مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی_پژوهشی

تاثیر محل برش برای جداسازی آیرودینامیکی کلاله گل زعفران و انتخاب ساز و کار

مرضیه آردفروشان[1*]، داود قنبریان[2]، رضا مداحیان[3]، حمید رضا محمدی[4]

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد

۲-دانشیار، گروه طراحی صنعتی، دانشکده هنرهای کاربردی، دانشگاه هنر، تهران

۳-استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

٤-استادیار، گروه فیزیک، دانشکده فیزیک، دانشگاه اصفهان، اصفهان

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۹۹ /۰۵/۰۸

تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۰/۱٦

کلمات کلیدی:

جداسازی نیوماتیک،

خواص آیرودینامیکی،

سرعت حد،

گل زعفران.

DOI: 10.29252/fsct.18.06.29

* مسئول مکاتبات:

ardforoushan1361@gmail.com

چکیده

در سال‌های اخیر استفاده از روش‌های نیوماتیک برای جداسازی کلاله از اجزاء زعفران مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. در این راستا، علاوه بر کسب اطلاعات دقیق از خواص مهندسی بخش-های مختلف گل، اجرای شبیه‌سازی کامپیوتریِ فرآیند نیز ضروری است. بر اساس مشاهدات اولیه، تعداد اجزاء گل، ویژگی‌های آن‌ها و شبیه‌سازی فرآیند جداسازی، همگی به محل برش گل بستگی دارند. در این تحقیق، برش گل در دو حالت انجام شد. در حالت اول برش گیاه از محل بالای نهنج انجام و گل به سه بخش، شامل گلبرگ‌ها (٦ عدد)، پرچم‌ها (۳ عدد) و کلاله سه شاخه تقسیم شد. در حالت دوم برش از پائین نهنج انجام و گل به دو بخش (گل بدون کلاله و کلاله سه شاخه) تقسیم گردید. چگونگی تغییرات وزن، چگالی و سرعت حد اجزاء گل به صورت تابعی از محتوای رطوبتی بررسی شد. بر اساس نتایج این تحقیق و در تعارض با غالب مقالات منتشر شده، تونل‌های باد عمودی با جریان محوری برای جداسازی کلاله زعفران مناسب نیستند. به منظور فراهم کردن امکان شبیه سازی کامپیوتری، اجزاء گل به شکل ذرات کروی در نظر گرفته شدند و با استفاده از مقادیر سرعت حد تعیین شده در تونل دود، قطر آیرودینامیکی آن‌ها با کمک فلوچارت پیشنهادی محاسبه شد. نتایج نشان داد که اختلاف مقادیر قطر آیرودینامیکی در حالت برش دوبخشی به مقدار قابل توجه ۷۰ درصد می‌رسد. بررسی روش‌ها و تجهیزات مورد استفاده در جداسازی آیرودینامیکی محصولات کشاورزی و اطلاعات به‌دست آمده از این پژوهش نشان می‌دهد که دستگاه مناسب باید ضمن برخوردار بودن از سیستم تغذیه تکی، با ایجاد جریان توربولانس کلاله را جدا نماید. نتایج مقدماتی به‌دست آمده از شبیه‌سازی‌های کامپیوتری، استفاده از دو تونل با قطرهای متفاوت درون یکدیگر و مجهز به جریان چرخشی را امیدوارکننده نشان می‌دهد.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-05]

[DOI: 10.52547/fsct.18.115.29]

۱- مقدمه

زعفران، گرانترین ادویه جهان، جایگاه ویژه‌ای در میان محصولات صنعتی و صادراتی ایران دارد. ایران با تولید بیش از ۸۸ درصد، بزرگترین تولید کننده این محصول در جهان است. سطح زیر کشت این محصول در سال ۹۷ بالغ بر ۱۱۳ هزار هکتار و میزان تولید زعفران در این سال به ٤٠٤ تن رسیده است [۱]. یک گل زعفران دارای ٦ گلبرگ بنفش رنگ، ۳ پرچم زرد رنگ متصل به گلبرگ‌ها بصورت یک در میان، و یک خامه سفید رنگ می‌باشد. این خامه سفید رنگ در داخل ساقه‌ی لوله‌ای شکل گل قرار گرفته که پس از خارج شدن از ساقه در میان گلبرگ‌ها به رنگ نارنجی در می‌آید. همان طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، قسمت خوراکی گل که کلاله زعفران نام دارد در واقع سه شاخه قرمز رنگی است که از انتهای ساقه منشعب می‌شود. گل‌های زعفران در محل اتصال ساقه به گلبرگ‌ها برجسته‌تر از سایر قسمت‌های ساقه‌اند، این ناحیه در گیاهشناسی با نام نهنج شناخته می‌شود (شکل۱).

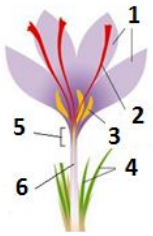


Fig 1 Saffron flower and its main parts: 1- petal, 2- stigma, 3- stamen, 4- leaf, 5-receptacle, 6-style

علیرغم اهمیت استراتژیک محصول زعفران، مراحل مختلف مربوط به تولید آن از کاشت تا فرآوری به‌صورت سنتی و با روش‌های دستی انجام می‌شود. پس از رویش گل‌های زعفران چهار مرحله اصلی برای تولید نهائی را می‌توان به شکل زیر فهرست کرد: برداشت گل، کندن کلاله، خشک کردن و بسته بندی کردن. از میان آن‌ها برداشت گل و کندن کلاله از مشکل‌ترین مراحل محسوب می‌شوند که در حال حاضر عمدتا به‌صورت دستی انجام می‌شوند [۲].

در کندن دستی کلاله، نخست گل‌های برداشت شده به‌صورت توده‌ای و فله بر روی سینی مخصوصی که مقابل کارگران قرار داده شده ریخته می‌شوند. کارگران گل‌ها را تک تک از داخل سینی برداشته و آن‌ها را بین دو دست می‌گیرند. با هر دست، سه گلبرگ آن را کنار می‌زنند و سپس گل را از وسط شکاف داده و پس از یافتن محل انشعاب کلاله، با فشار ناخن کمی پائین‌تر از آن را برش داده و اتصال آن به خامه را قطع می‌کنند.

جداسازی کلاله علاوه بر سخت و زمان‌بر بودن باعث آلودگی زعفران نیز شده و به علت طولانی شدن فرایند، باعث از بین رفتن کیفیت و عطر آن می‌شود. از طرف دیگر طراحی و ساخت دستگاه یا رباتی که قادر باشد همه این مراحل را یکجا انجام دهد بسیار پیچیده و پر هزینه خواهد بود. با این حال محققین طرح-های مختلفی اعم از مکانیکی، الکتروستاتیکی، مغناطیسی و نیوماتیکی را برای اتوماسیون این فرآیند مورد بررسی قرار داده‌اند [۳]. مرور منابع و بررسی‌های میدانی انجام شده برای اجرای این پژوهش، نشان دهنده عدم توفیق عملی و تجاری طرح های ارائه شده است.

واله قوژدی و همکاران [٤] در تحقیقی سرعت حد اجزای گل زعفران شامل گل کامل، ساقه، گلبرگ، پرچم و کلاله را بر حسب محتوای رطوبتی آن‌ها تعیین کردند. بر اساس نتایج این تحقیق، در تمام سطوح رطوبتی، مقدار سرعت حد کلاله از پرچم و گلبرگ بیشتر بود. آن‌ها گزارش کردند که کاهش رطوبت این اجزاء سبب کاهش معنی دار مقادیر سرعت حد آن‌ها نمی‌شود.

