

مقاله علمی-پژوهشی

طراحی، ساخت و ارزیابی جداکننده سیکلونی کلاله از گلبرگ زعفران

جواد نعمتی^۱، بابک بهشتی^{۲*} و سیدعلی محمد برقی^۳

۱، ۲ و ۳- به ترتیب: دانشجوی دکتری؛ استادیار؛ و استاد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۳/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۸/۲

چکیده

یکی از فرایندهای مهم در کشاورزی، جداسازی محصولات کشاورزی است. استفاده از سیکلون‌ها یکی از روش‌هایی است که علاوه بر مخارج کمتر، زمان جداسازی کوتاه‌تر و عملیات ساده‌تر، دارای بازده بالایی نسبت به سایر روش‌های جداسازی (مانند جداسازی با دست و ...) است. هدف از این تحقیق طراحی، شبیه‌سازی و ساخت دستگاه جداسازی سیکلونی و ارزیابی آن به منظور جداسازی کلاله از گلبرگ زعفران است. بدین منظور ابتدا با استفاده از نرم‌افزار ANSYS FLUIN و به روش تحلیل دینامیکی سیالات (CFD) شبیه‌سازی سیکلون صورت گرفت و راندمان جداسازی به دست آمد. پس از آن دستگاه با استفاده از نرم‌افزار SOLID WORKS طراحی و نمونه اولیه آن ساخته و ارزیابی شد. شبیه‌سازی و ارزیابی دستگاه در سه سطح سرعت هوا (۱/۵، ۲/۵ و ۳/۵ متر بر ثانیه) و در پنج سطح رطوبت (۸۰، ۶۰، ۴۰، ۲۰، ۱۰ درصد) بر پایه تر صورت گرفت. انتخاب سرعت‌ها بر اساس سرعت حد اجزای گل زعفران و انتخاب سطح رطوبت‌ها حاصل اندازه‌گیری ۵ روز اول برداشت گل‌ها بود. از یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار استفاده شد. نتایج ارزیابی دستگاه نشان داد که بیشترین میزان جدایش دستگاه در رطوبت ۲۰ درصد و سرعت ۳/۵ متر بر ثانیه معادل (۸۰ درصد) و کمترین بازده دستگاه در رطوبت ۸۰ درصد و سرعت ۱/۵ متر بر ثانیه مساوی (۱۱ درصد) و بسیار نزدیک به بهترین نتیجه شبیه‌سازی دستگاه در نرم‌افزار بود که بهترین عملکرد دستگاه را در سرعت ۳/۵ متر بر ثانیه معادل ۸۹ درصد نشان داد.

واژه‌های کلیدی

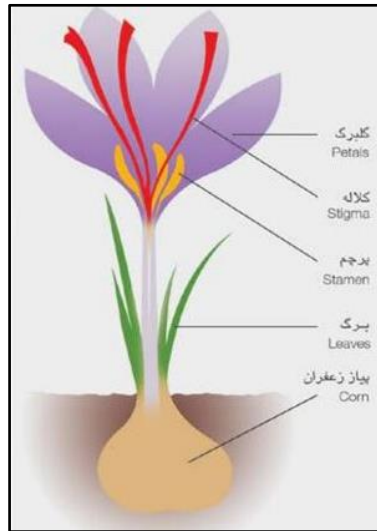
بازده جداسازی، تحلیل دینامیکی، درصد ناخالصی، سرعت حد، شبیه‌سازی دستگاه

مقدمه

۹۰ درصد از تولید جهانی این محصول را در اختیار داشته و کشور اسپانیا با سهم ۸ درصد از تولید جهانی، مقام دوم را دارد. به طور معمول هر ۷۸ کیلوگرم گل، یک کیلوگرم زعفران دسته‌ای (کلاله همراه با خامه) حاصل می‌شود. مهم‌ترین و ارزشمندترین بخش زعفران که مصرف غذایی (خوراکی) دارد، بخش قرمز رنگ

زعفران با نام علمی *Sativus Crocus L.* از قسمت پیاز، گلبرگ، برگ، پرچم و کلاله تشکیل شده است (شکل ۱) که قسمت کلاله آن به عنوان طلای قرمز شناخته می‌شود؛ طول این قسمت ۲۵-۳۰ میلی‌متر است (Khalili, 2007). ایران با تولید ۴۰۰ تن زعفران خشک در سال ۱۳۹۷، حدود

(کلالة زعفران) است و در فرایند جداسازی باید از گلبرگ جدا شود. سایر اجزای گل در مواردی مانند لوازم آرایشی، بهداشتی و رنگ‌سازی به کار می‌روند.



شکل ۱- گیاه زعفران و اجزای هوایی و زیرزمینی آن (Anon, 2018)

Fig. 1 - Saffron plant and its shoot and root parts (Anon, 2018)

بتواند به صورت مکانیزه فرآوری را پیش ببرد (Saeedi Rad *et al.*, 2013).

با مکانیزه شدن مرحله جداسازی کلالة از گل زعفران، علاوه بر کاهش هزینه‌های تولید، بسیاری از مشکلات آلودگی که در برداشت دستی به وجود می‌آید حل خواهد شد. مخترعان و صنعتگران تا کنون چندین ماشین ویژه در مناطق مختلف کشور و جهان ساخته‌اند که در آنها از مکانیزم‌های مختلفی برای جداسازی استفاده شده است.

در این تحقیق، ماشین‌ها و مکانیزم‌های مختلف بررسی و روش مناسب معرفی شده است. پیش از آن، برخی روش‌ها که برای جداسازی کلالة از گل زعفران در داخل و خارج از کشور به کار گرفته شده است معرفی می‌شوند.

جداسازی گل زعفران از دمگل با استفاده از ماشین بینایی در پژوهشی مطالعه گردید. یافته‌های این تحقیق نشان داد که جداسازی گل از دمگل با استفاده از ماشین بینایی به طور قابل قبولی

یکی از بزرگ‌ترین مشکلات مکانیزاسیون زعفران، نحوه فرآوری (جدا کردن کلالة از سایر قسمت‌های گل و نیز بسته‌بندی مناسب) آن است. در روش سنتی، این فرآوری با دست است و به دلیل رعایت نشدن اصول بهداشتی، کیفیت زعفران کاهش می‌یابد. از سوی دیگر به دلیل طولانی شدن زمان فرآوری، زعفران عطر خود را از دست می‌دهد. فرآوری به روش سنتی، که در آن تعداد زیادی کارگر به کار گمارده می‌شوند، هزینه‌های اضافی بر کشاورزان زعفران کار تحمیل می‌کند. در روش سنتی، کشاورز فرصت کافی برای جداسازی کلالة از گل‌های زعفران برداشت شده را ندارد و عملیات جداسازی کلالة از گل زعفران ممکن است ۲ تا ۳ روز به طول بینجامد (Safari *et al.*, 2013). ایران بهترین نوع زعفران را تولید می‌کند ولی به دلیل ضعف در فرآوری این محصول، زعفران کشورهایی مانند اسپانیا در جهان مطرح است. از این رو دستگاهی نیاز است که با توجه به مشکل فوق الذکر،

در پژوهشی در اسپانیا وسیله‌ای طراحی و نمونه اولیه آن در آن کشور ساخته شد. گل‌های زعفران به صورت دستی درون فنجان‌هایی قرار داده می‌شوند که در این وسیله پیش‌بینی شده است. طی چرخش این فنجان‌ها، انتهای گل‌های زعفران با دو تسمه درگیر می‌شود و بدین ترتیب گل‌های زعفران از داخل فنجان‌ها خارج می‌شوند و با تسمه‌های چرخان به صورت پشت سر هم در مسیری مستقیم قرار می‌گیرند. بعد از این مرحله، محل مناسب برش انتهایی گل زعفران برای جداسازی کلاله از گل با چشم‌های الکترونیک تشخیص داده می‌شود. سپس پیام لازم به واحد برش که یک صفحه مدور چرخان است، فرستاده می‌شود و برش از محل مناسب انجام می‌گیرد. پس از این مرحله، کلیه قسمت‌های گل زعفران عملاً از یکدیگر جدا شده‌اند. در این دستگاه، در مسیر عبور محصول یک واحد دمنده قرار داده شده است که گلبرگ‌ها و کلاله‌های جداشده را به سمت بالا هدایت می‌کند. نتایج آزمون محققان نشان داد که عملیات برش صرف‌نظر از شکل، اندازه گل، سرعت جابه‌جایی و جهت گل، به طور مؤثری انجام یافته است. مزیت اصلی این دستگاه، افزایش ۸ برابری سرعت و ظرفیت برش گل‌ها نسبت به روش سنتی (دستی) است (Gracia *et al.*, 2009).

