نشریه پژوهش‌های زعفران (دو فصلنامه)
جلد هشتم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۳۹۹
شماره صفحه: ۳۱۵-۳۰۱
http://dx.doi.org/10.22077/jsr.2020.3521.1136

مقاله پژوهشی:

شناسایی و اولویت‌بندی فناوری‌های مناسب سورتینگ پیاز زعفران مبتنی بر تحلیل سلسله مراتبی

بهاره جمشیدی[1*]، محمدحسین سعیدی‌راد[2]، سعید ظریف‌نشاط[2]، فرزاد آزادشهرکی[3]
۱- دانشیار، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۲- دانشیار، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.
۱- استادیار، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
* نویسنده مسئول: *Email: b.jamshidi@areeo.ac.ir*

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۴/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۵/۲۸

چکیده

زعفران یکی از گران‌بهاترین گیاهان ادویه‌ای و دارویی با ارزش اقتصادی بسیار است. سورتینگ پیازهای زعفران بر پایه اندازه یکی از مهم‌ترین فرایندهای تولید و تأثیرگذار در عملکرد این محصول است. این پژوهش طی سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹، با هدف شناسایی و اولویت‌بندی فناوری‌های مناسب موجود در کشور برای سورتینگ پیازهای زعفران اجرا شد. اطلاعات و مشخصات فنی سورترها گردآوری و بررسی شد. فناوری‌های مناسب از طریق نظرسنجی و بازدیدهای تخصصی شناسایی و معیارهای مقایسه تعیین شد. گزینه‌ها متعلق به سه شرکت "ناردیس"، "طلای سرخ گلشید ایرانیان" و "گروه صنعتی سیفی" و معیارها شامل "ظرفیت"، "دقت"، "راحتی کاربرد"، "قابل حمل بودن"، "تعداد دسته‌ها"، "کیفیت پیازهای سورت شده"، "چندکاره بودن"، "تلفات کمّی"، "تعداد اپراتور"، "قیمت"، "توان" و "هزینه تعمیر و نگهداری" بود. به منظور اولویت‌بندی گزینه‌ها و انتخاب مناسب‌ترین فناوری از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و وزن‌دهی معیارها و گزینه‌ها در نرم‌افزار Expert Choice استفاده شد. معیارها بر اساس نظر خبرگانِ زعفران (۲۰ نفر) با تکمیل پرسش‌نامه ارزش‌گذاری شد. نتایج نشان داد که "تلفات کمّی" و "کیفیت پیاز سورت شده" به ترتیب با وزن‌های نسبی ۰/۱۴ و ۰/۱۳۵ اثرگذارترین معیارها و "قابل حمل‌بودن" با وزن نسبی ۰/۰۴۵ کم اثرترین معیار در انتخاب فناوری مناسب سورتینگ پیاز زعفران هستند (شاخص ناسازگاری=۰/۰۱). تحلیل حساسیت کارآیی نشان داد که سورتر "ناردیس" از نظر "تعداد اپراتور"، "قیمت" و "توان" نسبت به دو سورتر دیگر ارجحیت دارد. سورتر "طلای سرخ گلشید ایرانیان" از نظر "ظرفیت" و "چندکاره بودن" دارای برتری نسبت به دو سورتر دیگر است. سورتر"گروه صنعتی سیفی" از نظر "دقت"، "راحتی کاربرد"، "قابل حمل بودن"، "تعداد دسته‌ها"، "تلفات کمّی" و "هزینه تعمیر و نگهداری" نسبت به دو سورتر دیگر برتر است. بر اساس نتایج تلفیق، سورتر "گروه صنعتی سیفی" مبتنی بر روش غلتک‌های واگرا به عنوان مناسب‌ترین فناوری برای سورتینگ پیاز زعفران معرفی شد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل حساسیت، تصمیم‌گیری چندمعیاره، روش غلتک‌های واگرا، کیفیت پیاز.