در تحقیق دیگری که توسط عمادی [۵] انجام شده، محتوی رطوبت و مقادیر سرعت حد اجزاء گل زعفران طی چهار روز پس از برداشت مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق، در هر چهار روز آزمایش، بیشترین محتوای رطوبتی و مقادیر سرعت حد به ترتیب مربوط به کلاله، پرچم و گلبرگ گزارش شد. بر مبنای نتایج این پژوهش، جداسازی اجزا گل از یکدیگر در روز اول برداشت که بیشترین تفاوت بین مقادیر سرعت حد اجزاء وجود دارد، بهتر انجام می‌شود.

علیشاهی وشمسی [٦] با ساخت یک دستگاه تونل باد عمودی، مقادیر سرعت حد اجزا مختلف گل زعفران را اندازه گیری کردند. در این تحقیق مقادیر ضریب درگ اجزا نیز تعیین و به کمک این مقادیر، سرعت‌های حد اجزاء محاسبه و سپس با مقادیر اندازه گیری شده مقایسه شدند. مقادیر سرعت حد برای گلبرگ، کلاله و پرچم به ترتیب ۱۲/۲، ۰۷/۳ و ۳۵/۱ متر بر ثانیه گزارش شد.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-05]

[DOI: 10.52547/fsct.18.115.29]

عمادی و سعیدی راد [۷] برخی خواص فیزیکی اجزاء گل زعفران و ارتباط آن‌ها را با درصد رطوبت بررسی کردند. بر اساس نتایج این تحقیق با کاهش رطوبت، چگالی گلبرگ‌های گل نیز کاهش ولی چگالی کلاله و پرچم، افزایش می‌یابد. با کاهش درصد رطوبت، سرعت حد همه اجزای گل نیز با کاهش روبرو شدند.

علیشاهی و شمسی [۸] در پژوهش دیگری ضمن بررسی سرعت حد اجزاء مختلف گل زعفران در رطوبت‌های مختلف، استفاده از تونل باد عمودی را برای جداسازی کلاله از سایر اجزاء پیشنهاد کردند. آن‌ها نتایج را با استفاده از منطق فازی مورد بررسی قرار داده و چنین نتیجه گیری کردند که محتوای رطوبتی بالاتر اجزاء منجر به افزایش کیفیت جداسازی کلاله می‌شود.

مغانی زاده [۹] بر اساس خواص فیزیکی و آیرودینامیکی گل زعفران، دستگاهی برای جداسازی کلاله طراحی کرد. دستگاه جداساز یک ورودی و دو خروجی مربوط به کلاله و گلبرگ داشت. او طرح آزمایشاتش را طی ۲٤ آزمایش طراحی کرد. سرعت هوا در سه سطح(کم، متوسط، زیاد) مساحت مقاطع خروجی در دو سطح (باز و نیمه باز) و زمان فرایند در دوسطح(۳۰ و ٦۰ ثانیه) مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد در بهترین حالت ۱۰۰ درصد گلبرگ‌ها و ٦۳ درصد کلاله و پرچم از خروجی مربوطه خارج شدند و بقیه در قسمت ورودی باقی مانده اند. در سرعت ٤ و ۳ متر بر ثانیه به ترتیب بیشترین کلاله و گلبرگ خارج می‌شوند.

زراعت کار و همکاران [۱۰] با استفاده از مهندسی معکوس یک مدل سه بعدی از گل زعفران استخراج کردند. آن‌ها با طی مراحل اسکن لیزری، پردازش داده‌ها، جداسازی ابر نقاط بالا و پایین گلبرگ، مش بندی و سطح بندی و نهایتا اتصال اجزاء مختلف گل زعفران برای اولین بار به بازیابی مدل سه بعدی گل زعفران دست یافتند.

پژوهشگرانی که عملا استفاده از تونل باد و سرعت حد را برای جداسازی کلاله مورد بررسی قرار داده اند چسبیدن اجزاء گل به یکدیگر را به‌عنوان مشکل اصلی این روش ذکر کرده اند [٦] و [۸]. علاوه بر این در تمام تحقیقات مورد اشاره، اجزاء مختلف گل به وسیله دست و به‌صورت تک تک از هم جدا شده اند. بدیهی است چنین روشی در یک فرآیند اتوماسیونی باعث پیچیدگی فوق العاده مکانیزم شده و مشکل چسبیدن اجزاء به یکدیگر را هم افزایش می‌دهد بنابراین و در عمل، نه مقدور است و نه مطلوب. بر اساس آزمایشات و مشاهدات عینی، محل برش ساقه در تعیین تعداد و ماهیت بخش‌های حاصله تاثیرگذار بوده و این موضوع در مقادیر خواص مهندسی هر کدام از این اجزاء و نهایتا انتخاب و توسعه روش جداسازی نیز موثر خواهد بود.

با توجه به بررسی‌های انجام شده، یکی از مواردی که در تحقیقات مربوط به جداسازی کلاله زعفران مورد غفلت قرار گرفته است عدم استفاده از شبیه‌سازی‌های کامپیوتری است. شبیه سازی، فرایندِ طراحی مدلی از سیستم واقعی و انجام آزمایش‌هایی با این مدل با هدف پی‌بردن به رفتار سیستم و همچنین آگاهی از نتایج ایده پیشنهادی قبل از اجرای آن‌ها است. در شبیه-سازی‌کامپیوتری، مدلی که از سیستم تحت بررسی ساخته می‌شود به عبارت دیگر کلیه اشیاء و نماهای سیستم به ساختارهای برنامه‌ای و کلیه مشخصات و رفتار آن‌ها به متغیرها و توابع ریاضی تبدیل می‌گردد [۱۱]. دینامیک سیالات محاسباتی[1] روشی برای تحلیل سیستم‌های جریان سیال، انتقال حرارت و پدیده‌های همراه نظیر واکنش‌های شیمیایی بر اساس شبیه‌سازی کامپیوتری است. در سال‌های اخیر قابلیت‌های این روش شامل تطبیق پذیری، دقت و همچنین کاربرد آسان، توجه محققین علوم مختلف مهندسی را به خود جلب کرده است. بررسی منابع نمونه‌هایی از کاربرد این روش در حوزه‌های مختلف مهندسی کشاورزی از مسائل مربوط به عوامل محیطی گلخانه‌ها و دستگاه-های پرورش طیور تا صنایع فراوری محصولات کشاورزی و شبیه‌سازی جریان هوا و دانه‌های برنج در هنگام غربال شدن در کمباین را نشان میدهد [۱۲و ۱۳]. در مورد جداسازی نیوماتیکی کلاله زعفران نیز، در صورت در اختیار داشتن ورودی‌های لازم و سپس انجام شبیه‌سازی با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی، می‌توان نتایج جداسازی را در شرایط مختلف محیط سیال پیش-بینی و از نتایج آن برای طراحی و ساخت تجهیزات مورد نظر بهره برد. لذا هدف اصلی از این پژوهش انتخاب مناسبترین نوع برش برای جداسازی نیوماتیکی کلاله زعفران بر مبنای خواص فیزیکی و آیرودینامیکی بخش‌های مختلف آن ، طراحی پایه‌ای سیکلون جداساز و نیز محاسبه ورودی‌های لازم برای شبیه سازی است.

1. Computational Fluid Dynamic (CFD)

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-05]

[DOI: 10.52547/fsct.18.115.29]

۲- مواد و روش‌ها

نمونه‌های گل زعفران از یکی مزارع روستای الور واقع در استان اصفهان به صورت دستی و توسط کارگر در صبح زود برداشت شده وجهت انجام آزمایش‌ها برای تعیین خواص فیزیکی و آیرودینامیکی به آزمایشگاه منتقل شدند. کلیه آزمایش‌ها در٤ روز متوالی انجام شدند. در طی این چهار روز نمونه‌ها در ظروف در بسته در دمای ۱۰ درجه سلسیوس در یخچال نگهداری شدند. ویژگی‌هایی که با انجام آزمایشات تعیین شدند شامل: درصد رطوبت، جرم، چگالی و سرعت حد بودند. از آنجا که در شبیه-سازی‌ها علاوه بر مقادیر چگالی، جرم و سرعت حد، مقادیر قطر آیرودینامیکی ذرات نیز الزامی است مقدار این پارامتر با استفاده از روابط حاکم بر جریان سیال برای اجزاء مختلف گل محاسبه شد.

