

جداسازی زعفران از سایر اجزاء گل در تونل باد عمودی و بررسی آن با منطق فازی

اسلام علیشاهی^{۱*} - محسن شمسی^۲

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۲/۱۲

تاریخ پذیرش: ۹۱/۱/۲۸

چکیده

در این تحقیق امکان جداسازی زعفران (کلاله) از پرچم و گلبرگ با جریان عمودی هوا جهت مکانیزه کردن این عمل بررسی شده است. برای انجام این تحقیق یک تونل باد عمودی آزمایشی که سرعت هوا در آن با دقت ۰/۱ متر بر ثانیه قابل تنظیم و اندازه‌گیری است ساخته و مورد استفاده قرار گرفت. ابتدا آزمایش‌های تعیین سرعت شنواری اجزاء گل با قرار دادن تک تک اجزاء و سپس آزمایش‌های جداسازی با قرار دادن همه اجزاء و در رطوبت‌های ۱، ۸، ۳۲ و ۶۰ ساعت پس از برداشت انجام شدند نتایج با منطق فازی بررسی شدند. متوسط سرعت شنواری کلاله (زعفران)، پرچم و گلبرگ ۱ ساعت پس از برداشت به ترتیب ۳/۲۱، ۲/۲۴ و ۱/۴۱ متر بر ثانیه به دست آمدند. آزمایش‌ها نشان دادند که به خاطر تفاوت زیاد بین سرعت‌های شنواری اجزاء گل، می‌توان در یک تونل باد عمودی زعفران (کلاله) را از پرچم و گلبرگ جدا کرد. تحلیل نتایج آزمایش‌های جداسازی نشان داد که تونل باد با سرعت ۲/۸ متر بر ثانیه و یک ساعت پس از برداشت بهترین راندمان جداسازی را دارد. در این سرعت ۸۴ درصد از پرچم‌ها و ۸۹ درصد از گلبرگ‌ها از تونل به بیرون پرتاب شده و ۸۱ درصد کلاله‌ها جدا شده و داخل تونل باقی می‌مانند. آزمایش‌ها همچنین نشان دادند که هر چه فاصله چیدن گلها تا جداسازی کوتاه‌تر باشد جداسازی با راندمان بهتر انجام می‌شود. پیشنهادهایی برای افزایش راندمان ارائه شده اند.

واژه‌های کلیدی: تابع عضویت، تصمیم‌گیری فازی، سرعت شنواری، فرآوری زعفران، کلاله

مقدمه

زعفران گرانترین ادویه جهان و به نام طلای سرخ معروف است. مهم‌ترین منطقه تولید زعفران در ایران استان خراسان جنوبی می‌باشد که به علت عدم توسعه علمی و صنعتی این منطقه، سالهاست که در پروسه تولید این محصول تحولی ایجاد نشده و به همان روش سنتی انجام می‌گیرد.

در پروسه تولید زعفران مراحل کاشت، داشت، برداشت و جداسازی وجود دارد. همه این کارها به صورت دستی انجام می‌شود. با توجه به خصوصیات ظریف گل زعفران این محصول باید در بازه زمانی کوتاه از مزرعه چیده و کلاله (زعفران) آن از بقیه اجزاء گل (گلبرگ و پرچم) جدا گردد. این عمل جداسازی نامیده می‌شود. جداسازی یکی از مهم‌ترین گلوگاه‌ها در پروسه تولید زعفران می‌باشد و بیشترین هزینه را نیز برای کشاورزان دربردارد (Atefi, 2006). روش سنتی جداسازی، عملی کند و غیر بهداشتی است. برای جداسازی مکانیزه پیشنهادهایی در حد طراحی مقدماتی از قبیل

استفاده از استوانه اصطکاکی و تونل باد ارائه شده است (Mehri and Kahani, 2003). تحقیقاتی همراه با ساخت یک دستگاه آزمایشی کوچک دمش هوا نیز توسط محققین برای جداسازی کلاله از سایر اجزاء گل زعفران در سطح آزمایشگاهی انجام شده است (Shamsi et al., 2007). استفاده از خواص آیرودینامیک و یک سیستم آبخاری یا سقوط آزاد نیز توسط محققین پیشنهاد شده است (Sama et al., 2000; Emadi and Saiedirad, 2011). دو روش سقوط آزاد و شنواری برای اندازه‌گیری سرعت شنواری در آزمایشگاه وجود دارد. روش سقوط آزاد عبارت است از سقوط دادن ذره از یک ارتفاع مناسب به نحوی که بعد از طی مسافتی ذره بتواند به سرعت شنواری خود برسد. در روش شنواری ذره بر روی یک توری در داخل یک کانال عمودی قرار می‌گیرد و هوا به آن دمیده می‌شود با افزایش سرعت هوا ذره در کانال شناور می‌شود. سرعت باد در لحظه شناور شدن سرعت شنواری ذره است (Mohsenin, 1970). در یک تحقیق سرعت شنواری دانه‌های آفتابگردان به عنوان تابعی از محتوای رطوبت مورد بررسی قرار گرفته است (Gupta, et al., 2007). این مطالعه نشان می‌دهد با کاهش رطوبت سرعت شنواری دانه‌ها به صورت خطی کاهش می‌یابد. سرعت شنواری دانه‌های پنبه و کم شدن آن‌ها در اثر کاهش در