مقدمه

زعفران[1] *(Crocus sativus L.)* گران‌بهاترین محصول کشاورزی و از باارزش‌ترین گیاهان ادویه‌ای و دارویی است که کاربردهای بسیاری در صنعت غذا و دارو دارد. ایران بزرگ‌ترین تولیدکننده و صادرکننده زعفران در جهان است و بیش از ۹۰ درصد تولید سالانه زعفران دنیا در ایران تولید می‌شود. حدود ۹۰ درصد از تولید این محصول در کشور مربوط به استان‌های خراسان‌رضوی، جنوبی و شمالی تولید می‌باشد **(***Koocheki & Khajeh-Hosseini, 2020***)**. این محصول، ارزش اقتصادی بسیار زیاد و نقش ویژه‌ای در صادرات غیرنفتی کشور دارد.

گیاه علفی زعفران با استفاده از پیاز[2] (بنه) تکثیر می‌شود. پیاز زعفران کروی شکل و دارای بافتی سفید، گوشتی و سخت است که با پوسته‌های فیبری نازک به رنگ قهوه‌ای پوشیده شده است. پیازهای زعفران دارای اندازه‌های مختلف هستند و وزن آنها بین دو تا ۴۰ گرم متغیر است *(Saeidirad, 2020)*. پیازهای زعفران معمولاً بر اساس وزن در چهار دسته پیازهای کوچک (وزن چهار گرم و کمتر)، متوسط (وزن ۴/۱ تا ۸ گرم)، نسبتاً بزرگ (وزن ۸/۱ تا ۱۲ گرم) و بزرگ (وزن بیش از ۱۲ گرم) طبقه‌بندی می‌شوند **(** *Koocheki & Seyyedi, 2015***)**.

پژوهش‌ها نشان داده است که اندازه پیاز زعفران تأثیر به‌سزایی در عملکرد پیاز دارد. به گونه‌ای‌که، با افزایش اندازه پیاز اصلی یا مادری، تعداد پیازهای جدید با اندازه متوسط و بزرگ افزایش می‌یابد. همچنین، تأیید شده است که اندازه پیاز زعفران اثر معنی‌داری روی عملکرد گل زعفران و کلاله (قسمت قرمز رنگ گل که پس از خشک شدن، عملکرد تجاری را تشکیل می‌دهد) دارد. به طوری‌که، با افزایش اندازه پیاز مادری، سطح برگ و تعداد جوانه فعال در زعفران افزایش می‌یابد *(Koocheki & Seyyedi, 2020; Arslan et al., 2012)*. به عنوان مثال، نتایج پژوهشی نشان داده است که بیشترین تعداد گل و عملکرد کلاله زمانی به‌دست می‌آید که پیازهای بزرگ (وزن بیش از ۱۰ گرم) کشت شوند *(Koocheki et al., 2016)*. این در حالی است که، پیازهای با وزن کمتر از شش گرم در سال اول قادر به گلدهی نیستند *(Saeidirad, 2020)*. بنابراین، در مرحله تهیه و کاشت پیاز زعفران یکی از مهم‌ترین عوامل موفقیت و افزایش عملکرد، انتخاب و کاشت پیاز درشت است. **(***Husaini et al., 2010***)** و از مشکلات اساسی تولید زعفران، افت شدید عملکرد به دلیل کاشت پیازهای کوچک است *(Ghanbarian, 2013)*.