در پژوهشی امکان جدا کردن کلاله از پرچم و گلبرگ زعفران با استفاده از جریان عمودی هوا به منظور مکانیزه کردن این عمل بررسی و یک دستگاه جداسازی کلاله از گل زعفران طراحی و ساخته شد. این دستگاه به نحوی طراحی شده است که نیازهای تعیین شده به منظور کاهش زمان و نیروی کارگر لازم برای برداشت گل در طراحی اولیه را در نظر می‌گرفت. این دستگاه متشکل از واحد تغذیه‌کننده،

امکان‌پذیر خواهد بود (Khalili & Serajipour, 2006).

در تحقیقی دیگر، دستگاهی از سه بخش واحد برش، جداساز و خشک‌کن ساخته شده است. سامانه برش با چهار مجرای ورودی مجهز به تیغه رفت و برگشتی کار می‌کند. کارگر گل را تک‌تک وارد سامانه تغذیه غلتکی تیغه‌ها می‌کند و برش روی آنها صورت می‌گیرد. پس از برش، اجزای گل شامل گلبرگ، کلاله، دمبرگ و بساک، پس از خروج از واحد برش و ورود به واحد جداکننده، با استفاده از جریان باد، غربال استوانه‌ای و یک میدان مغناطیسی از یکدیگر جدا می‌شوند. سایر اجزای گل از قسمت جانبی دستگاه خارج و در یک مخزن جداگانه ریخته می‌شود. ظرفیت دستگاه ۵ کیلوگرم در ساعت و خطای جدایش (ناخالصی موجود در کلاله‌های تمیز شده) به طور متوسط ۳ درصد است. دستگاه برش با دقت ۱/۵ میلی‌متر با قابلیت شست‌وشو ساخته شده است و دستگاه می‌تواند ۱۶ کیلوگرم گل برش خورده را در ساعت جداسازی کند. منبع تأمین توان، برق ۲۲۰ ولت است. دستگاه خشک‌کن ترکیبی، با ظرفیت ۱۶ کیلوگرم در ساعت، کلاله زعفران را با رطوبت استاندارد و کیفیت بسیار بالا خشک می‌کند (Abrishamifar, 2006) در مطالعه‌ای، گل‌های برداشت شده را به صورت دستی در مسیر تیغه‌های برش دستگاه جداساز قرار دادند. دستگاه جداساز متشکل از دمنده، مخزن جمع‌آوری کلاله و مخزن جمع‌آوری سایر اجزای گل است. میزان ناخالصی در این روش تقریباً ۴۰ درصد است که از نظر کیفی عملکرد خوبی نشان نمی‌دهد. ظرفیت جداسازی این دستگاه ۰/۵ کیلوگرم در ساعت است (Safari *et al.*, 2013).

(2000, *et al.*, استیرمند^۲ و دانشجویش لاپل^۳ فرمول‌هایی کاربردی برای طراحی ارائه کردند. تلاش‌های این دو در سال‌های ۱۹۹۰-۱۹۵۰ منجر به طراحی سیکلون‌های کلاسیک شد و روابطی ارائه شد که نشان می‌داد سیکلون‌های کلاسیک در مقایسه با سایر سیکلون‌ها در قطر ذره و سرعت ورودی متفاوت‌ترین بازدهی را دارند (Altmeyer *et al.*, 2004).

هدف از این تحقیق طراحی، شبیه‌سازی و ساخت دستگاه جداکننده سیکلونی و ارزیابی دستگاه برای جداسازی کلاله از گلبرگ زعفران با استفاده از جریان هوا و متناسب با خواص فیزیکی و آیرودینامیکی اجزای گل زعفران است. دلیل استفاده از سیکلون برای جداسازی یکی رسیدن به راندمان بهتر برای جداسازی و دیگری کوتاه‌تر کردن زمان است.

مواد و روش‌ها

طراحی دستگاه

شکل ۲ طراحی دستگاه جداکننده کلاله زعفران را نشان می‌دهد. این دستگاه شامل بخش‌های: شاسی، مخزن، فن و جداکننده سیکلونی است. برای ساخت دستگاه ابتدا نقشه‌های آن با استفاده از نرم‌افزار solid works مدل‌سازی و پس از آن دستگاه بر اساس نقشه‌ها و محاسبات صورت گرفته ساخته و ارزیابی شد.

طراحی و شبیه‌سازی سیکلون

طراحی جداکننده سیکلونی مورد بررسی در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به اینکه در این پژوهش، یکی از اهداف شبیه‌سازی جداسازی اجزای گل و راندمان جداسازی اجزاست، از این رو قسمت مخروطی سیکلون هم در شبیه‌سازی مد نظر گرفته

و واحد برش گل، واحد جداکننده و واحد خروجی است. از نوار نقاله آکاردئونی در این دستگاه استفاده شده است. در این دستگاه، گل‌های زعفران در میان تیغه‌های نوار نقاله ثابت می‌مانند و شرایط لازم را برای برش فراهم می‌آورند. ظرفیت جداسازی این دستگاه حدود ۱۱ کیلوگرم در ساعت با بازده جداسازی ۵۰ درصد است (Sanabadi *et al.*, 2014).

در تحقیقی دیگر شرکت والی یک سامانه گل پاک‌کن را ساخت که شامل سه بخش اصلی است: فیدر یا تغذیه‌کننده، واحد شناسایی و برش، و واحد جداساز. در بخش اول گل زعفران به صورت انبوه در مخزن ورودی قرار داده می‌شود. فیدر گل‌ها را به نحو مطلوب از مخزن برمی‌دارد و وارد خط می‌کند. ظرفیت مخزن بیش از ۱۰ کیلوگرم است که کاربر باید هر ساعت دو بار آن را پر کند. دستگاه با برق متناوب سه فاز کار می‌کند و حدود ۷ نفر نیروی کار نیز نیاز دارد تا عملکرد را تکمیل کنند (Anon, 2019). سیکلون‌ها به طور گسترده در صنعت برای کنترل آلودگی هوا و جداسازی ذرات جامد از گاز (هوا) به کار گرفته شده‌اند. ساده بودن روش ساخت، پایین بودن هزینه‌های عملیاتی، و انعطاف‌پذیری در تحمل شرایط سخت، سیکلون‌ها را به یکی از مهم‌ترین تجهیزات جداسازی مواد جامد از گاز (هوا) تبدیل کرده است (Zhao *et al.*, 2006). سیکلون‌ها دارای شکل هندسی ساده‌ای هستند ولی مطالعات نشان داده که جریان چرخشی ایجاد شده در این تجهیزات کاملاً پیچیده است (Dias *et al.*, 2008).