۱-۲۰ به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار بخش مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان

* - نویسنده مسئول: (Email: alishahi1975@gmail.com)

که پایان ساعت کاری کارگران در روز اول است و ۳۲ ساعت پس از برداشت که پایان ساعت کاری روز دوم پس از برداشت است اندازه‌گیری شدند.

همچنین آخرین اندازه‌گیری‌ها در ۶۰ ساعت پس از برداشت که گلها پلاسیده و غیر قابل استفاده به‌نظر می‌آیند انجام شد. زعفران را بایستی حتی المقدور پس از برداشت جداسازی کرد اما گاهی به‌دلیل کمبود گارگر این کار تا انتهای ساعت کاری روز اول ادامه پیدا می‌کند. به‌ندرت این کار به‌روز دوم نیز می‌کشد که کیفیت زعفران به‌شدت کاهش یافته است (Atefi, 2006). این موضوع دلیل انتخاب ساعات انتخاب شده پس از برداشت برای انجام آزمایش‌ها است. میانگین اعداد مربوط به ۵۰ نمونه در هر اندازه‌گیری در محاسبات مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

جداسازی در تونل باد

برای بررسی امکان جداسازی کلاله از دیگر اجزاء گل در تونل باد آزمایش‌هایی با ریختن تمامی اجزاء گل با هم به‌داخل تونل انجام پذیرفت. برای این کار ۵۰ گل زعفران با توجه به‌ظرفیت دستگاه به ۵ گروه ۱۰ تائی تقسیم شدند. در هر آزمایش ۱۰ گل زعفران که شامل ۱۰ کلاله ۳۰ پرچم و ۶۰ گلبرگ است بر روی توری دستگاه قرار داده شدند (هر گل دارای یک کلاله سه پرچم و شش گلبرگ است). در اولین آزمایش برای هر زمان پس از برداشت سرعت دمش هوا بر روی حدود ۰/۱ متر بر ثانیه بیش از سرعت شناوری پرچم که از نمونه‌های تک تک اجزاء بدست آمده بود قرار گرفت. با ۱۰ ثانیه روشن کردن تونل در هر آزمایش پرچم‌ها و گلبرگ‌ها از روی توری بلند شده و به‌بیرون از تونل پرتاب می‌شدند. کلاله‌ها که دارای سرعت شناوری بیشتری هستند بر روی توری باقی می‌مانند. هر آزمایش با سه تکرار انجام و از مقادیر به‌دست آمده میانگین گرفته شد. آزمایش بعدی با سرعت ۰/۱ متر بر ثانیه بیشتر از مقدار قبلی انجام می‌شد. این روند آزمایش‌ها تا سرعتی حدود ۰/۱ متر بر ثانیه کمتر از سرعت شناوری کلاله‌ها که از آزمایش‌های تعیین سرعت شناوری تک تک اجزاء بدست آمده بود انجام شدند. گاهی تعدادی از کلاله‌ها به‌دلیل چسبیدن به گلبرگ و پرچم از دستگاه خارج می‌شوند و یا تعدادی گلبرگ و پرچم در تونل باقی می‌مانند. هدف از این آزمایش‌ها بدست آوردن بهترین سرعت هوا در تونل باد و بهترین زمان پس از برداشت برای جداسازی است. مقدار ایده‌آل دو پارامتر سرعت دمش هوا و زمان پس از برداشت حالتی است که تمامی کلاله‌ها بر روی توری باقی بمانند و تمامی گلبرگ‌ها و پرچم‌ها از تونل خارج شوند. در این حالت دستگاه بهترین عملکرد را دارد.