از سوی دیگر، پیازهای مناسب کاشت بایستی عاری از بیماری و بدون آسیب‌دیدگی و سالم باشند *(Monika et al., 2018)*. در اغلب مناطق کشت زعفران، جداسازی پیازها از بقایای پیاز مادری و حذف پوسته‌های فیبری اضافی آنها توسط کارگران و به صورت دستی انجام می‌شود که با توجه به تعداد زیاد پیاز تولید شده و هزینه کارگری زیاد، کاری زمان‌بر و پرهزینه است *(Saeidirad, 2020)*. در این روش سنتی، معمولاً پیازهای جداسازی شده از نظر اندازه و وزن، سورت و تفکیک نمی‌شوند و یا این کار توسط کارگران و به صورت غیردقیق انجام می‌شود. بنابراین، ضرورت و اهمیت مکانیزه کردن عملیات سورتینگ و درجه‌بندی پیازهای زعفران و وجود فناوری‌های مناسب برای این منظور با هدف تهیه پیازهای درشت، سالم و با کیفیت در زمان کمتر و با هزینه کمتر کاملاً مشخص است. در سال‌های اخیر، استفاده از این فناوری‌ها در خصوص سورتینگ و درجه‌بندی پیاز زعفران مورد توجه تولیدکنندگان و صنعتگران داخلی و خارجی قرار گرفته و دستگاه‌هایی نیز برای این منظور ساخته شده است.

هدف از این پژوهش، شناسایی و اولویت‌بندی فناوری‌های مناسب موجود در کشور برای سورتینگ و درجه‌بندی پیاز زعفران با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی[3] *(AHP)* است که یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی‌شده برای تصمیم‌گیری چندمعیاره با قابلیت به کارگیری هم‌زمان معیارهای کمّی و کیفی برای ارزیابی معیارهای مؤثر در تصمیم‌گیری است *(Ghodsipour, 2019)*. روش *AHP* به طور موفق در تعدادی از پژوهش‌های مرتبط با محصول زعفران استفاده شده است که از آن جمله می‌توان به ارزیابی عوامل اقلیمی مؤثر بر کشت زعفران *(Kamyabi et*

1- Saffron
2- Corm
3- Analytical Hierarchy Process

al., 2014)، تعیین مکان‌های مناسب کشت زعفران در شهرستان تربت‌حیدریه *(Rashid Sorkhabadi et al., 2014, 2016)* و پهنه‌بندی اقلیمی مناطق مستعد کشت زعفران در شهرستان سمنان *(Shahidi et al., 2019)* بر پایه این روش اشاره کرد.