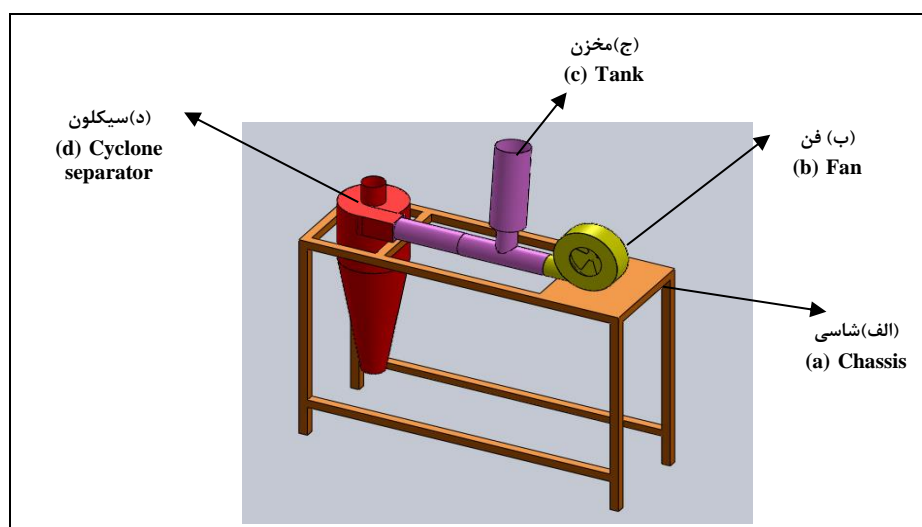
بررسی سابقه طرح سیکلون نشان می‌دهد، اولین اطلاعات در زمینه اختراع سیکلون مربوط به فینچ^۱ در سال ۱۸۸۵ در آمریکا است. وی در این سال اولین طرح یا اختراع مربوط به سیکلون را ثبت کرد (Slack

1- Finch
3- Lapoul

2- Stremand

استفاده گردید. شکل ۴، مش مورد استفاده در شبیه‌سازی را نشان می‌دهد. شبیه‌سازی فاز پیوسته با مدل توربولانسی RSM به صورت پایا و با مقادیر ورودی سیکلون به عنوان شرط اولیه شروع شد (Anon, 2016).

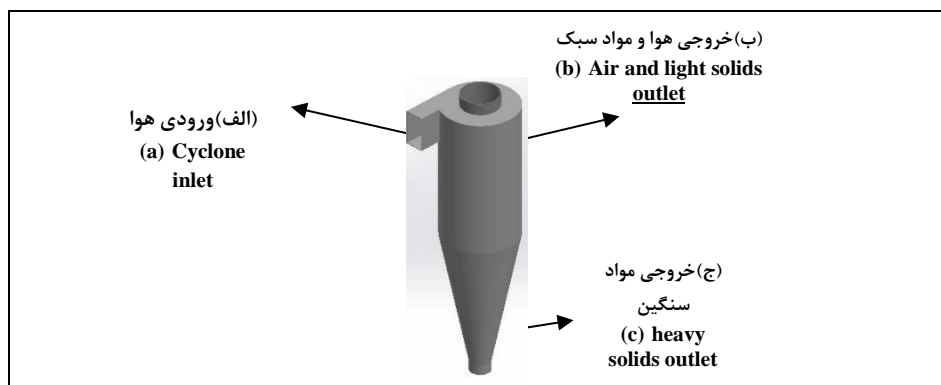
می‌شود و با رسیدن ذرات به قسمت انتهایی سیکلون فرض می‌شود که فرایند جداسازی به طور کامل صورت می‌گیرد. در این تحقیق، از یک مش بدون سازمان نسبتاً ریز با 1033042 سلول برای شبیه‌سازی عددی



شکل ۲ - طرحواره دستگاه جداسازی کلاله زعفران در نرم‌افزار solid works

الف) شاسی، ب) فن، ج) مخزن و د) جداکننده سیلکونی

Fig. 2- Design of saffron stigma separation machine in solid works software
a) Chassis, b) Fan, c) Tank and d) Cyclone separator

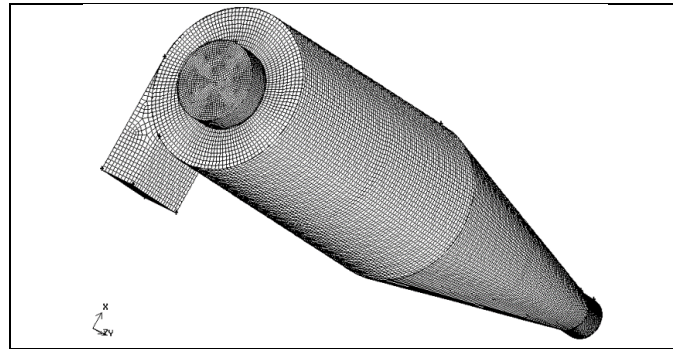


شکل ۳ - طراحی سیکلون

الف) ورودی سیکلون (هوا و مواد جامد)، ب) خروجی هوا و مواد سبک و ج) خروجی مواد سنگین

Fig. 3 - Cyclone design

a) Cyclone inlet (air and solids), b) Air and light solids outlet and c) heavy solids outlet



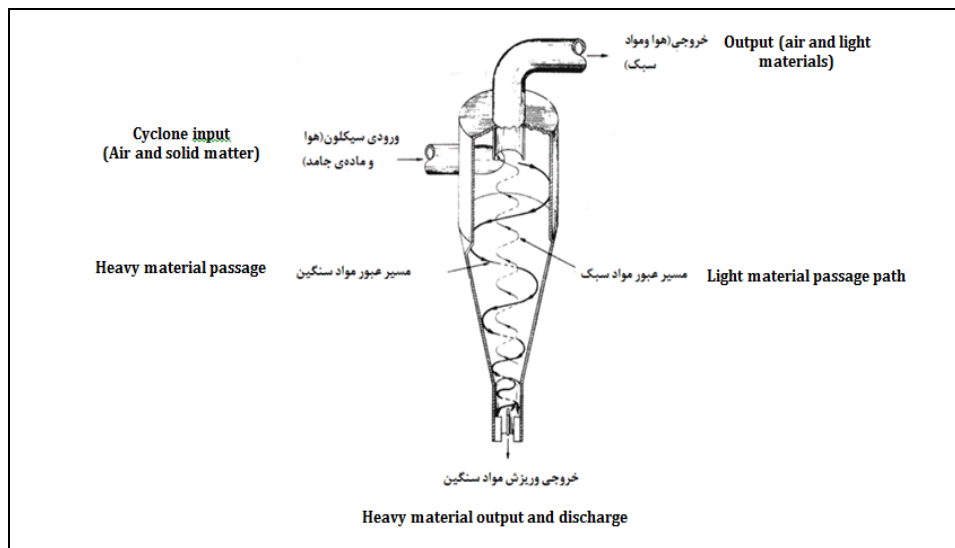
شکل ۴- مش مورد استفاده در شبیه‌سازی

Fig. 4- Mesh used in simulation

گل زعفران بر دیوارهٔ سیکلون، اجزای گل که گلبرگ و کلاله هستند از هم جدا می‌شوند، هوای گردابی و کلالهٔ زعفران که سبک‌ترند در مرکز جمع و از قسمت بالایی سیکلون خارج می‌شوند و مواد سنگین‌تر (گلبرگ) روی دیواره‌های سیکلون سر می‌خورند و از کف سیکلون تخلیه می‌شوند.