برای قضاوت در مورد عملکرد جداسازی یا همان تعداد کلاله باقی مانده بر روی توری در تونل باد و تعداد پرچم و گلبرگ خارج شده از تونل از منطق فازی استفاده شد. بدین منظور مجموعه ۳

محتوای رطوبت نیز توسط محققین گزارش شده است (Tabak and Wolf, 1998). مشابه چنین نتیجه‌ای برای دانه و کاه گیاه تف (نوعی حبوبات) به‌دست آورده شده است (Zewdu, 2007). سرعت شناوری کتان نیز توسط محققین بررسی و گزارش شده است (Watts and Allen, 1997).

مواد و روش‌ها

ساخت دستگاه و اندازه‌گیری سرعت شناوری

برای اندازه‌گیری سرعت شناوری یک تونل باد عمودی با استوانه‌ای از طلق شفاف به‌قطر ۲۰ سانتیمتر برای مشاهده اجزاء در حال شناوری طراحی و ساخته شد. یک توری با مش 0.5×0.5 در نیمه راه تونل برای قرار دادن اجزاء گل بر روی آن نصب گردید. دریچه‌ای نیز برای تغذیه طراحی شد. برای سیستم هوا دهی به‌تونل از یک فن جریان محوری با توان ۴۰۰ وات استفاده شد. چند تیغه در مسیر جریان هوا برای یکنواخت کردن هوای ورودی و جلوگیری از گردابی شدن آن در مسیر تعبیه گردید (Zewdu, 2007). سرعت هوا با دقت ۰/۱ متر بر ثانیه در تونل آزمایشی قابل تنظیم است. برای اندازه‌گیری سرعت هوا از بادسنج الکترونیکی مدل Therm 2285-2b با دقت ۰/۰۱ متر بر ثانیه استفاده شد (شکل ۱).



شکل ۱- دستگاه ساخته شده جهت اندازه‌گیری سرعت شناوری

Fig. 1. The experimental wind tunnel

برای آزمایش‌ها در فصل برداشت ۵۰ نمونه گل زعفران بصورت تصادفی از مزارع شهرستان نیشابور پیده و مورد استفاده قرار گرفتند. گلها با دست جداسازی شده و کلاله پرچم و گلبرگ‌ها تفکیک شدند. سپس اجزاء هر گل تک تک در تونل باد بر روی توری قرار گرفته و سرعت شناوری آنها اندازه‌گیری شد. سرعت‌های شناوری در چهار زمان مختلف یعنی ۱ ساعت پس از برداشت، ۸ ساعت پس از برداشت

۶- اگر بین ۶۵ تا ۷۵ درصد پرچم‌ها از تونل خارج شوند جداسازی ضعیف است.

۷- اگر کمتر از ۶۵ درصد پرچم‌ها از تونل خارج شوند جداسازی بد است.

۸- اگر بیش از ۹۰ درصد گلبرگ‌ها از تونل خارج شوند جداسازی خوب است.

۹- اگر بین ۸۰ تا ۹۰ درصد گلبرگ‌ها از تونل خارج شوند جداسازی قابل قبول است.

۱۰- اگر بین ۷۰ تا ۸۰ درصد گلبرگ‌ها از تونل خارج شوند جداسازی ضعیف است.

۱۱- اگر کمتر از ۷۰ درصد گلبرگ‌ها از تونل خارج شوند جداسازی بد است.

در تعاریف فوق مشاهده می‌شود که میزان خطائی برای خارج شدن کلاله از تونل باد و باقی ماندن پرچم و گلبرگ بر روی توری در داخل تونل باد در نظر گرفته شده است. این خطا را بعد از جداسازی در تونل می‌توان با کمک کارگر یا با روش‌های دیگر مانند ماشین بینایی (machine vision) برطرف کرده و محصول را تمیز کرد. بر اساس قواعد فوق مجموعه‌های زیر را به‌صورت روابط (۵) تا (۸) برای عملکرد دستگاه می‌توان تعریف کرد:

$$A_s^t = \begin{cases} \mu_A(K) \geq 0.9 \\ \mu_A(p) \geq 0.85 \\ \mu_A(g) \geq 0.9 \end{cases} \quad (5)$$

عملکرد قابل قبول:

$$A_s^t = \begin{cases} 0.9 > \mu_A(K) \geq 0.8 \\ 0.85 > \mu_A(p) \geq 0.75 \\ 0.90 > \mu_A(g) \geq 0.80 \end{cases} \quad (6)$$

عملکرد ضعیف:

$$A_s^t = \begin{cases} 0.8 > \mu_A(K) \geq 0.7 \\ 0.75 > \mu_A(p) \geq 0.65 \\ 0.8 > \mu_A(g) \geq 0.7 \end{cases} \quad (7)$$

عملکرد بد:

$$A_s^t = \begin{cases} 0.7 > \mu_A(K) \\ 0.65 > \mu_A(p) \\ 0.7 > \mu_A(g) \end{cases} \quad (8)$$