انتخاب محل و نحوه برش: همانطور که در بخش مقدمه ذکر شد، محدوده مناسب برای برش ساقه، طول ٦ میلیمتری موسوم به نهنج است (شکل۱). بر مبنای مشاهدات عینی، اگر هنگام برش ساقه، محل برش در قسمت بالای محدوده نهنج باشد، گل زعفران می‌تواند به بخش‌های تشکیل دهنده آن یعنی گلبرگ (٦ عدد)، پرچم (۳ عدد) و یک کلاله‌ی سه شاخه، در مجموع ۱۰ بخش تفکیک شود. در حالی‌که اگر برش ساقه از قسمت پائین نهنج انجام شود، گلبرگ‌ها همچنان به یکدیگر و به پرچم‌ها متصل مانده و تنها ارتباط کلاله با سایر اجزا گل قطع می‌شود و در واقع گل به دو بخش (گل بدون کلاله و کلاله سه شاخه) تبدیل می‌شود. لذا اندازه‌گیری‌های مورد نظر برای اجزاء متشکله در دو وضعیت برش از بالا و برش از پایین نهنج انجام شد (شکل۲).

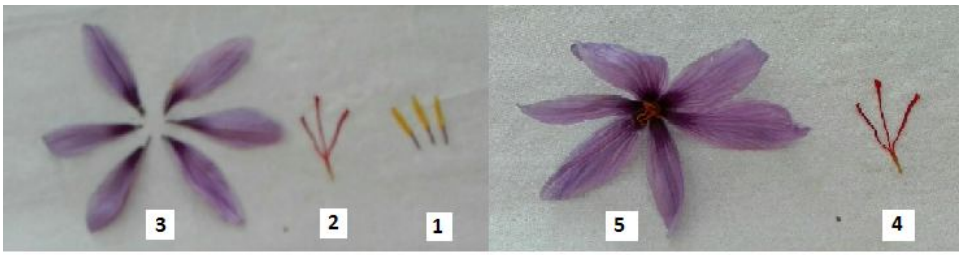


Fig 2 Two different modes of cutting: A-cutting the top of receptacle and creating three segments (1-stamens, 2-three- branches stigma, 3- petals), B-cutting the bottom of receptacle and making two parts (4- three-branches stigma, 5- flower without stigma)

۲-۲- اندازه گیری جرم، درصد رطوبت و چگالی

به منظور اندازه‌گیری جرم، تعداد ۳۰ گل انتخاب شدند، سپس جرم گل و بخش‌های مختلف آن با استفاده از یک ترازوی دیجیتال(SCALTEC-SPB42) با دقت ۰/۰۰۱ ± اندازه گیری شد. برای اندازه‌گیری درصد رطوبت ابتدا تعداد ۱۰۰ گل با برش ساقه به اجزای مختلف تقسیم شدند. حدود ۳ گرم از هر جزء درون ظرف آزمایشگاهی ریخته و وزن شدند، سپس به مدت ٢٤ ساعت در یک آون با دمای ۱۰۳ درجه سانتیگراد قرار داده و پس از خارج کردن آنها از آون به منظور سرد شدن ظروف نمونه‌ها و جلوگیری از جذب رطوبت محیط، داخل دسیکاتور به مدت نیم ساعت نگهداری شدند. نمونه‌ها مجددا توزین و درصد رطوبت آن‌ها با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد. این آزمایش برای هر جزء سه بار تکرار شده و میانگین این مقادیر بعنوان درصد رطوبت در نظر گرفته شد.

$$W= m_t-m_d/ m_t \times 100$$

w – محتوی رطوبت (٪)

m_t– جرم نمونه تر قبل از قرار دادن در آون (g)

m_d- جرم نمونه خشک بعد از خارج کردن از آون (g)

مشاهدات اولیه و شناور شدن هر یک از اجزاء گل زعفران روی آب، نشان داد که چگالی هر سه جزء باید کمتر از چگالی آب باشد. از آنجا که این مشاهدات با برخی گزارشات قبلی [۷] در تعارض بود برای اندازه گیری چگالی اجزاء گل زعفران از دستگاه پیکنومتر استفاده شد. هر چند روش پیکنومتر نسبت به سایر روش‌ها چون روش جابه‌جایی و روش شناوری سخت‌تر و وقت

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-05]

[DOI: 10.52547/fsct.18.115.29]

گیرتر است اما برای تعیین چگالی موادی که خاصیت شناوری کمی دارند روش بسیار دقیقی محسوب می‌شود. رابطه ۲ جهت محاسبه چگالی اجزاء گل زعفران با استفاده از پیکنومتر استفاده شد. اجزاء گل زعفران که چگالی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت عبارت بودند از: گل بدون کلاله، کلاله سه شاخه، گلبرگ و پرچم.

$$\rho_S = \rho_{fl} \times m_2 / m_1 + m_2 - m_3$$

m_1 – جرم پیکنومتر پر از مایع(g)

m_2 – جرم نمونه(g)

m_3 – جرم پیکنومتر پر از مایع و نمونه (g)

۲-۳- اندازه گیری سرعت حد

: بررسی تحقیقات پیشین و منابع موجود، مقادیر سرعت حد اجزاء گل زعفران را در محدوده ۱ تا ۵ متر بر ثانیه نشان می دهد [٤]، [٧] و [٨]. از آنجا که هوا با سرعت زیاد در تونل باد جریان دارد، استفاده از آن در سرعت‌های پایین منجر به وجود خطاهای قابل توجه می‌شود. در این پژوهش برای رسیدن به دقت بیشتر و با توجه به سرعت‌های حد بسیار کم و نزدیک به یکدیگر اجزای گل زعفران، به جای تونل باد از دستگاه تونل دود موجود در آزمایشگاه سیالات دانشگاه صنعتی اصفهان استفاده شد. تونل دود مورد نظر مجهز به یک فن مکنده است و به منظور جلوگیری از ایجاد توربولانس در جریان هوای مکیده شده در کانال اصلی آن از یک شبکه لانه زنبوری نیز استفاده شده است. اندازه گیری سرعت حد برای اجزاء مورد بررسی در این تحقیق (شامل گل بدون کلاله، کلاله سه شاخه، گلبرگ و پرچم) به وسیله مانومتر مدل (Testo 512) با دقت ۰/۰۵ ± انجام شد.

محاسبه قطر آیرودینامیکی: استفاده از شبیه‌سازی کامپیوتری برای طراحی و ساخت ماشین نیوماتیکی جدا کننده کلاله از سایر اجزاء گل باعث تسهیل فرآیند طراحی و کاهش هزینه‌های ساخت خواهد شد. تجهیزات آیرودینامیک جداسازی کلاله صرفنظر از روش مورد استفاده و از دیدگاه مهندسی یک سیستم چند فازی سیال- جامد خواهد بود. در جریان چند فازی، سیال با یک فاز اولیه و چندین فاز ثانویه تعریف می‌شود. یکی از فازها پیوسته و فازهای دیگر در فاز پیوسته پخش می‌شوند. ممکن است چندین فاز ثانویه با اندازه‌های مختلف وجود داشته باشد. فاز سیال شامل جریان هوا و فاز جامد شامل بخش‌های مختلف جدا شده گل است که هر دو باید به‌صورت تراکم ناپذیر در نظر گرفته شوند. برای اجرای شبیه‌سازی باید از یک مدل توربولانسی در جریان سیال پایا استفاده شود و پخش ذرات ناشی از توربولانس سیال به وسیله مدل ردیابی تصادفی پیش‌بینی شوند.