نحوه کار دستگاه

همان‌طور که در شکل ۵ نشان داده شده است، ابتدا هوا و گل زعفران به صورت مماس با یکدیگر از بالا (ورودی) وارد سیکلون می‌شوند که در آنجا فشار افت می‌کند و هوا یک حالت گردابی در مرکز محفظه سیکلون ایجاد خواهد کرد. در اثر برخورد



شکل ۵- شماتیک نحوه کار دستگاه جدا کننده سیکلونی

Fig. 5- Scheme of how a cyclone separator works

$$B_c = D_c / 4 \quad (1)$$

$$D_e = D_c / 2 \quad (2)$$

$$H_c = D_c / 2 \quad (3)$$

طراحی سیکلون

سیکلون طراحی شده در این پژوهش از نوع $2D2D$ و روابط ۱ تا ۷ برای ابعاد قسمت‌های مختلف آن برقرار است.

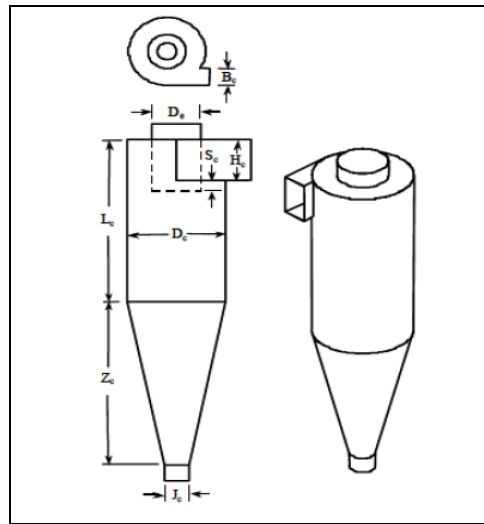
دلیل استفاده از این نوع سیکلون برای طراحی، عملکرد بهتر آن در جداسازی به دلیل افت کمتر فشار است. ابعاد و اندازه‌های مدل طراحی شده در این پژوهش بر مبنای میزان ذرات ورودی (میزان گل‌های زعفران وارد شده در مقطع ورودی) در جدول ۱ نشان داده شده است.

$$Jc = Dc/4 \quad (4)$$

$$Lc = 2 * Dc \quad (5)$$

$$Sc = Dc/8 \quad (6)$$

$$Zc = 2 * Dc \quad (7)$$



شکل ۶ - هندسه سیکلون

Fig. 6- Cyclone geometry

جدول ۱ - مشخصات سیکلون استفاده شده در محاسبات

Table 1 - Cyclone specifications used in calculations

Dc (cm)	De (cm)	Lc (cm)	Zc (cm)	Sc (cm)	Jc (cm)	Hc (cm)	Bc (cm)
20	10	40	40	2.5	5	10	5

$$N = \frac{1}{H} \left(L_b + \frac{L_c}{2} \right) \quad (8)$$

که در آن،

N = تعداد دورها در داخل دستگاه؛ H = ارتفاع کانال ورودی (متر)؛ L_b = طول بدنه سیکلون (متر)؛ و L_c = طول مخروط سیکلون (متر).

راندمان کلی که عملکرد دستگاه نیز شناخته می‌شود، به صورت نسبت اجزای جدا شده (کلاله‌ها) به جرم کل ذرات (گل زعفران) بیان می‌شود (Sahay & Singh, 2002).

برای طراحی سیکلون از روابط حاکم بر سیکلون‌ها (روابط ۸ و ۹) به منظور محاسبه میزان چرخش محصول در سیکلون (تعداد دورها) و به دست آوردن بازده کل سیکلون استفاده شد. هدف از استفاده این روابط به دست آوردن تعداد چرخش محصول و میزان برخورد گل به دیواره‌های سیکلون است. هرچه میزان برخورد بیشتر شود (تعداد دورها زیادتر باشد) جداسازی ذرات بیشتر می‌شود و در نتیجه راندمان دستگاه - که نسبت جرم ذرات جدا شده مورد نظر (کلاله) به جرم کل (گل زعفران) است - افزایش می‌یابد:

اندازه متفاوت؛ $M =$ جرم کل ذرات (کیلوگرم)؛ $\eta = \frac{\sqrt{\eta_j m_j}}{M}$ (۹)

و $\eta_j =$ بازده هر ذره.

که در آن، $\eta =$ بازده کل مجموعه؛ $m_j =$ جرم ذرات در نظر آورده شده است. در جدول ۲ پارامترها و ابعاد سیکلون مورد

جدول ۲- مشخصات سیکلون
Table 2- Cyclone specifications

پارامتر واحد	
Input height 10 cm	ارتفاع ورودی 10 سانتی‌متر
Cylindrical diameter 20 cm	قطر استوانه 20 سانتی‌متر
Cylindrical height 40 cm	ارتفاع استوانه 40 سانتی‌متر
Cone height 40 cm	ارتفاع مخروط 40 سانتی‌متر
Outlet duct diameter 5 cm	قطر مجرای خروجی 5 سانتی‌متر
Number of cycles inside the cyclone 6 rps	تعداد دورها در داخل سیکلون 6 دور در ثانیه

ضریب اصطکاک؛ $\rho =$ چگالی هوا (کیلوگرم بر متر مکعب)؛ و $A =$ سطح مقطع (متر مربع). نیروی اصطکاک از رابطه ۱۱ محاسبه شد:

$$F_D = C_D \frac{\rho}{2} V_r^2 A \quad (11)$$

که در آن،

$F_D =$ نیروی اصطکاک (kgf)؛ و $V_r =$ سرعت نسبی ذره با هوا (متر بر ثانیه).

ضریب اصطکاک از رابطه ۱۲ محاسبه شد (Sahay & Singh, 2002).

$$C_D = \frac{2.M.g}{\rho.V_r^2.A} \quad (12)$$

پس از اندازه‌گیری وزن (جدول ۶) و رطوبت گل‌های انتخاب شده و با توجه به سرعت‌های حد اندازه‌گیری شده (جدول ۷)، سرعت‌های ۱/۵، ۲/۵ و ۳/۵ متر بر ثانیه برای هوای ورودی در سیکلون به منظور جداسازی کلاله از گلبرگ انتخاب شد و در نهایت راندمان کلی که به عنوان عملکرد دستگاه نیز شناخته می‌شود به صورت نسبت جرم ذرات جدا

اندازه‌گیری و محاسبه خواص آبرودینامیکی (وزن، سرعت حد و ضریب اصطکاک)

به منظور به دست آوردن سرعت مناسب ورود هوا به داخل سیکلون برای جداسازی و انتخاب فن مناسب، ابتدا ۱۰۰ گل زعفران در پنج روز اول برداشت به منظور اندازه‌گیری وزن و رطوبت گل و اجزای آن، از مزارع زعفران شهرستان صحنه انتخاب و با استفاده از یک ترازوی دیجیتالی، میانگین وزن گل‌ها و اجزای آن اندازه‌گیری شد (جدول ۶). سرعت حد برای اجزای گل زعفران و همچنین نیروی اصطکاک و ضریب اصطکاک از روابط ۱۰ تا ۱۲ محاسبه و ثبت شد (جدول ۷ تا ۸). سرعت حد از رابطه ۱۰ محاسبه شد:

$$V_r = \left[\frac{2 M g}{\rho C_D A} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

که در آن،

$V_r =$ سرعت حد (متر بر ثانیه)؛ $M =$ جرم ذره (کیلوگرم)؛ $g =$ شتاب جاذبه ($9.81 \frac{m}{s^2}$)؛ $C_D =$

شده مورد نظر (کلاله) به جرم کل (گل زعفران)، در سه سطح سرعت و پنج سطح رطوبت (۰.۸، ۰.۶، ۰.۴، ۰.۲، ۰.۱ بر پایه تر) (پنج روز اول برداشت که گل به لحاظ کیفیت قابل برداشت است) ارزیابی و ثبت شد (جدول ۳). از یک سرعت سنج هوا^۱ مدل AVM07 ساخت کمپانی PROVA تایوان برای اندازه گیری سرعت هوا استفاده شد. هر یک از این آزمایش ها ۱۰ بار تکرار شد.