برای انتخاب بهترین سرعت در بین چند سرعت پذیرفته شده از

عضوی A به نام مجموعه عملکرد تعریف شد. این مجموعه شامل تعداد کلاله مانده در تونل و پرچم و گلبرگ خارج شده از تونل است. از حروف p, k, g به ترتیب برای نمایش کلاله، پرچم و گلبرگ استفاده شده است. با در نظر گرفتن توابع عضویت مجموعه A به شکل (۱) مشخص شد (Wang, 1997).

$$A_s^t = \{(k, \mu_A(k)), (p, \mu_A(p)), (g, \mu_A(g))\} \quad (1)$$

اندیس t نمایانگر پارامتر زمان پس از برداشت که آزمایش انجام شده است و اندیس s نمایانگر پارامتر سرعت هوای تونل است. در مجموعه فوق $\mu_A(x)$ درجه عضویت عضو x در زیر مجموعه A_s^t که عددی در بازه $[0,1]$ است می‌باشد. برای تعیین درجه عضویت‌ها توابع ۲، ۳ و ۴ به شرح زیر تعریف شدند:

$$\mu_A(k) = \frac{a}{b} \quad (2), \quad \mu_A(p) = \frac{c}{d} \quad (3)$$

$$\mu_A(g) = \frac{e}{f} \quad (4)$$

در روابط فوق:

a = تعداد کلاله باقی مانده در تونل

b = تعداد کل کلاله‌ها که در آزمایش‌ها مقدار آن ۱۰ می‌باشد.

c = تعداد پرچم خارج شده از تونل

d = تعداد کل پرچم‌ها که در آزمایش‌ها مقدار آن ۳۰ می‌باشد.

e = تعداد گلبرگ‌های خارج شده از تونل

f = تعداد کل گلبرگ‌ها که در آزمایش‌ها مقدار آن ۶۰ می‌باشد.

برای تعیین محدود عملکرد قابل قبول بایستی حداکثر مقادیر قابل قبول توابع عضویت را تعیین کرد. با دمش هوا با سرعت مناسب در تونل سعی می‌شود حداکثر ممکن از پرچم‌ها و گلبرگ‌ها از تونل خارج شوند و حداکثر ممکن کلاله‌ها بر روی توری در تونل باقی بمانند. یکی از پایه‌های مهم تصمیم‌گیری فازی استفاده از دانش افراد خبره برای تعریف پایگاه قواعد فازی است. برای این منظور در منطقه با مصاحبه و نظرخواهی از کشاورزان خبره و بررسی امکان عملی، تنظیم‌ها و توانائی تونل باد مورد آزمایش قواعد فازی به شرح زیر برای عملکرد جداسازی تعریف شدند:

۱- اگر بیش از ۹۰ درصد کلاله‌ها در تونل بمانند کیفیت جداسازی خوب است.

۲- اگر بین ۸۰ تا ۹۰ درصد کلاله‌ها در تونل بمانند کیفیت جداسازی قابل قبول است.

۳- اگر کمتر از ۸۰ درصد از کلاله‌ها در تونل بمانند جداسازی بد است.

۴- اگر بیش از ۸۵ درصد پرچم‌ها از تونل خارج شوند جداسازی خوب است.

۵- اگر بین ۷۵ تا ۸۵ درصد پرچم‌ها از تونل خارج شوند جداسازی قابل قبول است.

گلبرگ بهتر انجام می شود. شکل ۲ اختلاف سرعت شناوری پرچم و گلبرگ را نسبت به کلاله در زمان های مختلف پس از برداشت نشان می دهد. منحنی ها نشان می دهند که با گذشت زمان اختلاف بین سرعت های شناوری کلاله با پرچم و گلبرگ کاهش می یابد. کمترین اختلاف سرعت مربوط به ۶۰ ساعت پس از برداشت است. در این زمان سرعت کلاله ۲/۰۶ و سرعت پرچم ۱/۶۹ و در نتیجه ۰/۳۷ متر بر ثانیه اختلاف سرعت بین کلاله و پرچم وجود دارد یعنی حداکثر امکان ۳ پله تنظیم در این فاصله می باشد و خطای جداسازی زیاد می شود.