برای ساده کردن محاسبات شبیه سازی و کمک به رفع پیچیدگی-های رفتاری اجزاء فاز جامدی که دارای شکل هندسی معین نیستند باید از فرضیات مناسب استفاده کرد. ذرات جامد موجود در سیستم‌های چند فازی سیال –جامد را به لحاظ شکل هندسی می‌توان به سه دسته تقسیم کرد:

– ذرات سه بعدی: این ذرات در راستای هر سه بعد اصلی خود به طور تقریبا یکسانی گسترش یافته اند. ذرات کروی و هرمی شکل نمونه‌های معروف این ذرات هستند.

– ذرات دو بعدی یا صفحه ای: در این ذرات یک بعد در مقایسه با دو بعد دیگر کوچک و قابل صرفنظر کردن است.

– ذرات تک بعدی یا طویل: این ذرات دارای یک بعد طویل در مقایسه با دو بعد دیگر هستند.

با توجه به شکل اجزاء مختلف گل زعفران، بنظر می‌رسد شکل هندسی مناسب برای شبیه سازی پرچم و کلاله ذره طویل، برای گلبرگ‌ها ذره صفحه ای و برای گل بدون کلاله ذره سه بعدی است. با این وجود و چون اطلاعات اندکی در مورد شبیه‌سازی ذرات نوع دوم و سوم وجود دارد در این تحقیق اجزاء مختلف گل زعفران به شکل ذرات سه بعدی کروی در نظر گرفته شده و قطر آیرودینامیکی آن‌ها محاسبه شد .(شکل ۳)

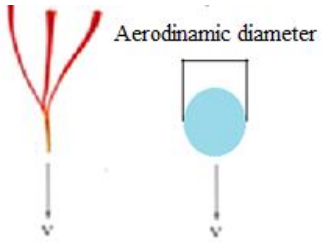


Fig 3 Simulation of stigma with a perfect sphere

بنا به تعریف قطر ایرودینامیکی d_a یک جسم عبارت است از قطر یک کره کامل با چگالی واحد که سرعت نشستی مساوی با سرعت حد جسم دارد و مقدار آن از رابطه زیر تعیین می‌شود [١٤] :

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-05]

[DOI: 10.52547/fsct.18.115.29]

$$da = F_D / C_D \rho_g \pi /8 V^2 \quad (۳)$$

F_D –نیروی درگ (N)

C_D – ضریب درگ

ρ- چگالی ذره (kgm^{-3})

V- سرعت جریان هوا (ms^{-1})

همان‌طور که از رابطه ۳ مشاهده می‌شود تعیین قطر آیرودینامیک مستلزم معلوم بودن ضریب درگ، سرعت حد و نیروی درگ است و ضریب درگ نیز وابسته به رژیم سیال و عدد رینولدز است. لذا برای محاسبه قطر آیرودینامیک از فرایند سعی و خطا استفاده شد. نخست با توجه به ضرورت انتخاب رژیم جریان به‌صورت توربولانس، عدد رینولدز بزرگتر از ۱۰۰۰ و در نتیجه مقدار ضریب درگ برابر ۰/٤٤ در نظر گرفته شد [۱۵]. سپس در رابطه ۳ سرعت حد حاصل از آزمایش تونل دود به عنوان سرعت جریان هوا جایگذاری شد. از طرف دیگر با صرفنظر کردن از نیروی شناوری و استفاده از مفهوم سرعت حد، نیروی درگ با نیروی وزن ذره برابر خواهد بود. بنابراین با جایگذاری این دو مقدار در رابطه ۳ مقدار قطر آیرودینامیک تعیین شد. در مرحله بعد با داشتن قطر آیرودینامیک محاسبه شده، عدد رینولدز از رابطه ٤ تعیین شد [۱۵].

$$Re = \rho_g vd / \mu \quad (٤)$$

ρ_g- چگالی هوا (kgm^{-3})

V – *سرعت جریان هوا* (ms^{-1})

d – *قطر نمونه* (m)

μ- ویسکوزیته هوا (Pa.s)

سپس ضریب درگ جدید محاسبه و این روش سعی و خطا تا بدست آمدن یک مقدار واحد برای قطر ایرودینامیک طی دو تکرار آخر ادامه یافت (شکل٤).

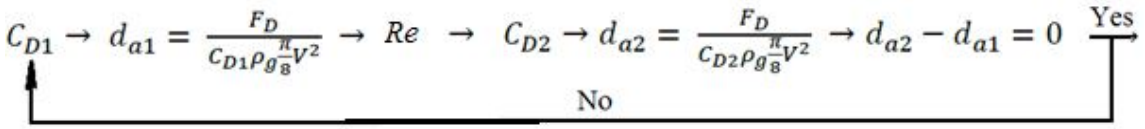


Fig 4 Flowchart of the try and error method to determine the aerodynamic diameter

۳- نتایج و بحث

۳-۱- محتوای رطوبتی، وزن و چگالی اجزاء گل

شکل ۵ تغییرات محتوی رطوبتی به‌دست آمده برای اجزا گل زعفران را طی چهار روز نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود محتوی رطوبت اجزا گل زعفران پس از نگهداری آن‌ها در ظروف دربسته داخل یخچال تغییرات اندکی داشته است. بیشترین درصد رطوبت اولیه در روز اول به ترتیب مربوط به گلبرگ‌ها (۹۰ درصد)، کلاله ۸٤ (درصد) و پرچم‌ها (٦۷ درصد) می باشد و این ترتیب در طی چهار روز مورد مطالعه حفظ شده است. این در حالی است که نتایج تحقیقات انجام شده توسط واله قوژدی و همکاران [٤] ترتیب محتوی رطوبتی اولیه اجزا گل در را به‌صورت گلبرگ‌ها، پرچم و کلاله نشان می‌دهد. در پژوهش انجام شده توسط عمادی [۵] نیز کلاله دارای بالاترین درصد رطوبت اولیه و پس از آن گلبرگ‌ها و نهایتا پرچم دارای پایین-ترین درصد رطوبت اولیه گزارش شده است. به‌نظر می‌رسد علت اصلی این تفاوت‌ها در میزان درصد رطوبت اولیه مربوط به تفاوت رقم‌های مختلف گل زعفران و زمان برداشت گل‌ها می-باشد. به هر حال بر اساس نمودارهای شکل ۵ و در صورت رعایت شرایط نگهداری مذکور در آزمایش، محتوای رطوبتی اجزاء گل عملا حفظ شده و به‌نظر می‌رسد امکان اجرای فرایند جداسازی در مدت بیشتری (تا چهار روز پس از برداشت) فراهم باشد.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-05]

[DOI: 10.52547/fsct.18.115.29]