تعیین رطوبت گل مقدار رطوبت گل طبق رابطه ۱۳ بر پایه تر سنجیده شد:

$$M_{w,b} \% = \frac{W_w}{W_w + W_d} \times 100\% \quad (13)$$

که در آن، $M_{w,b}$ = رطوبت گل بر پایه تر (درصد)؛ W_w = جرم آب موجود در گل (گرم)؛ و W_d = جرم ماده خشک موجود (گرم).

جدول ۳- اندازه گیری پارامترهای عملکرد دستگاه

Table 6 - Measurement of device performance parameters

روزهای برداشت میانگین رطوبت (بر پایه تر) سرعت هوا (متر بر ثانیه) میانگین عملکرد دستگاه			
Average device performance	Air speed	Harvest days	Average humidity
روز اول برداشت	1/5	80%	11%
روز اول برداشت	2/5	80%	14%
روز اول برداشت	3/5	80%	17%
روز دوم برداشت	1/5	60%	18%
روز دوم برداشت	2/5	60%	21%
روز دوم برداشت	3/5	60%	31%
روز سوم برداشت	1/5	40%	44%
روز سوم برداشت	2/5	40%	53%
روز سوم برداشت	3/5	40%	64%
روز چهارم برداشت	1/5	20%	64%
روز چهارم برداشت	2/5	20%	73%
روز چهارم برداشت	3/5	20%	80%
روز پنجم برداشت	1/5	10%	41%
روز پنجم برداشت	2/5	10%	51%
روز پنجم برداشت	3/5	10%	32%

بخش انتقال هوا

Q = دبی هوا در دهانه خروجی فن (متر مکعب بر ثانیه)؛ A = مساحت دهانه خروجی هوا (متر مربع)؛ و V = سرعت هوا (متر بر ثانیه).

مقدار دبی به دست آمده از رابطه بالا همان مقدار دبی است که باید از دهانه خروجی فن خارج شود و پس از عبور از کانال هوا به گل های زعفران برخورد کند و باعث جدا شدن اجزای گل از هم، در

برای انتخاب فن مناسب برای این دستگاه، مهم ترین پارامتر محاسبه دبی خروجی فن است. بدین منظور از رابطه ۱۴ میزان سرعت هوا و مساحت دهانه خروجی هوا محاسبه شد:

$$Q = A.V \quad (14)$$

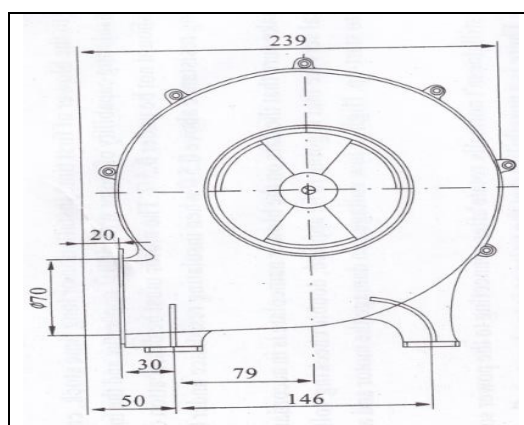
که در آن،

داخل سیکلون، گردد. با توجه به میزان دبی محاسبه شده، از یک فن الکتریکی BLOVER-3 با مشخصات جدول ۴ استفاده شد. بر اساس محاسبات و طراحی کامپیوتری، نمونه اولیه دستگاه ساخته شد، شکل ۹ نمونه اولیه ساخته شده و شکل ۱۰ نمونه صنعتی را نمایش می‌دهد. در نمونه اولیه دستگاه، کلاه و گلبرگ در اثر برخورد به دیواره سیکلون از هم جدا و هر دو از قسمت پایین دستگاه خارج می‌شدند در حالی که در نمونه صنعتی علاوه بر جدایش کلاه از گلبرگ، کلاه‌های جدا شده از قسمت بالا توسط فن مکشی خارج می‌شوند و فرایند جداسازی به صورت کامل انجام می‌شود.

جدول ۴- مشخصات فنی فن الکتریکی BLOWER- 3

Table 7- Technical specifications of BLOWER-3 electric fan

Fan round	2800- 3400 (rpm)	دور فن
Amp	2A	آمپر
Voltage	220V	ولتاژ
Size	3"	سایز



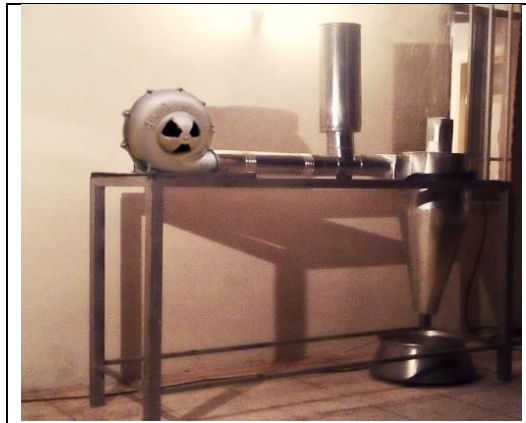
شکل ۷- ابعاد و اندازه فن

Fig. 7- Dimensions and size of the fan



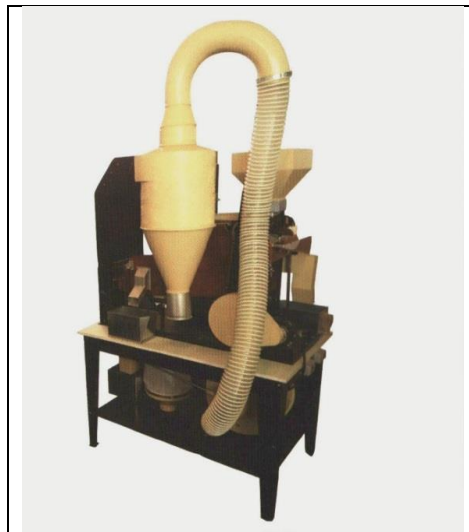
شکل ۸- فن مورد استفاده در دستگاه جداسازی

Fig. 8- The fan used in the separation device



شکل ۹ - نمونه اولیه ساخته شده دستگاه جداسازی کلاله زعفران

Fig. 9 - Saffron stigma separation prototype machine



شکل ۱۰ - نمونه صنعتی دستگاه جداسازی کلاله زعفران

Fig. 10- Industrial model of saffron stigma separator

گلبزرگ قطر بیشتری نسبت به دو ذره دیگر دارند و بنابراین مسیر بیشتری را درون سیلکون طی می‌کنند و در نهایت در کف سیلکون متوقف می‌شوند و جداسازی صورت می‌گیرد. همچنین، این ذرات نسبت به دو ذره دیگر بیشتر به دیواره‌های سیلکون نزدیک می‌شوند که علت آن نیروی گریز از مرکز بیشتر است. قطر ذرات کلاله نسبت به دو ذره دیگر کمتر است و در نتیجه این ذرات طول مسیری که طی می‌کنند کوتاه است و سریعاً از سیلکون خارج می‌شوند.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از شبیه‌سازی سیلکون