منظور از خطا این است که تعدادی از کلاله ها همراه با پرچم و گلبرگ از روی توری جدا شده و همراه با این ضایعات از تونل باد خارج شوند و یا برعکس تعداد از پرچم ها و گلبرگ ها در تونل باقی می ماند. در این تحقیق بیشترین سرعت شناوری مربوط به کلاله و مقدار ۳/۲۱ متر بر ثانیه است. عمادی و سعیدی راد در اندازه گیری های خود حداکثر سرعت شناوری مربوط به کلاله را ۲/۳۸ متر بر ثانیه بدست آورده اند دلیل این اختلاف تفاوت در وارسته ها است که احتمالاً این محققین گل های سبکتر را برای آزمایش های خود انتخاب کرده اند (Emadi and Saedirad, 2011).

بررسی جداسازی در تونل باد

برای جداسازی، تمامی اجزاء ۱۰ گل مطابق روش توضیح داده شده داخل تونل قرار داده شدند. داده های آزمایش ثبت و تحلیل شدند و مقادیر توابع عضویت در ساعات مختلف پس از برداشت از روابط ۲، ۳ و ۴ محاسبه شدند. جدول ۲ مقادیر تابع عضویت عملکرد را در ۱ ساعت پس از برداشت نشان می دهد. محدوده سرعت در جداول ۲ تا ۵ با توجه به مقادیر جدول ۱ انتخاب شده اند.

کاردینالیته یک مجموعه فازی که عبارت است از حاصل جمع مقادیر توابع عضویت کلاله، پرچم و گلبرگ در آن مجموعه فازی و با فرمول (۹) تعریف می شود استفاده شده است:

$$|A| = \sum \mu_A(x) \quad (9)$$

در فرمول فوق $|A|$ کاردینالیته مجموعه فازی مورد نظر است (Zimmerman, 1997).

نتایج و بحث

بررسی و مقایسه سرعت های شناوری اجزاء گل زعفران

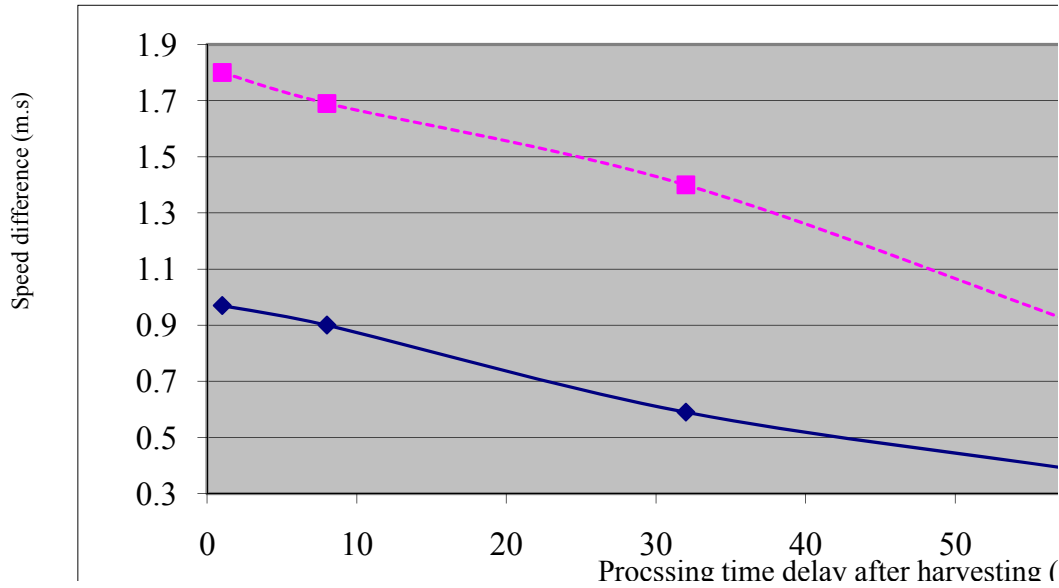
جدول ۱ نتایج حاصل از آزمایش های سرعت شناوری را نشان می دهد. همانطور که پیدا است سرعت شناوری کلاله بیشتر از مقادیر مربوط به پرچم و گلبرگ است. سرعت جریان هوا در تونل باد با دقت ۰/۱ متر بر ثانیه قابل تنظیم است. یعنی اگر حتی اختلاف سرعت بین دو جزء از گل ۰/۱ متر بر ثانیه باشد و سرعت تونل بر روی سرعتی کمی بیش از سرعت شناوری جزء کمتر تنظیم شود آن جزء، از تونل به بیرون پرتاب می شود و جزء با سرعت شناوری بزرگتر در تونل باقی مانده و جداسازی انجام می شود. بیشترین اختلاف سرعت بین اجزاء گل در ستون مربوط به زمان یک ساعت پس از برداشت است. در این ستون سرعت شناوری کلاله ۳/۲۱ و سرعت پرچم ۲/۲۴ متر بر ثانیه است. اختلاف بین این دو سرعت ۱ متر بر ثانیه است بنابراین برای جداسازی کلاله از گلبرگ ۱۰ پله تنظیم سرعت در فاصله شناوری بین دو جزء وجود دارد (با دقت تنظیم ۰/۱ متر بر ثانیه).