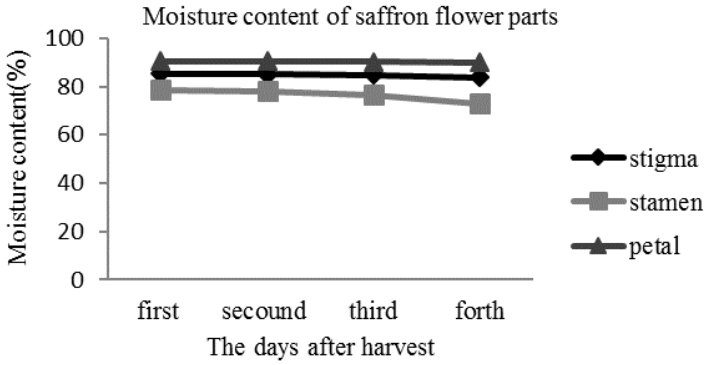


Fig 5 Moisture content of saffron flower parts during four days after harvest

شکل ٦ تغییرات وزن اجزا گل زعفران را طی چهار روز پس از برداشت نشان می دهد. میانگین وزن کلاله سه شاخه، پرچم‌ها و گلبرگ‌ها به ترتیب برابر ۰/۰٦٦، ۰/۰۵۵ و ۰/۳٦ گرم بود. همان طور که مشاهده می‌شود وزن کلاله (سه شاخه) اختلاف ناچیزی با وزن سه پرچم گل دارد. بیشترین تغییرات وزن با گذشت از زمان برداشت به ترتیب مربوط به کلاله با ٥٦ درصد، پرچم با ٤٢ درصد و گلبرگ‌ها با ۲۸ درصد می‌باشد. اما با توجه به نمودار شکل ٥ و تغییرات اندک درصد رطوبت اجزاء گل زعفران طی ٤ روز پس از برداشت، این تغییرات وزنی نمی‌تواند به از دست دادن رطوبت نسبت داده شود. محققین [١٦] نشان داده‌اند که علاوه بر زعفران ترکیبات فرار پلی‌فنولی، فلاونوئید و آنتوسیانین به ترتیب ۱۳۸۰، ١٤٤ و ۱۲۰ میلی گرم در ۱۰۰ گرم گلبرگ خشک گل زعفران وجود دارد. لذا تغییرات وزن، بیشتر نشان دهنده از دست دادن ترکیبات فرار است.

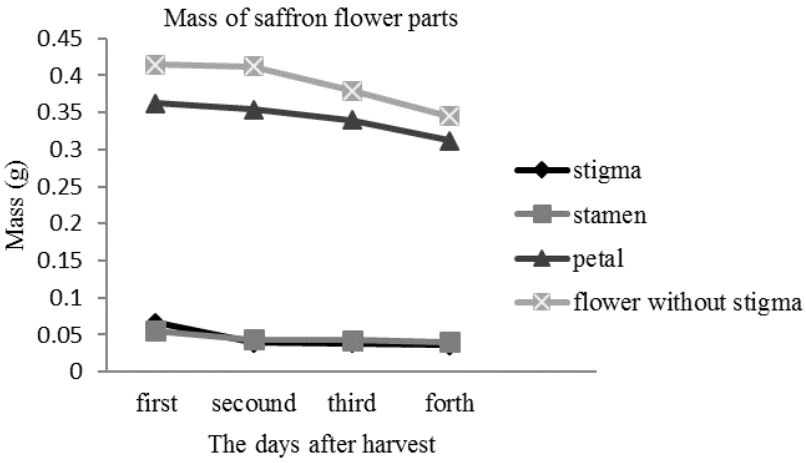


Fig 6 The mass of saffron flower parts during four days after harvest

شکل ۷ مقدار چگالی هریک از اجزا گل زعفران و تغییرات آن را نشان می‌دهد. چگالی هر یک از سه جز کلاله، پرچم و گلبرگ کمتر از چگالی آب بوده که با شواهد عینی سازگار است. در بین اجزاء، گلبرگ‌ها با چگالی٠/٤٦ ، پرچم با چگالی٠/٦٩ و کلاله با چگالی ۰/۹۳ گرم بر سانتی متر مکعب چگالتر از سایر اجزا می‌باشد و با از دست دادن وزن با گذشت زمان چگالی هر سه جزء نیز کاهش می‌یابد. بیشترین کاهش چگالی نیز مربوط به کلاله است. در این تحقیق چگالی گل‌های بدون کلاله نیز مورد بررسی قرار گرفتند که چگالی آن‌ها اندکی بیشتر از چگالی گلبرگ‌ها می‌باشد.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-05]

[DOI: 10.52547/fsct.18.115.29]

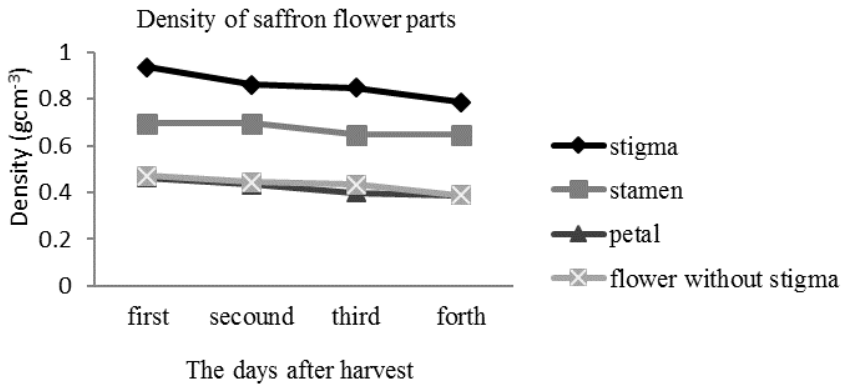


Fig 7 The density of saffron flower parts during four days after harvest

۳-۲- سرعت حد

شکل ۸ میزان سرعت حد اجزاء مختلف و تغییرات آن با گذشت زمان را نشان می‌دهد. در بین سه جزء تشکیل دهنده گل، کلاله با سرعت حدی برابر ٤/١٨ بیشترین سرعت حد و گلبرگ‌ها با سرعت ٢/٤٦ متر بر ثانیه کمترین سرعت حد را دارند. سرعت حد پرچم برابر ۲/۹ متر بر ثانیه می باشد. سرعت حد گلی که کلاله از آن خارج شده است و تنها دارای دو جزء پرچم‌ها و گلبرگ‌ها است ٣/٤ متر بر ثانیه می باشد. همان طور که مشاهده می‌شود سرعت حد همه اجزا گل با گذشت از زمان برداشت کاهش یافته است، در بین سه جزء گل بیشترین کاهش مربوط به گلبرگ است بطوریکه در روز چهارم پس از برداشت با ۲۸ درصد کاهش، سرعت حد آن به ١/٧٦ متر بر ثانیه رسیده است. سرعت حد کلاله با گذشت زمان ۲۵ و پرچم ۲۰ درصد کاهش یافته است.

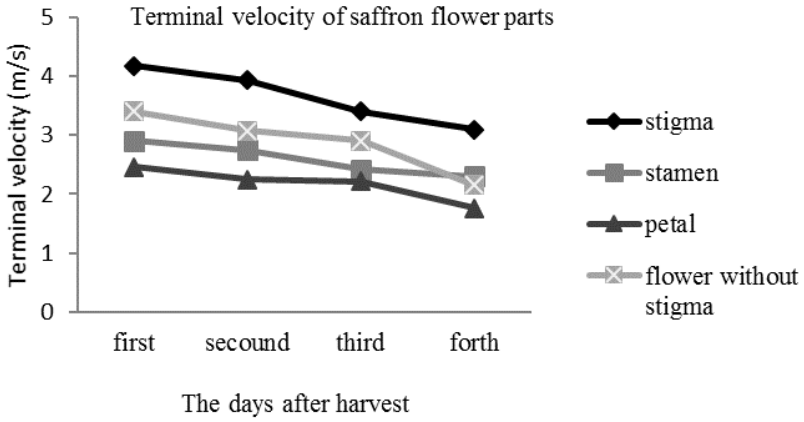


Fig 8 Terminal velocity of saffron flower parts during four days after harvest

محققین دیگری که سرعت حد اجزاء گل زعفران را به‌دست آورده اند [٤]و [٧]، کلاله را با بیشترین سرعت حد و گلبرگ را با کمترین سرعت حد معرفی و تغییرات سرعت حد هر سه جزء را با گذشت زمان به‌صورت کاهشی گزارش نموده‌اند که از این لحاظ با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد. البته مقادیر گزارش شده توسط این محققین، با مقادیر به‌دست آمده در پژوهش حاضر دارای تفاوت‌هائی است که علت این موضوع را می‌توان به نوع تجهیزات و روش‌های به کار رفته از جمله استفاده از تونل دود به جای تونل باد مرتبط دانست.