مواد و روش‌ها

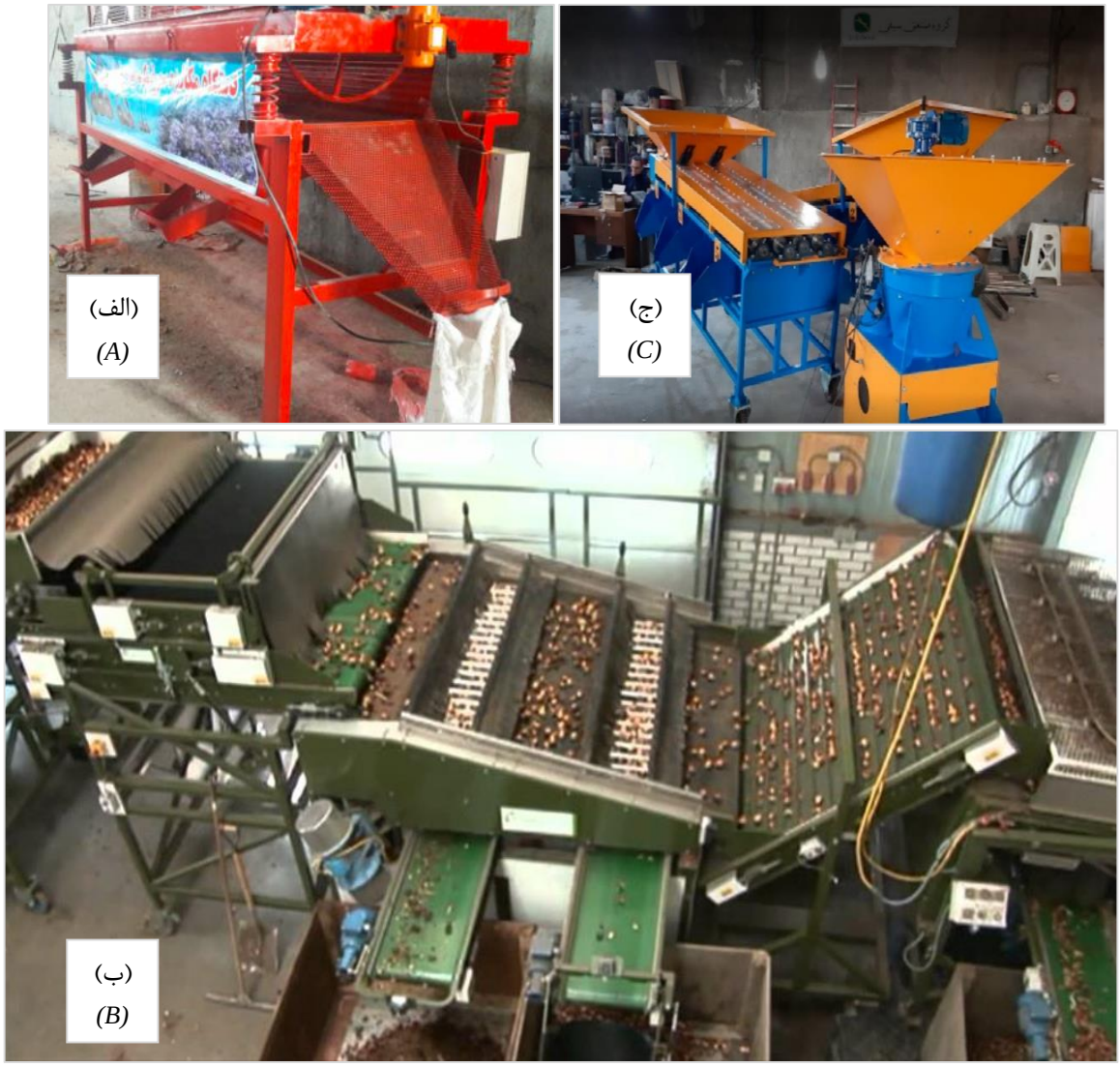
در این پژوهش، ابتدا آمار و اطلاعات مربوط به وضع موجود سورتینگ و درجه‌بندی پیاز زعفران (دستی یا مکانیزه)، فناوری‌های موجود سورتینگ و درجه‌بندی پیاز زعفران و مشخصات فنی سورترهای موجود در مناطق عمده کشت زعفران کشور گردآوری و بررسی شد. بررسی‌ها نشان داد که در اغلب مناطق کشت زعفران، پیازها بدون سورت شدن یا با سورت دستی به منظور کشت تهیه می‌شوند و یا پیازهای سورت شده از ابتدا خریدرای می‌شوند. طبق این بررسی‌ها مشخص شد که تاکنون تعدادی دستگاه به منظور سورتینگ مکانیزه پیاز زعفران در کشور طراحی و ساخته شده است، ولی اغلب آنها در حد نمونه آزمایشگاهی باقی مانده‌اند یا تجاری نشده و به تولید انبوه نرسیده‌اند. بیشتر این دستگاه‌ها، دسته‌بندی پیازها را بر اساس اندازه انجام می‌دهند و معمولاً از سازوکار استوانه دوار میله‌ای استفاده می‌کنند. به گونه‌ای که، پیازهای کوچک‌تر از میان میله‌های استوانه دوار عبور می‌کنند، ولی پیازهای بزرگ‌تر با حرکت در طول استوانه که دارای شیب طولی کم است، از انتهای آن خارج می‌شوند *(Ghanbarian, 2013)*.

در مرحله شناسایی فناوری‌های مناسب موجود برای سورتینگ پیازهای زعفران در کشور، تنها دستگاه‌هایی به عنوان گزینه‌های مورد بررسی در این پژوهش مد نظر قرار گرفتند که به صورت کامل طراحی و ساخته شده (ترجیحاً تجاری شده) و امکان نمونه‌گیری و آزمایش عملی آنها وجود داشته باشد. بر این اساس، فناوری‌های مناسب از طریق بازدید و نظرسنجی از کارشناسان متخصص، شناسایی شدند. این فناوری‌ها شامل سه دستگاه سورتینگ متعلق به شرکت‌های داخلی "ناردیس"، "طلای سرخ گلشید ایرانیان" و "گروه صنعتی سیفی" به ترتیب در استان‌های خراسان‌جنوبی و رضوی، و تهران بودند که به عنوان گزینه‌های *A*، *B* و *C* در نظر گرفته شدند (شکل ۱).