هر چه اختلاف سرعت بین پرچم و گلبرگ با کلاله بیشتر باشد به دلیل اینکه تعداد پله های بیشتری برای تنظیم سرعت دستگاه در آن فاصله وجود دارد امکان خطا کمتر و جدایش کلاله از پرچم و

جدول ۱- میانگین سرعت های شناوری اجزاء گل زعفران در زمان های مختلف پس از برداشت به متر بر ثانیه

Table 1. Average floating velocity of saffron flower components at different times after harvesting

cv	زمان پس از برداشت (ساعت)						اجزاء گل Flower parts	
	60		32		8			
	میانگین Mean	cv	میانگین Mean	cv	میانگین Mean	cv		
0.05	2.06	0.04	2.7	0.04	3.08	0.03	3.21	کلاله Stigma
0.06	1.69	0.05	2.11	0.05	2.18	0.06	2.24	پرچم Stamen
0.09	1.19	0.08	1.3	0.07	1.39	0.07	1.41	گلبرگ Petal



شکل ۲ - اختلاف سرعت کلاله با پرچم و گلبرگ بر حسب متر بر ثانیه

Fig. 2. Floating velocity differences between saffron stigma with stamen and petal

جدول ۲- مقدار تابع عضویت کلاله، پرچم و گلبرگ در مجموعه عملکرد A_s^t یک ساعت پس از برداشت در سرعت‌های مختلف تونل باد
Table 2. Membership function values for A_s^t fuzzy set, 1 hr after flowers harvesting at different wind tunnel speeds

سرعت هوا در تونل باد $m s^{-1}$									
3.1	3	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	Wind speed in tunnel ms^{-1}
0.71	0.75	0.79	0.82	0.84	0.87	0.89	0.92	0.95	$\mu_A(k)$
0.93	0.87	0.85	0.84	0.82	0.78	0.76	0.73	0.96	$\mu_A(p)$
0.95	0.92	0.92	0.89	0.87	0.84	0.82	0.80	0.75	$\mu_A(g)$

تونل ۸۱ درصد، خارج شدن پرچم‌ها و گلبرگ‌ها از تونل به ترتیب ۸۴ و ۸۹ درصد است.

جدول ۳ نمایشگر چگونگی عملکرد در ۸ ساعت پس از برداشت است. مشاهده می شود که مناسبترین محدوده که در آن تابع عضویت کلاله در مجموعه عملکرد بین ۰/۷ تا ۰/۸ است محدوده ۲/۴ تا ۲/۷ متر بر ثانیه است. بهترین مجموعه در این محدوده $A_{2.7}^8$ که

بیشترین کاردینالیتی یعنی $|A| = ۲/۲۷$ را داراست و مجموعه آن:

$$A_s^t = A_{2.7}^8 = \{(k, 0.72), (p, 0.76), (g, 0.79)\}$$

می باشد. در این حالت مجموعه عملکرد در محدوده رابطه (۶) است و "ضعیف" ارزیابی می شود.

مطابق جدول ۴ در ۳۲ ساعت پس از برداشت که اجزاء گل پژمرده

شده اند بهترین مجموعه عملکرد با $|A| = ۱/۸۴$ چنین است:

$$A_s^t = A_{2.4}^{32} = \{(k, 0.68), (p, 0.55), (g, 0.61)\}$$

این مجموعه در گروه مجموعه‌های قابل وصف با رابطه (۸) قرار گرفته و عملکرد در ۳۲ ساعت پس از برداشت "بد" ارزیابی می‌شود. لذا نایبستی زعفران تا این مدت پس از برداشت فرآوری نشده باقی بماند.

حداقل سرعت در این جداول کمی بیشتر از سرعت پرچم است تا هوا بتواند پرچم‌ها و گلبرگ‌ها را که سرعت کمتری دارند از تونل بیرون ببرد. حداکثر سرعت در این جداول کمی کمتر از سرعت شناوری کلاله است که از بیرون رفتن کلاله از تونل جلوگیری شود. طبق نتایج آزمایش‌های انجام شده محدوده سرعت مناسب در حالت قرار دادن تمامی اجزاء ۱۰ گل در تونل در یک ساعت پس از برداشت محدوده ۲/۵ تا ۲/۸ متر بر ثانیه است.