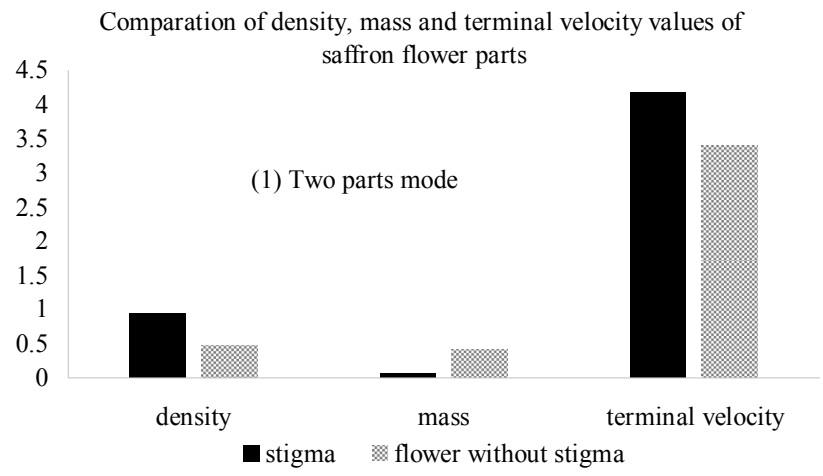
[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-05]

[DOI: 10.52547/fsct.18.115.29]

۳-۳- مقایسه پارامترهای اندازه گیری شده در برش های دو بخشی و سه بخشی

شکل ۹ مقادیر اندازه گیری شده جرم، چگالی و سرعت حد را برای بخش‌های مختلف گل در دو وضعیت دو بخشی (برش از پائین نهنج) و سه بخشی (برش از بالای نهنج) در روز اول برداشت نشان می‌دهد. بر این اساس به‌نظر می‌رسد برای جداسازی کلاله بر اساس اختلاف‌های جرم و چگالی، حالت برش دو بخشی مناسب‌تر خواهد بود. نمونه‌هائی از دستگاه هائی که بر این اساس طراحی شده اند در صنایع فراوری بذرهای کشاورزی با نام جداسازهای وزن مخصوص و یا به اختصار جداسازهای ثقلی شناخته شده و مورد استفاده هستند. تغذیه این دستگاه‌ها به‌صورت توده‌ای انجام می‌شود به این ترتیب که مواد جامد مورد نظر به‌صورت انبوه در داخل ظرفی مرتعش که از زیر آن جریان هوا دمیده شود ریخته می‌شوند. همزمانی این دو عامل سبب می‌شود که اجزای سنگینتر در کف و اجزای سبکتر در بالای ظرف قرار بگیرند [۱۷]. با این حال مشاهدات اولیه نشان دهنده عدم توفیق عملی استفاده از این روش برای جداسازی کلاله است. علت را می‌توان به متفاوت بودن هر دو ویژگی اندازه و چگالی در اجزاء مختلف گل نسبت داد. این روش برای جداسازی اجزائی که هم در اندازه و هم در چگالی متفاوت هستند، مناسب نیست [۱۷].

طبق نمودارهای شکل ۹ برای جداسازی کلاله بر اساس سرعت حد، وضعیت سه بخشی در مقایسه با حالت دو بخشی مناسبتر به نظر می‌رسد. در ماشین‌هائی که از سرعت حد برای جداسازی استفاده می‌کنند مواد جامد مورد نظر به‌صورت توده‌ای در داخل کانالی مخصوص که جریان هوا در آن ایجاد شده است ریخته می‌شوند. اجزائی که سرعت حد آن‌ها کمتر از سرعت جریان هوا است همراه با جریان هوا از کانال خارج می‌شوند در حالی که اجزائی که سرعت حد آن‌ها بیشتر از سرعت جریان هوا است به داخل محفظه سقوط می‌کنند. با توجه به‌شکل، حتی در وضعیت سه بخشی، سرعت حد کلاله فقط حدود ۳۰ درصد با سرعت حد پرچم‌ها و ۴۰ درصد با سرعت حد گلبرگ‌ها تفاوت دارد که این مقادیر برای جداسازی اجزاء مختلف کافی نیست. به‌عنوان مثال در جداسازی کاه وکلش از دانه‌های گندم که بر اساس اختلاف سرعت حد نتیجه خوبی در پی دارد، اختلاف سرعت اجزا در حدود ۸۰ درصد است، اما جداسازی سنگ از محصول سیب زمینی که اختلاف سرعت حد آن‌ها در حدود ۲۰ درصد است، بر مبنای سرعت حد امکان پذیر نیست [۱۸]. علاوه بر این و همان طور که در بخش مقدمه ذکر شد آزمایشات انجام شده توسط سایر محققین نشان می‌دهد که در صورت برش گل از قسمت فوقانی نهنج (برش چند بخشی) اجزاء جدا شده به یکدیگر چسبنده و عملا اجزاء جدیدی که دارای سرعت حدهای جدید هستند را تشکیل می‌دهند. بنابراین همان‌طور که در عمل نیز مشخص شده استفاده از اختلاف سرعت‌های حد و تونل های باد عمودی برای جداسازی کلاله زعفران گزینه مناسبی محسوب نمی‌شود.



[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-05]

[DOI: 10.52547/fsct.18.115.29]

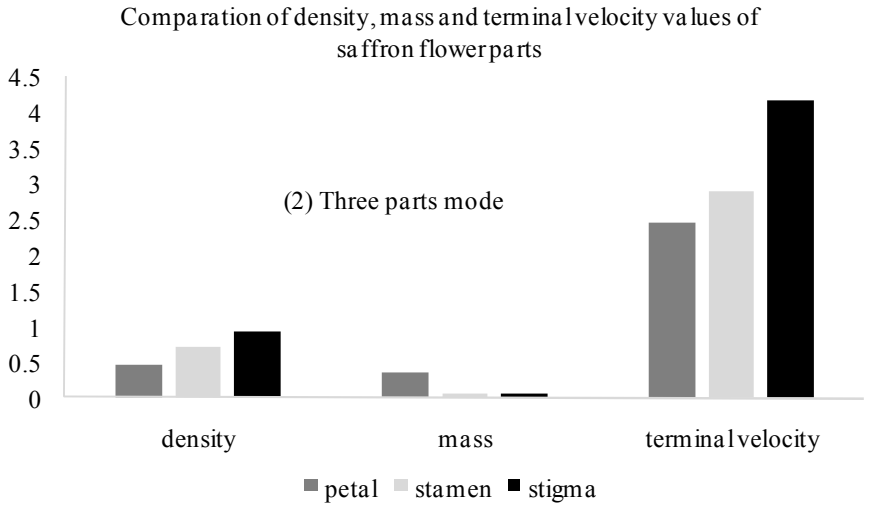


Fig 9 Comparison of density, mass and terminal velocity of saffron flower parts in the first harvest day in two different cutting modes: 1- two parts mode 2-three parts mode.

۳-٤- قطر آیرودینامیک

نمودار شکل ۱۰ مقدار قطر آیرودینامیکی اجزاء مختلف گل را نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود قطر آیرودینامیکی گلبرگ، کلاله و پرچم تفاوت نسبتا زیادی با یکدیگر ندارند درحالی‌که قطر آیرودینامیکی گل بدون کلاله تفاوتی بیش از ۷۰ درصد با قطر آیرودینامیکی کلاله دارد و این تفاوت در طی ٤ روز مورد مطالعه قرار گرفت.

