارند کمتر تحت تأثیر نیروهای فشاری قرار می‌گیرند و در نتیجه درصد وزنی کلاله‌های جدا شده کاهش می‌یابد. این مطلب در خصوص کوبش سایر محصولات کشاورزی در کوبنده‌های استوانه‌ای نیز اتفاق می‌افتد. سعیدی‌راد و جوادی (Saeidirad & Javadi, 2011) گزارش داده‌اند که با افزایش آهنگ تغذیه بیشتر از ظرفیت خرمن‌کوب زیره، کارایی آن کاهش و درصد وزنی دانه‌های جدا نشده افزایش می‌یابد.

معنی‌دار در درصد وزنی کلاله‌های جدا شده بین گل‌های باز و نیمه‌باز با غنچه‌های خشک شده در سه سطح آهنگ تغذیه است. مشاهده می‌شود که این تفاوت در هر سه سطح آهنگ تغذیه وجود دارد و در آهنگ تغذیه ۸/۷ گرم بر ثانیه نمایان‌تر، ولی با مقدار کمتر نسبت به دو سطح دیگر است. افزایش آهنگ تغذیه، حجم مواد بین غلتک‌ها را بالا برده و باعث می‌شود محصول بین غلتک‌ها به صورت یک بالشتک عمل کند و بنابراین گل‌هایی که در وسط قرار



شکل ۳- تأثیر آهنگ تغذیه و نوع گل بر درصد وزنی کلاله‌های جدا شده

گل و آهنگ تغذیه تأثیر معنی‌داری بر دو صفت مورد مطالعه ندارد. تأثیر سرعت دورانی استوانه‌ها بر درصد وزنی کلاله‌های شکسته و درصد وزنی کلاله‌های جدا شده در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است. بررسی اثر متقابل نشان می‌دهد که فقط اثر متقابل سرعت دورانی در آهنگ تغذیه در سطح احتمال ۱ درصد تأثیر معنی‌داری بر درصد وزنی کلاله‌های جدا شده و همچنین درصد وزنی کلاله‌های شکسته دارد (جدول ۴).

ب- جداسازی با استفاده از خورشیدی‌های ضربه‌زن در آزمایش استفاده از خورشیدی‌های ضربه‌زن نتایج اولیه نشان می‌دهد که ضربه‌زن‌های خورشیدی برای جداسازی کلاله‌های گل‌های خشک شده زعفران کارایی مناسب ندارند. هرچند سرعت دوران خورشیدی‌ها نسبت به غلتک‌های فشاردهنده افزایش چشمگیری داشته اما وزن کلاله‌های جدا شده در کلیه تیمارها کمتر از ۵۰ درصد به دست آمد. آنالیز واریانس نشان می‌دهد که نوع

جدول ۴- نتایج آنالیز واریانس منابع متغیر مورد مطالعه بر درصد وزنی کالاهای جدا شده و کالاهای شکسته

میانگین مربعات			منابع تغییر
کالاهای شکسته شده (درصد وزنی)	کالاهای جدا شده (درصد وزنی)	درجه آزادی	
۰/۰۱۴ns	۰/۰۷ns	۲	نوع گل
۲۵۴/۱۳**	۶۷۱۷/۶۲**	۲	سرعت دورانی خورشیدی‌های ضربه‌زن
۳/۱۴ ns	۱۶۱/۵۱ns	۲	آهنگ تغذیه
۰/۱۱۲ns	۲/۹۳ns	۴	نوع گل × سرعت دورانی
۰/۲۵ns	۱/۹۱ns	۴	نوع گل × آهنگ تغذیه
۱۵/۵۳**	۲۹۱/۶۱**	۴	سرعت دورانی × آهنگ تغذیه
۰/۱۹ns	۹/۱۴ns	۸	نوع گل × سرعت دورانی × آهنگ تغذیه
۲/۹۲	۶۸/۸۱		خطا

** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، * اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ns نبود اختلاف معنی‌دار

خورشیدی‌های ضربه‌زن، آزمایش اولیه انجام و مشاهده شد که در سرعت‌های بالاتر از ۹۰۰ دور در دقیقه نیز به‌علت ایجاد جریان هوا توسط خورشیدی‌ها گل‌های خشک شده زعفران که دارای جرم مخصوص پایین هستند به بیرون از محیط خورشیدی‌ها پرتاب می‌شوند و سیستم کارایی خود را به‌طور کامل از دست می‌دهد. با توجه به مطالب ذکر شده و ناکارا بودن این مکانیزم برای جداسازی کالاهای گل‌های زعفران خشک شده، بحث در خصوص تأثیر تیمارها و سطوح مختلف آن ضروری به‌نظر نمی‌رسد.

نتایج آزمون مقایسه میانگین‌ها نشان از ناکارا بودن این سیستم برای جداسازی کالاهای دارد. مشاهدات حین آزمایش نشان می‌دهد که امکان ایجاد درگیری مناسب بین انگشتی‌های خورشیدی و گل‌های زعفران وجود ندارد و بنابراین نیروی ضربه‌ای لازم به آنها وارد نمی‌شود. این موضوع در سرعت‌های پایین شدیدتر است (جدول ۵).

نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد که با افزایش سرعت دورانی خورشیدی‌ها درصد وزنی کالاهای جدا شده افزایش می‌یابد. همان‌گونه که در بخش مواد و روش‌ها اشاره شد، برای انتخاب سطوح سرعت دورانی

جدول ۵- نتایج آزمون مقایسه میانگین‌ها در سطوح مختلف متغیرها با استفاده از آزمون دانکن

درصد وزنی کالاهای شکسته	درصد وزنی کالاهای جدا شده		
۶/۵۲ a	۴۲/۷۴ a	گل باز	
۷/۰۵ a	۴۳/۲۵ a	گل نیمه‌باز	نوع گل
۶/۳۶ a	۳۸/۰۱ a	غنچه	
۲/۹۰ a	۲۳/۳۴ a	۵۰۰	سرعت دورانی
۶/۳۵ b	۴۳/۹۰ b	۷۰۰	خورشیدی‌ها
۸/۸۲ c	۵۵/۵۵ c	۹۰۰	(دور در دقیقه)
۵/۲۳ a	۴۰/۹۸ ab	۲/۶	آهنگ تغذیه
۶/۲۲ b	۳۸/۹۷ a	۶	(گرم بر ثانیه)
۶/۵۸ b	۴۳/۸۳ b	۸/۷	

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

نتیجه‌گیری

جداشده در آهنگ تغذیه ۸/۷ گرم بر ثانیه، نسبت به آهنگ تغذیه ۲/۶ و ۶ گرم بر ثانیه، به میزان ۲ درصد کاهش می‌یابد.

- مشخص گردید که ضربه‌زن‌های خورشیدی کارایی مناسب را برای جداسازی کلاله گل‌های خشک شده زعفران ندارند و میزان کلاله‌های جدا شده در کلیه تیمارها کمتر از ۵۰ درصد به دست می‌آید. بنابراین، استفاده از غلتک فشارنده با سرعت دوران ۲۰۰ دور در دقیقه و آهنگ تغذیه ۶ گرم بر ثانیه برای جداسازی کلاله از گل‌های خشک شده نیمه‌باز، مطلوب‌ترین شرایط را به دست می‌دهد.

- در آزمایش جداسازی کلاله از گل‌های خشک شده با استفاده از استوانه‌های فشاردهنده، درصد وزنی کلاله‌های جدا شده در گل‌های باز و نیمه‌باز نسبت به گل‌های غنچه بالاتر است که نشان می‌دهد غنچه بودن گل‌های خشک شده، جداشدن کلاله از گل را با مشکل مواجه کرده است. محصور بودن کلاله در بین گلبرگ‌ها در گل‌های غنچه، از میزان شکستگی کلاله‌ها، نسبت به دو نوع گل دیگر، به میزان ۳۰ درصد می‌کاهد. با افزایش سرعت دورانی استوانه‌ها، درصد وزنی کلاله‌های شکسته افزایش می‌یابد. کلاله‌های

مراجع

- Abrishamifar, S. 2006. Design and Development of Saffron Processing Machine. Report of Development of Sampler Machine. Khorasan Razavi Mechanization Office of Organization of Jihad-Agriculture. (in Farsi)
- Anon. 2010. Agricultural Statistical Bulletin. Ministry of Jihad-Agriculture. Province of Khorasan Razavi. (in Farsi)
- Emadi, B. 2009. Separating Saffron flower parts using vertical air column. Proceeding of the World Academy of Science, Engineering and Technology. 37, 25-28.
- Emadi, B. and Saeidirad, M. H. 2011. Moisture-dependent physical properties of Saffron flower. J. Agric. Sci. Tech. 13, 387-398.
- Gracia, L., Vidal, C. and Gracia, C. 2009. Automated cutting system to obtain the stigmas of the Saffron flower. Biosyst. Eng. 104(1): 8-17.
- Saeidirad, M. H. and Javadi, A. 2011. Study on machine-crop parameters of cylinder threshers for cumin threshing. CIGR J. 13(2): 1-5.
- Saeidirad, M. H. and Mokhtarian, A. 2011. The Hand Book of Saffron Production. Gholami Pub. (in Farsi)

Compaction and Impaction Forces from Loading Mechanisms for Separation of Stigmas from Dried Saffron Flowers

M. H. Saeidirad* and A. Mahdinia

* Corresponding Author: Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Agriculture and Natural Resources Research Center, P. O. Box: 488, Khorasan Razavi, Iran. E-mail: saeidirad@yahoo.com

Received: 8 December 2012, Accepted: 4 May 2013

The separation of saffron stigmas from fresh flowers is the most important and the most difficult stage of saffron harvesting. Saffron production costs are high because this harvesting stage is done by hand and is very time-consuming. One way of preserving the saffron flower is to dry it. The separating of the stigma from dried saffron flowers can then be done at an appropriate time. This study investigated the separation of the stigmas from dried flowers. The compaction and impaction forces of the loading mechanisms were evaluated. The dried flowers were loaded using pressure rollers and finger drums to test compaction and impaction forces, respectively. The effect of feed rate (2.6, 6, 8.7 g/s), roller drum speed (80, 200, 300 RPM), finger drum speed (500, 700, 900 RPM) and stage of flower development (buds, partially-opened, fully-opened) were investigated on the percentage (wt) of stigmas separated and the percentage (wt) of broken stigmas. The results showed that the percentage of separated stigma in the fully-opened and partially-opened flowers was higher than in flower buds. The percentage of broken stigmas in the buds was 30% lower than for fully-opened flowers. The percentage of broken stigmas increased as the roller speed increased. The results suggested that the performance of finger drums was not satisfactory and that the percentage of separated stigmas was 50%. A pressure roller speed of 200 rpm and a feed rate of 6 g/s were the most favorable conditions for separation of stigmas from partially-opened flowers (99.48%).

Keywords: Compaction, Impaction, Saffron flower, Saffron stigma, Separation