نتایج تحلیل ذره

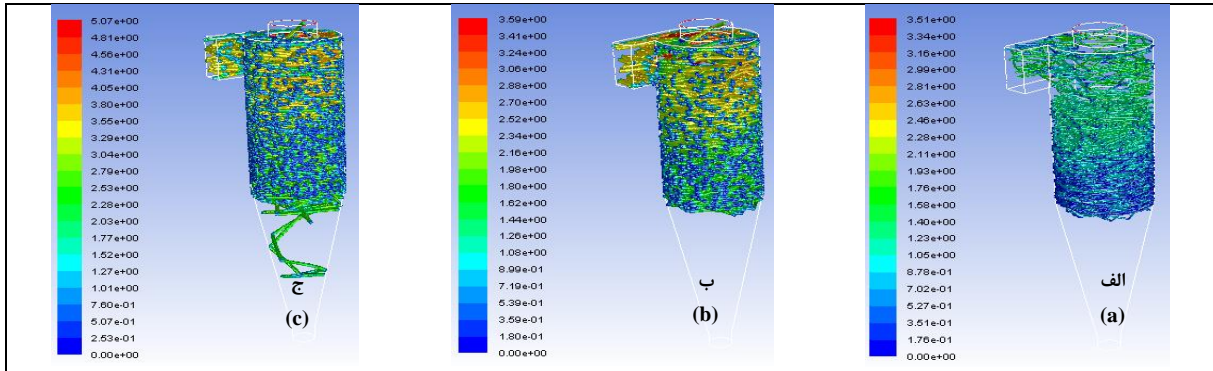
شکل‌های ۱۱، ۱۲ و ۱۳ به ترتیب کانتور پخش ذرات گلبزرگ^۱، پرچم^۲ و کلاله^۳ را برای سرعت‌های ورودی مختلف نشان می‌دهند.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود با افزایش سرعت ورودی، سرعت هر سه ذره درون سیلکون نیز افزایش یافته است و ذرات بیشتر به جداره سیلکون نزدیک می‌شوند و مسیر طولانی‌تری را می‌پیمایند. ذرات

1- Petal
3- Stigma

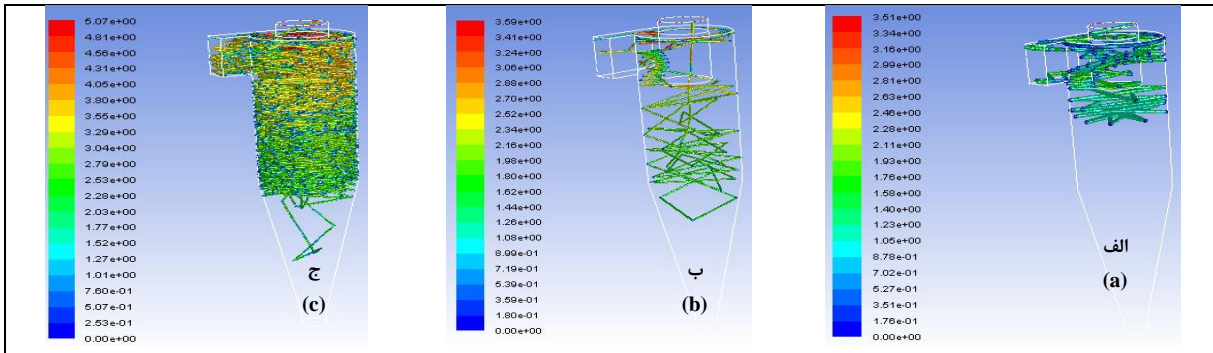
2- Anther

بازده جداسازی کلاله از گلبرگ در سیکلون برای ذرات تزریق شده به ازای سرعت‌های ورودی مختلف در جدول ۵ ارائه شده است. می‌توان نتیجه گرفت که بهترین بازده جداسازی کلاله از گلبرگ مربوط به سرعت ورودی ۳/۵ متر بر ثانیه است. علت افزایش بازده جداسازی کلاله از گلبرگ، با افزایش سرعت ورودی، افزایش سرعت چرخش ذرات در ورودی سیکلون است.



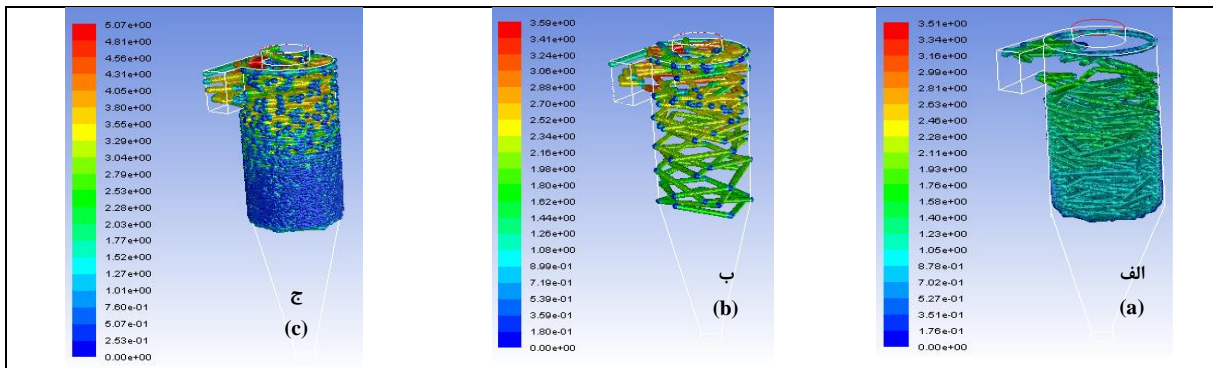
شکل ۱۱- کانتور پخش ذرات گلبرگ برای سرعت‌های ورودی مختلف: الف) ۱/۵، ب) ۲/۵، و ج) ۳/۵ متر بر ثانیه

Fig. 11- Petal particles diffusion contour at different input velocities: a) 1.5, B) 5/2, and C) 3.5 m/s



شکل ۱۲- کانتور پخش ذرات پرچم برای سرعت‌های ورودی مختلف: الف) ۱/۵، ب) ۲/۵، و ج) ۳/۵ متر بر ثانیه

Fig. 12- Anther particles diffusion contour at different input speeds: a) 1.5, B) 5/2, and C) 3.5 m/s



شکل ۱۳- کانتور پخش ذرات کلاله برای سرعت‌های ورودی مختلف: الف) ۱/۵، ب) ۲/۵، و ج) ۳/۵ متر بر ثانیه

Fig. 13- Stigma particles diffusion contour at different input speeds: a) 1.5, B) 5/2, and C) 3.5 m/s

جدول ۵ - بازده جداسازی کلاله از گلبرگ در سیکلون مورد بررسی در سرعت‌های ورودی مختلف

Table 8 – Efficiency of Stigma separation from petals in cyclone at different inlet velocities

سرعت‌های ورودی (متر بر ثانیه) Inlet velocity (m/s)	ذرات ردیابی شده tracked	ذرات فرار کرده escaped	ذرات گیر افتاده trapped	ذرات جدانشده Incomplete	راندمان (درصد) Efficiency (%)
1.5 m/s	200	34	2	164	17
2.5 m/s	200	154	5	41	77
3.5 m/s	200	178	10	12	89

اصطکاک) اجزای گل زعفران در جداول ۶ تا ۸ آورده شده است. از نتایج این جدول برای انتخاب فن و ساخت دستگاه جداکننده در این تحقیق استفاده شد.

نتایج حاصل از اندازه‌گیری و محاسبه خواص آیرودینامیکی و ارزیابی دستگاه نتایج حاصل از اندازه‌گیری و محاسبه خواص آیرودینامیکی (وزن، سرعت شناوری، و ضریب

جدول ۶- اندازه‌گیری وزن اجزای گل زعفران

Table 3- Weighing saffron flower parts

گلبرگ Petals	پرچم Anther	کلاله stigma	اجزای گل زعفران saffron flower parts
0.042	0.0035	0.021	میانگین وزن اجزا (گرم) Average weight of parts (gr)
	0.2555		میانگین وزن گل (گرم) Average flower weight (gr)

جدول ۷- میزان سرعت حد (شناوری) محاسبه شده برای اجزای گل زعفران

Table 4 - The saffron flower components floating speed calculation

گلبرگ Petals	پرچم Anther	کلاله stigma	اجزای گل زعفران saffron flower parts
2.962413	2.013304	1.36	سرعت حد محاسبه شده (متر بر ثانیه) (floating speed calculation m/s)

جدول ۸- ضریب اصطکاک محاسبه شده

Table 5. The calculation of Friction coefficient

ضریب اصطکاک محاسبه شده The coefficient of friction is calculated	اجزای گل زعفران saffron flower parts
0.018769	گلبرگ Petals
0.780289	کلاله stigma
0.528252	پرچم Anther

عملکرد دستگاه در رطوبت ۸۰ درصد به میزان ۱۴ درصد حاصل شده است.