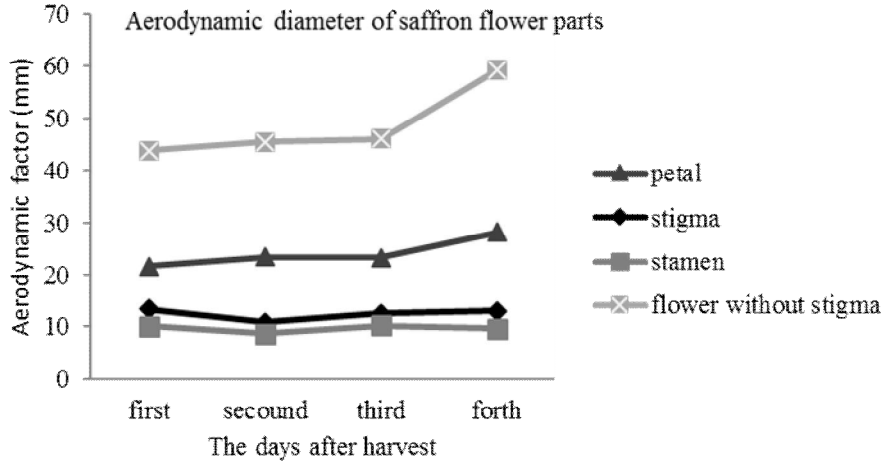


Fig 10 Aerodynamic diameter of saffron flower parts during four days after harvest

شکل ۱۱ مقادیر محاسبه شده قطر آیرودینامیک را برای بخشهای مختلف گل در دو وضعیت دو بخشی (برش از پائین نهنج) و سه بخشی (برش از بالای نهنج) در روز اول برداشت نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود اختلاف مقادیر قطر آیرودینامیک در برش دو بخشی بیشتر است و به نظر میرسد برش از پائین نهنج برای اجرای شبیه سازی های کامپیوتری مناسبتر خواهد بود.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-05]

[DOI: 10.52547/fsct.18.115.29]

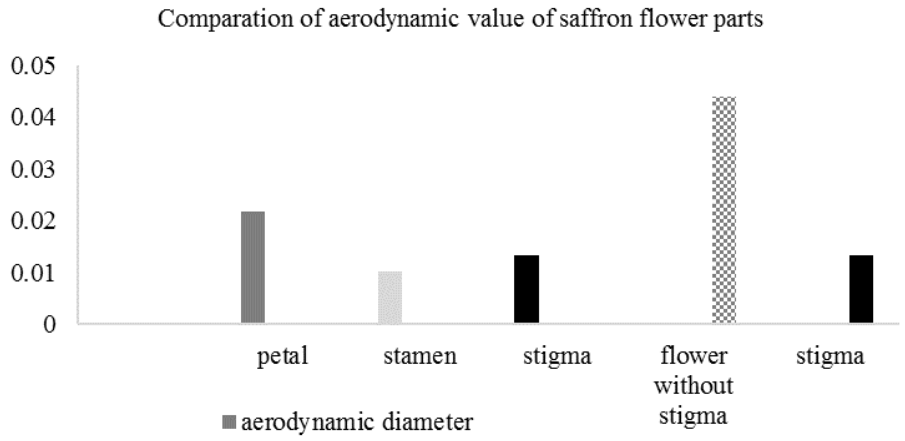


Fig 11 Comparison of aerodynamic diameter values of saffron flower parts

۳-۵- انتخاب روش مناسب و معرفی ساز و کار

: در یک فرآیند مکانیزه، انتخاب روش تغذیه دستگاه به عنوان اولین مرحله فرآیند و تاثیری که در انتخاب و کارکرد سایر بخشها می‌گذارد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در صورت انتخاب روش فله‌ای برای تغذیه دستگاه، فاصله‌گذاری و موقعیت‌دهی گلها نیازمند استفاده از مراحل و تجهیزات تکمیلی کنترلی و الکترومکانیکی خواهد بود. لذا به منظور جلوگیری از افزایش غیر ضروری سطح تکنولوژی دستگاه و نیز بهای نهائی آن، تغذیه دستگاه به صورت تکی و جداگانه توسط کارگر ارجح خواهد بود. در بین روش‌های مختلف برای برش ساقه، استفاده از روش لیزری علاوه بر سرعت و دقت بالا، به دلیل عدم نیاز به محکم نگه داشتن ساقه، به عنوان یک روش ابتکاری و مفید مورد توجه نگارندگان قرار گرفته است. بر این اساس دستگاه نیوماتیک مناسب برای جداسازی کلاله زعفران از چهار بخش اصلی شامل واحد تغذیه تکی، سیستم انتقال، واحد برش و واحد جداساز نیوماتیک تشکیل شده است. شکل ۱۲ طرحواره دستگاه پیشنهادی را نشان می‌دهد. واحد تغذیه از تسمه نقاله مخصوصی تشکیل شده است که محل استقرار گل‌ها به صورت نشیمنگاه‌هائی با طراحی منحصر به فرد برای گل‌های زعفران و در فواصل معین بر روی آن تعبیه شده‌اند(۵) و کارگر گل‌ها را به‌صورت تکی در این نشیمنگاه‌ها قرار می‌دهد.

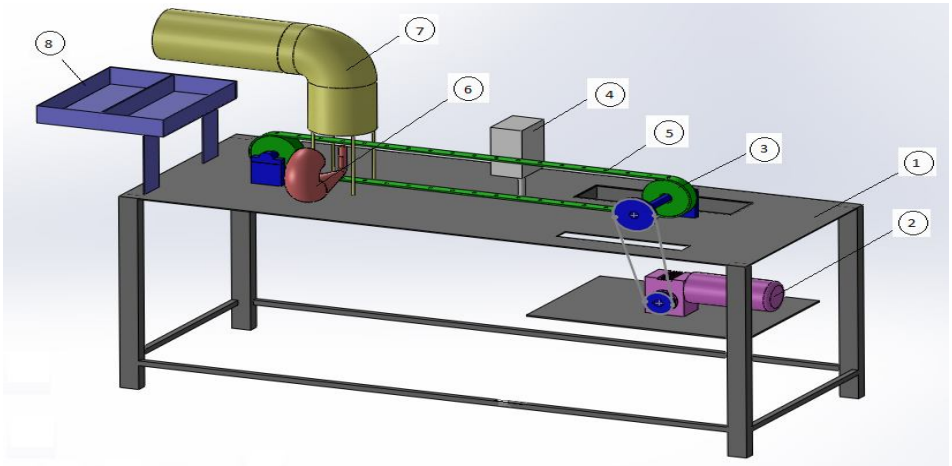


Fig 13 Schematic of stigma separation machine:1- Chassis and desktop, 2-Motor and Gearbox, 3- Belt and pulley, 4-Cutting unit, 5-Flower seat, 6- Blower, 7- Aerodynamics separator, 8- Tray.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-05]

[DOI: 10.52547/fsct.18.115.29]

شکل هندسی، ابعاد نشیمنگاه و سوراخ انتهای آن که محل عبور ساقه گل است با توجه به ویژگی‌ها و ابعاد گل‌های زعفران تعیین و به گونه‌ای ساخته خواهد شد که اشعه لیزر با برخورد به ساقه، قسمت پائین نهنج را از آن جدا نماید. با حرکت خطی نوار نقاله، گل‌ها به‌ترتیب در معرض واحد برش لیزری (٤) قرار می گیرند و با ادامه حرکت تسمه نقاله، به کمک نیروی باد ایجاد شده توسط فن (٦) به درون تونل جداسازی پرتاب می‌شوند. در داخل تونل به دلیل وجود جریان توربولانسی، دو جزء باقیمانده گل (گل بدون کلاله و کلاله سه شاخه) از هم جدا شده و به دلیل اختلاف خواص آیرودینامیکی، مسیرهای مختلفی را در داخل تونل باد طی می‌کنند. نتایج مقدماتی به‌دست آمده از آزمایشات و شبیه‌سازی‌های کامپیوتری، استفاده از دو تونل با قطرهای متفاوت داخل یکدیگر و مجهز به جریان چرخشی را امیدوار کننده نشان می‌دهد. طراحی، ساخت و ارزیابی بخش‌های مختلف دستگاه پیشنهادی در دستور کار نویسندگان قرار دارد.