در این محدوده تابع عضویت عملکرد برای تعداد کلاله‌ها بین ۰/۸ تا ۰/۹ از آن پرچم بین ۰/۷۵ تا ۰/۸۵ و گلبرگ بین ۰/۸ تا ۰/۹ است. در این سرعتها طبق شروط رابطه ۶ مجموعه عملکرد "قابل قبول" ارزیابی می شود. در این محدوده با توجه به رابطه (۹) عملکرد در سرعت ۲/۸ متر بر ثانیه به دلیل $|A| = ۲/۵۵$ که بزرگتر از کاردینالیتی ۳ سرعت دیگر یعنی ۲/۵، ۲/۶ و ۲/۷ متر بر ثانیه است بهترین عملکرد را دارد و با مجموعه زیر تعریف می شود:

$$A_s^t = A_{2.8}^1 = \{(k, 0.81), (p, 0.84), (g, 0.89)\}$$

این مجموعه نشان می دهد که در یک ساعت پس از برداشت با سرعت ۲/۸ متر بر ثانیه در داخل تونل باد میزان ماندن کلاله‌ها در

جدول ۳- مقدار تابع عضویت کلاله، پرچم و گلبرگ در مجموعه عملکرد A_s^t مربوط به ۸ ساعت پس از برداشت در سرعت‌های مختلف تونل باد

Table 3. Membership function values for A_s^t fuzzy set, 8 hr after flowers harvesting at different wind tunnel speeds

سرعت هوا در تونل $m s^{-1}$ Wind speed in tunnel $m s^{-1}$									
3	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	
0.61	0.65	0.68	0.72	0.74	0.77	0.79	0.82	0.84	$\mu_A(k)$
0.83	0.81	0.78	0.76	0.73	0.71	0.68	0.65	0.67	$\mu_A(p)$
0.85	0.83	0.80	0.79	0.78	0.76	0.74	0.71	0.69	$\mu_A(g)$

جدول ۴- مقدار تابع عضویت کلاله، پرچم و گلبرگ در مجموعه عملکرد A_s^t مربوط به ۳۲ ساعت پس از برداشت در سرعت‌های مختلف تونل باد

Table 4. Membership function values for A_s^t fuzzy set, 32 hr after flowers harvesting at different wind tunnel speeds

سرعت هوا در تونل $m s^{-1}$ Wind speed in tunnel $m s^{-1}$					
2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	
0.58	0.63	0.68	0.71	0.73	$\mu_A(k)$
0.61	0.57	0.55	0.52	0.47	$\mu_A(p)$
0.64	0.62	0.61	0.57	0.52	$\mu_A(g)$

یک و نتوری است. این کار به جداسدن اجزاء به هم چسبیده از یکدیگر کمک می کند. سپس بایستی در ارتفاع بالاتر سرعت حرکت را با گشادتر کردن سطح مقطع تونل به حالت اولیه باز گرداند. شمسی و همکاران نیز با یک سیستم دمش هوا موفق به جداسازی ۷۶٪ از کلاله‌ها شدند (Shamsi et al., 2007). آنها نیز همزن مکانیکی که به گونه ای مخلوط اجزاء گل را بهم بزند و اجزاء به هم چسبیده را جدا کند برای افزایش عملکرد سیستم دمش هوا پیشنهاد کردند.

نتیجه گیری کلی

بطور کلی نتایج زیر از این تحقیق حاصل می شوند:
تفکیک اجزاء گل زعفران شامل گلبرگ، کلاله و پرچم در تونل باد با توجه به اختلاف زیاد بین سرعت‌های شناوری کلاله با سایر اجزاء گل امکان پذیر است.
سرعت هوا در تونل باد آزمایشی با دقت ۰/۱ متر بر ثانیه قابل تنظیم است. اختلاف سرعت کلاله با پرچم در یک ساعت پس از برداشت ۱ متر بر ثانیه با ضریب تغییرات ۰/۰۳ برای کلاله و ۰/۰۶ برای پرچم است لذا ۱۰ پله تنظیم سرعت هوا در این مرحله وجود دارد.

جدول ۵ مقادیر توابع عضویت عملکرد را در ۶۰ ساعت پس از برداشت نشان می دهد. در این حالت اجزاء گل خشک شده اند. در این حالت زعفران غیر قابل استفاده است و خطای بسیار به خاطر به هم چسبیدن اجزاء و کاهش سرعت شناوری اجزاء و کاهش بازه تغییر سرعت بین اجزاء اتفاق می افتد در این حالت نیز عملکرد بالاتر

مربوط به مجموعه $A_{1.8}^{60}$ با $|A| = 1/59$ است:

$$A_s^t = A_{1.8}^{60} = \{(k, 0.64), (p, 0.45), (g, 0.50)\}$$

در این حالت عملکرد بسیار پائین با رابطه (۸) قابل توصیف است

و عملکرد در این حالت نیز "بد" ارزیابی می شود.