نتایج مقایسه میانگین اثر سرعت هوا روی عملکرد دستگاه نشان می‌دهد که بیشترین عملکرد دستگاه در سرعت ۳/۵ متر بر ثانیه به میزان ۴۵ درصد و کمترین عملکرد دستگاه در سرعت ۱/۵ متر بر ثانیه به میزان ۳۶ درصد حاصل شده است.

اثر متقابل رطوبت در سرعت هوا بر عملکرد دستگاه نشان می‌دهد که بیشترین عملکرد دستگاه در رطوبت ۲۰ درصد و سرعت ۳/۵ متر بر ثانیه (۸۰ درصد) و کمترین عملکرد دستگاه در رطوبت ۸۰ درصد و سرعت ۱/۵ متر بر ثانیه (۱۱ درصد) به دست آمد.

حروف لاتین بالای ستون‌ها در شکل ۱۴ نشان‌دهنده بیشترین میزان میانگین عملکرد جداسازی در رطوبت‌های مختلف می‌باشد که بیشترین عملکرد به ستون a و کمترین عملکرد به ستون e مربوط می‌شود. حروف لاتین بالای ستون‌ها در شکل ۱۵ نشان‌دهنده بیشترین میزان میانگین عملکرد جداسازی در سرعت‌های هوای مختلف می‌باشد که بیشترین عملکرد به ستون a و کمترین عملکرد به ستون c مربوط می‌شود.

از مقایسه سرعت حد اجزای گل به دست آمده در جدول ۷ مشخص می‌شود که سرعت شناوری اجزای گل زعفران با هم متفاوت است و می‌توان از خواص آیرودینامیکی این اجزا برای تفکیک آنها در دستگاه جداسازی استفاده کرد، همچنین، برای حصول اطمینان از صحت سرعت حد محاسبه شده، آزمایش‌هایی برای تعیین سرعت حد اجزای گل زعفران هم اجرا شد که نتایج آن نشان می‌دهد که سرعت حد اندازه‌گیری شده و سرعت حد محاسبه شده به هم نزدیک‌اند.

با توجه به ضرایب اصطکاک محاسبه شده (جدول ۸) و همچنین تفاوت در سرعت‌های شناوری اجزای گل زعفران این نتیجه به دست می‌آید که می‌توان از خواص آیرودینامیکی این اجزا برای تفکیک آنها استفاده کرد.

نتایج تجزیه واریانس

تجزیه واریانس (جدول ۹) نشان می‌دهد که اثر رطوبت، سرعت هوا و اثر متقابل رطوبت در سرعت هوا روی عملکرد دستگاه در سطح ۱ درصد معنی‌دار است.

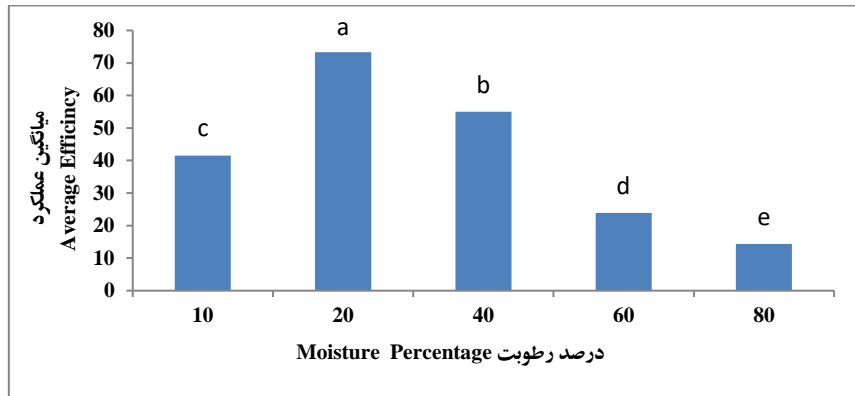
نتایج مقایسه میانگین اثر رطوبت روی عملکرد دستگاه نشان می‌دهد که بیشترین عملکرد دستگاه در رطوبت ۲۰ درصد به میزان ۷۳ درصد و کمترین

جدول ۹- تجزیه واریانس عملکرد اجزای گل زعفران براساس رطوبت و سرعت هوا

Table 9- Analysis of the saffron flower components efficiency based on the moisture and air speed features

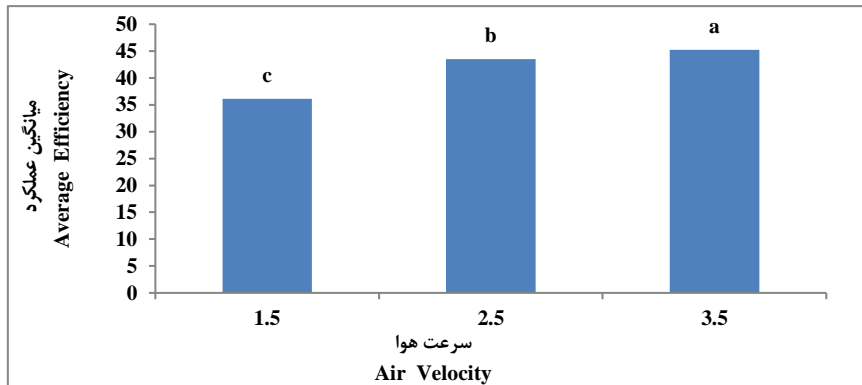
میانگین مربعات درصد رطوبت	درجه آزادی	اجزای تجزیه واریانس
Mean square	Degrees of freedom	Components of analysis of variance
5048.36**	4	Humidity رطوبت
349.35**	2	Air speed سرعت هوا
143.88**	8	Humidity * Air speed رطوبت* سرعت هوا
1.311	30	Error خطا
-	44	Total کل
2.75	-	Coefficient of variation ضریب تغییرات
41.62	-	Average میانگین

** اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد



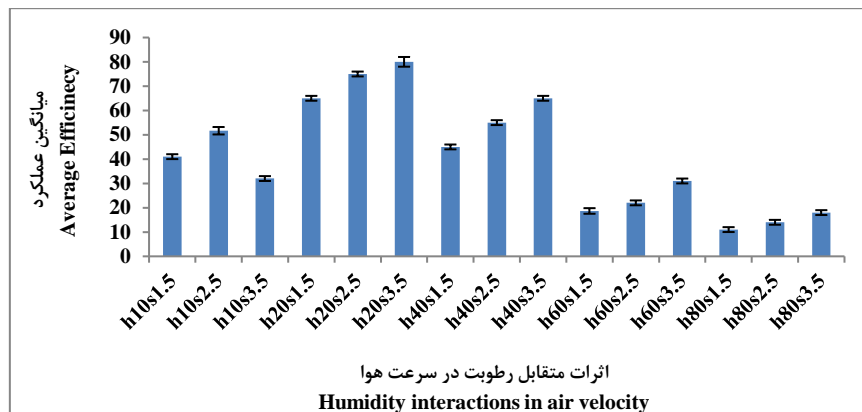
شکل ۱۴- مقایسه میانگین عملکرد اجزای گل بر اساس درصد رطوبت به روش دانکن ۰/۰۱

Fig. 14- Comparison of average efficiency of flower components relating to the moisture percentage based on the Duncan method%1



شکل ۱۵- مقایسه میانگین عملکرد اجزای گل بر اساس سرعت هوا به روش دانکن ۰/۰۱

Fig. 15- Comparison of average efficiency of flower components relating to the air velocity based on the Duncan's method%1



شکل ۱۶- نمودار عملکرد دستگاه در رطوبت و سرعت‌های مختلف

Fig. 16- Diagram of device performance at different moisture and speeds

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، نمونه اولیه دستگاه جداکننده سیلکونی پس از طراحی و شبیه‌سازی، ساخته شد. با به کار افتادن جریان هوا در این نمونه، اجزای گل زعفران جداسازی و عملکرد دستگاه در ۳ سطح

سرعت هوا و ۵ سطح رطوبت (بر پایه تر) با نرم‌افزار شبیه‌سازی و بعد از ساخت ارزیابی شد و نتایج زیر به دست آمد:

- با افزایش سرعت هوای ورودی به سیکلون، مقدار سرعت چرخشی درون سیکلون افزایش یافت که این امر موجب افزایش بازده جداسازی در سیکلون شد.