٤- نتیجه گیری کلی

بررسی منابع و تحلیلِ دلایل عدم موفقیت دستگاه‌های ساخته شده به‌منظور جداسازی کلاله از گل زعفران، نشان داد که تعیین دقیق خواص مهندسی و ویژگی‌های آیرودینامیکی اجزاء ورودی (بخش‌های مختلف گل) به این دستگاه‌ها در موفقیت و کارایی آن‌ها بسیار موثر بوده و با تغییر محل برش ساقه می‌توان به مقادیر متفاوتی از ویژگی‌های آیرودینامیکی دست یافت. بر اساس نتایج این تحقیق به‌نظر می‌رسد در صورتی که برش ساقه از قسمت پائین نهنج انجام و گل به دو بخش مجزا تقسیم شود، جداسازی کلاله با توفیق بیشتری همراه خواهد بود. با این حال قبل از ساخت هرگونه واحد جداساز آیرودینامیکی، انجام شبیه‌سازی کامپیوتری بر اساس داده‌های به‌دست آمده از این تحقیق ضروری است. طرحواره‌ای از ساز و کار پیشنهادی برای جداسازی آیرودینامیک کلاله زعفران با رعایت سیستم تغذیه تکی و برش لیزری ارائه شده است.

٥- منابع

[1] Islamic Republic of Iran Ministry of Agriculture. 2018. Iran Agricultural Statistics, from http://www.maj.ir/Portal. (In Farsi).

[2] Ruggiu, M., and A. M. Bertetto. 2012. Mechanical harvester and double flow cyclone separator prototypes to improve saffron spice production, Journal of Mechanics and Control. 13(1):8-14.

[3] Mortezapour, H., S. Moshiri Rad, and M. Akhbari. 2014. An investigation into separation of impurity from saffron stigma using an electrostatic separator, Journal of Agricultural Machinery. 5(1), 44-51.

[4] Vale Ghozhdi, H., S. R. Hassan Beygi Bidgoli, M. H. Saeidi rad, and M. H. Kianmehr. 2010. Determining coefficient of friction and terminal velocity of saffron flower and its components, Food Science and Technology. 7(2), 123-131. (In Farsi).

[5] Emadi, B. 2009. Separating saffron flower parts using vertical air column, Journal of Engineering and Technology. 49, 25-28.

[6] Alishahi, A., and M. Shamsi. 2010. Aerodynamic property of saffron component: stigma, petals and stamen. Proceedings of 4th Regional Conference on New Ideas in Agriculture. Azad University, Isfahan, Iran. (In Farsi)

[7] Emadi, B., and M. H. Saiedirad. 2011. Moisture-dependent physical properties of saffron flower. Journal of Agricultural Science and Technology. 13, 387-398.

[8] Alishahi, A., and M. Shamsi. 2012. Separation of saffron stigma from stamen and petal in a vertical wind tunnel and evaluation by fuzzy logic. Journal of Agricultural Machinery. 2(2),120-126.

[9] Moghanizadeh, A. 2017. Detaching of Saffron Flower Parts Based on Aerodynamic Properties. Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America. 48(3), 14-19.

[10] Zeraatkar, M., KH. Khalili, and A. Foorginnejad. 2015. Procedia Technology. 19, 62-69.

[11] Averill, M., and W. David-Kelton. 2000. Simulation modeling and analysis. McGraw-Hill .

[12] Lee, I. B., J.P.P. Bitog, S.W. Hong, I.H .Seo, K.S. Kwon, T. Bartzanas, and M. Kacira. 2013. The past, present and future of CFD for agro-environmental applications. Computers and Electronics in Agriculture, 93, 168-183.

[13] Naimei, S., G. H. Shahgholi, A.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-05]

[DOI: 10.52547/fsct.18.115.29]

Rezvanivandefanayi, and V. Rostampour. 2019. Numerical study of wheat motion inside Stairmand cyclone using computational fluid dynamics. Journal of Agricultural Machinery. 11(2).

[14] Hinds, W. C. 1999. Aerosol Technology: Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles. Los Angeles. California. Wiley.

[15] Sanieenezhad, M. 2004. Fundamentals of turbulent flows and their modeling. Tehran. Daneshnegar.

[16] Ahmadiyan-kouchaksaraie, Z., and R. Niyazmand. 2016. Extraction of active components from saffron petal with the help of ultrasound and optimization of extraction conditions. Journal of Innovative Food Technologies. 13,121-135.

[17] Thomas, J. 1977. Principles of Gravity Separation. Oliver Manufacturing Company, Rocky Ford, Co.

[18] Sitkei, Gy. 1986. Mechanics of Agricultural Materials. Elsevier.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-05]

[DOI: 10.52547/fsct.18.115.29]

Iranian Journal of Food Science and Technology

Homepage:www.fsct.modares.ir

Scientific Research

Effect of cutting location for aerodynamic separation of saffron stigma and selection of apparatus

Ardforoushan, M. [1*], Ghanbarian, D. [2], Maddahian, R.[3], Mohammadi, H. R. [4]

1. PhD Student, Department of Mechanical Engineering of Bio systems, Faculty of Agriculture, Shahrekord University.
2. Associate Professor, Department of Industrial Design, University of Art, Tehran, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Mechanic Engineering, Faculty of Mechanic, Tarbiat Modares University.
4. Assistant Professor, Department of Physic, Faculty of Mechanic, Esfahan University.

ARTICLE INFO

Article History:

Received 2020/ 07/ 28
Accepted 2021/ 01/ 05

Keywords:

Aerodynamic properties,
Pneumatic separation,
Terminal velocity,
Saffron flower.

DOI: 10.29252/fsct.18.06.29

*Corresponding Author E-Mail:
ardforoushan1361@gmail.com

ABSTRACT

In recent years, pneumatic method of stigma separation has been considered by some researchers. In this regard, computer simulation of the process is necessary as well as determination of the engineering properties of the various flower parts. According to preliminary observations, the number of flower components, their characteristics, and the simulation of the separation process, all depend on the flower cutting location. In this study, cutting of flower was done in two modes. In the first mode, the flower was cut from the top of the receptacle and divided into three parts including petals (2), stamens (3) and a three-branch stigma. In the second mode, the cutting accomplished from the bottom of the receptacle and the flower divided into two parts including flower without stigma, and a three-branch stigma. Variations in weight, density and terminal velocity of different flower components were studied as a function of moisture content. According to the results of this study and in contrast to most of the published papers, vertical wind tunnels are not suitable for pneumatic separation of saffron stigma. In order to provide required information for computer simulation, the flower components were considered as spherical particles, and then their aerodynamic diameters were calculated using the proposed flowchart. The results showed that the difference in aerodynamic diameter values in the two-section cutting mode reach to significant amount of 70%. Results of present study also indicate that the appropriate stigma separator mechanism should have singular feeding system and ability to provide turbulent air flow. Preliminary results obtained from computer simulations are hopeful in the case of using dual internal tunnels equipped with rotational flow.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-05]

[DOI: 10.52547/fsct.18.115.29]