بطور خلاصه در جداسازی اجزاء گل به کمک تونل باد بهترین راندمان و کمترین خطا در ساعات اولیه برداشت است. بهترین حالت مربوط به یک ساعت پس از برداشت است که تونل باد در سرعت ۲/۸ متر بر ثانیه کار می کند در این حالت ۸۱ درصد از کلاله‌ها در تونل می مانند و ۸۴ درصد از پرچم‌ها و ۸۹ درصد از گلبرگ‌ها از کلاله‌ها جدا شده و به بیرون تونل پرتاب می شوند. چنانچه ملاحظه می شود تونل باد عملکرد در محدوده "خوب" را ندارد. این عملکرد را با بهینه‌سازی تونل باد می توان بدست آورد. دلیل اصلی خطا چسبیدن و گیر کردن اجزاء گل به هم در هنگام شناوری یا حرکت رو به بالا در تونل برای ترک آن است. یک پیشنهاد بهینه سازی ایجاد یک منطقه سرعت گردابی و آشفته در بالای توری قرار دادن اجزاء گل با ایجاد

جدول ۵ - مقدار تابع عضویت کلاله، پرچم و گلبرگ در مجموعه عملکرد A_s^t مربوط به ۶۲ ساعت پس از برداشت در سرعت‌های مختلف تونل باد

Table 5. Membership function values for A_s^t fuzzy set, 60 hr after flowers harvesting at different wind tunnel speeds

سرعت هوا در تونل $m s^{-1}$ Wind speed in tunnel $m s^{-1}$				
2	1.9	1.8	1.7	
0.5	0.57	0.64	0.61	$\mu_A(k)$
0.50	0.47	0.45	0.38	$\mu_A(p)$
0.55	0.52	0.5	0.47	$\mu_A(g)$

کلاله‌ها با ماندن آنها در تونل باد و خروج ۸۴ درصد از پرچم‌ها و ۸۹ درصد از گلبرگ‌ها از تونل باد می‌شود.

بر اساس آزمایش‌های انجام شده بهترین جداسازی در یک ساعت پس از برداشت قابل انجام است. در این حالت سرعت مناسب هوا در تونل ۲/۸ متر بر ثانیه است که باعث جداسازی ۸۱ درصد از

منابع

1. Allen, A.W., and K. C. Watts. 1997. properties of cowpeas. *Journal of Agricultural Engineering research*, 68: 159-167.
2. Atefi, M. 2006. *Saffron (chemistry, quality control and processing)*: Bein Alnahrain press; Mashhad, Iran. (In Farsi).
3. Emadi, B., M. H. Saeidirad. 2011. Moisture-dependent physical properties of saffron flower. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 13(3): 387-389.
4. Gupta, R. K., G. Arora and R. Sharma. 2007. Aerodynamic properties of sun flower seeds. *Journal of Food Engineering Research*. 79: 899-904.
5. Mahdizade, R. 2001. Design and development of a wind tunnel for detecting aerodynamic properties of some agricultural seeds. Unpublished MSc Thesis, Department of Mechanics of Agricultural Machinery, Tarbiat Modarres University. Iran. (In Farsi).
6. Mehri, A. and M. Kahani. 2003. Design suggestions for a machine to separate stigma from petals of saffron. *Proceeding of the 3rd National Conference on Saffron*. Iran. (In Farsi).
7. Mohsenin, N. 1970. *Physical properties of plant and animal materials*, Dept. of Agricultural Engineering, Pennsylvania State University press; USA.
8. Sama, J. K., B. L. Raina, and A. K. Bhatia. 2000. Design and development of saffron (crocus Sativus L.) processing equipment. *Journal of Food Science and Technology*, 37 (4): 357-362.
9. Shamsi, M., M. Mazloomzadeh, J. Asghari, and A. Mohamadian. 2007. using air blowers to separate stigma from saffron flowers. the 3rd national student conference on agricultural machinery and mechanization. Shiraz University, Iran. (In Farsi).
10. Tabak, S., and D. Wolf. 1998. Aerodynamic properties of cotton seed. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 70: 257-265.
11. Wang, L. X. 1997. *A course in fuzzy systems and control*. Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, N.J. USA.
12. Zewdu, A. D. 2007. Aerodynamic properties of tef grain and straw material, *Biosystems Engineering*, 98(3): 304-309.
13. Zimmerman, H. J. 1997. *Fuzzy Set Theory*. Kuller Academic Publisher, UK.