- با کاهش رطوبت، قابلیت چرخش گل در داخل سیکلون بهتر شد و در نتیجه جدا شدن اجزای گل بهتر صورت گرفت.

- گلببرگ‌ها چون وزن بیشتری نسبت به کلاله دارند، مسیر بیشتری را درون سیکلون طی می‌کنند و در نهایت در کف سیکلون متوقف می‌شوند و جداسازی صورت می‌گیرد.

- بهترین بازده جداسازی کلاله از گلببرگ در شبیه‌سازی سیکلون در نرم‌افزار، مربوط به سرعت ورودی ۳/۵ متر بر ثانیه است که راندمان ۸۹ درصد

جداسازی در سیکلون را نشان می‌دهد.

- بهترین بازده جداسازی در ارزیابی دستگاه، مربوط به سرعت ۳/۵ متر بر ثانیه و رطوبت ۲۰ درصد (بر پایه تر) است که راندمان ۸۰ درصد جداسازی در سیکلون را نشان می‌دهد.

نتایج این تحقیق که هم شامل بخش نرم‌افزاری (شبیه‌سازی و تحلیل بر مبنای CFD) و هم شامل بخش آزمایشی (ساخت نمونه و ارزیابی آن) است نشان می‌دهد دستگاه ساخته شده قادر به جداسازی کلاله از گلببرگ است. نتایج این تحقیق همچنین نشان می‌دهد که بین نمونه شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار و نمونه ساخته و ارزیابی شده، به لحاظ راندمان، تفاوت چندانی وجود ندارد. بنابراین جداکننده سیکلونی قابلیت جداسازی کلاله از گلببرگ زعفران را با استفاده از حرکت باد در داخل سیکلون، به دلیل اختلاف سرعت حد اجزای گل زعفران، دارد.

مراجع

- Abrishamifar, S. (2006). Design and manufacture of saffron processing machine. Research Report. Mechanized Technologies Department, Khorasan Razavi Agricultural Jihad Organization. (in Persian)
- Altmeyer, S., Mathieu, V., Jullemier, S., Contal, P., Midoux, N., Rode, S., & Leclerc, J. P. (2004). Comparison of different models of cyclone prediction performance for various operating conditions using a general software, *Chemical Engineering and Processing Journal*, 43(4), 511-522.
- Anon. (2019). Intelligent agricultural systems. Saffron flower cleanser. <https://vali-system.com>.
- Anon. (2016). ANSYS fluent user's guide, Release 17.2. ANSYS, Inc.
- Anon. (2018). National Network of Medicinal Plants Research and Technology (<https://www.mpnet.ir>)
- Dias, D., Mori, M., & Martignoni, W. (2008). Study of different approaches for modeling cyclones using CFD, AICHE Annual Meeting. Nov. 16-21. Philadelphia.
- Gracia, L., Vidal, C., & Gracia, L. C. (2009). Automated cutting system to obtain the stigmas of the saffron flower, *Automation and Emerging Technologies, Biosystems*, 104(1), 8-17.
- Khalili, K. (2007). *Simulation of falling saffron flower and the effect of acting forces on flowers orientation. Proceedings of the 26th IASTED International Conference on Modelling, Identification, and Control*. Jan. 31. Innsbruck, Austria.

- Khalili, Kh., & Serajipour, M. (2007). *Saffron flower cutting automation using image processing. Fourth Conference on Visual Machinery and Image Processing of Iran*. Feb. 14-15. Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (in Persian)
- Saeedi Rad, M., H., Abrishami, M., A., Mustafa, V., Zarif Neshat, S., & Nazarzadeh, P. (2013). *Technical and economic evaluation of saffron flower harvesting machine (stigma separation of flowers). Proceedings of the 8th Congress of Agricultural Machinery Engineering (Biosystems) and Mechanization*. Jan. 29-30. Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (in Persian)
- Safari, M., Sharif Nasab, H., Abdi, R., & Zarif Neshat, S. (2013). *Technical and Economic Evaluation of a Type of Stigma Separator, National Congress of Agricultural Machinery Engineering (Biosystems) and Mechanization*. Jan. 29-30. Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (in Persian)
- Sahay, K. M., & Singh, K. K. (2002). *Unit operations in processing agricultural products* Translation: H. Pour-Azarang., and H. R. Zia-ul-Haq Ferdowsi University of Mashhad, Iran (in Persian)
- Sanabadi, M., Samieifar, A., & Amini, S. (2014). Designing and building a mechanical system for separating stigmas from the saffron petals. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. 7(14), 1417-1430.
- Slack, M. D., Prasad, R. O., Bakker, A., & Boysan, F. (2000). Advances in Cyclone Modeling using Unstructured Grid. *Institution of Chemical Engineers*, 78(8) 1098-1104.
- Zhao, B., Su, Y., & Zhang, J. (2006). Simulation of gas flow pattern and separation efficiency cyclone with conventional single and spiral double inlet configuration. *Chemical Engineering Research and Design*, 84(12), 1158-1165.

Research Paper

Design, Manufacture and Evaluation of Cyclonic Separator for Separation of Stigmas from Saffron Petals

J. Nemati, B. Beheshti* and S. A. M. Borghei

*Corresponding Author: Assistant Professor, Biosystems Engineering Department. Science and Research Branch, Islamic Azad University. Tehran, Iran. Email: beheshti-b@srbiau.ac.ir

Received: 1 June 2020, Accepted: 24 October 2020

<http://10.22092/erams.2020.343176.1355>

Abstract

One of the important processes in agriculture is separating of agricultural products. The use of cyclones is one of the methods that with lower costs, shorter separation time and simpler operation, has a high efficiency compared to other separation methods (Such as separation by hand and so on). The aim of this research is to designing, simulation and construction a cyclone separation device and evaluation it in order to separate the stigma from the saffron petals. In this research, cyclone simulation was performed using ANSYS FLUIN software and computational fluid dynamics (CFD) analysis method and the separation efficiency was obtained. The device was designed using SOLID WORKS software and its prototype was made and evaluated at three levels of 1.5, 2.5 and 3.5 m/s of air speed and at five levels of moisture content (10, 20, 40 and 60)% wb. For this purpose, a factorial experiment with completely randomized design with three replications was used. The evaluation results of the device showed that the highest separation of the device at 20% moisture content and 3.5 m/s air speed was 80% efficiency and the lowest was 11% efficiency for 80% moisture content and 1.5 m/s air speed which was very close to the best result of simulating the device in ANSYS FLUIN software which it was 89% efficiency at 3.5 m/s air speed.

Keywords: Device Simulation, Dynamic Analysis, Impurity Percentage, Separation Efficiency, Terminal Velocity



© 2021 Agricultural Mechanization and Systems Research, Karaj, Iran. This is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution 4.0 International \(CC BY 4.0 license\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)