سورتر *A* دارای سازوکار استوانه دوار میله‌ای برای سورتینگ پیازهای زعفران به دو وزن (۸> و ۸< گرم) است و تا حدی خاک‌گیری پیازها را انجام می‌دهد. شرکت سازنده، از سورتر به منظور ارائه خدمات سورتینگ و تهیه و فروش پیازهای سورت شده استفاده می‌کند. سورتر *B* یک خط کامل سورتینگ با سازوکارهای نقاله‌ای برای بارگیری و جابه‌جایی پیازها، الک لرزشی برای خاک‌گیری، استوانه برس‌دار برای پرزگیری، سیستم پاشش سم برای ضدعفونی و درجه‌بند نواری برای سورتینگ پیازها در پنج وزن (۶>، ۶-۱۰، ۱۰-۲۰، ۲۰-۲۵ و ۲۵< گرم) است. در این نوع سورتر از مفتول‌های پلاستیکی که به صورت نوار نقاله در کنار هم قرار گرفته‌اند و فاصله بین آنها به صورت واگرا در انتهای مسیر زیاد می‌شود، استفاده شده است. پیازهای زعفران بر اساس اندازه، از فضای بین دو مفتول پایین افتاده و درجه‌بندی می‌شوند. شرکت سازنده، از این خط سورتینگ به منظور ارائه خدمات و تهیه و فروش پیازهای سورت شده بهره می‌برد. این خط سورت توسط شرکت سازنده در حال به‌روزرسانی و ارتقاء است. در نمونه جدید قرار است قسمت پرزگیری حذف شود بنابراین ظرفیت کاری (کیلوگرم در ساعت) سورتر حدود ۲/۵ برابر خواهد شد.

در سورتر *C* از سازوکار غلتک‌های واگرا که فاصله بین آنها از کم در ابتدای مسیر تا زیاد در انتهای مسیر بسته به اندازه محصول قابل تنظیم است، استفاده شده است. غلتک‌ها در خلاف جهت هم و به سمت بیرون می‌چرند و دارای شیب طولی به سمت پایین در انتهای مسیر هستند. پس از شناسایی فناوری‌های مناسب، معیارهای مقایسه یا عوامل تأثیرگذار در انتخاب مناسب‌ترین فناوری نیز با نظر کارشناسان متخصص تعیین شد. معیارها شامل "ظرفیت" (کیلوگرم پیاز زعفران سورت شده در ساعت)، "دقت" (درصد کل پیازهای درست دسته‌بندی شده)، "راحتی کاربرد"، "قابل حمل بودن" (سهولت جابه‌جایی با توجه به ابعاد و وزن دستگاه)، "تعداد دسته‌ها"، "کیفیت پیازهای سورت شده" (منظور از کیفیت، عدم وجود خاک و ناخالصی در پیازهای زعفران سورت شده است)، "چندکاره

بودن" (منظور امکان انجام عملیات دیگری غیر از سورت کردن مانند خاک‌گیری، پرزگیری و یا ضدعفونی کردن پیازهای زعفران توسط دستگاه است)، "تلفات کمّی" (درصد تلفات)، "تعداد اپراتور"، "قیمت"، "توان" و "هزینه تعمیر و نگهداری" بود.



شکل ۱. دستگاه‌های شناسایی‌شده مناسب برای سورتینگ پیاز زعفران. (الف): سورتر شرکت "ناردیس"، (ب): سورتر شرکت "طلای سرخ گلشید ایرانیان"، (ج) سورتر شرکت "گروه صنعتی سیفی".

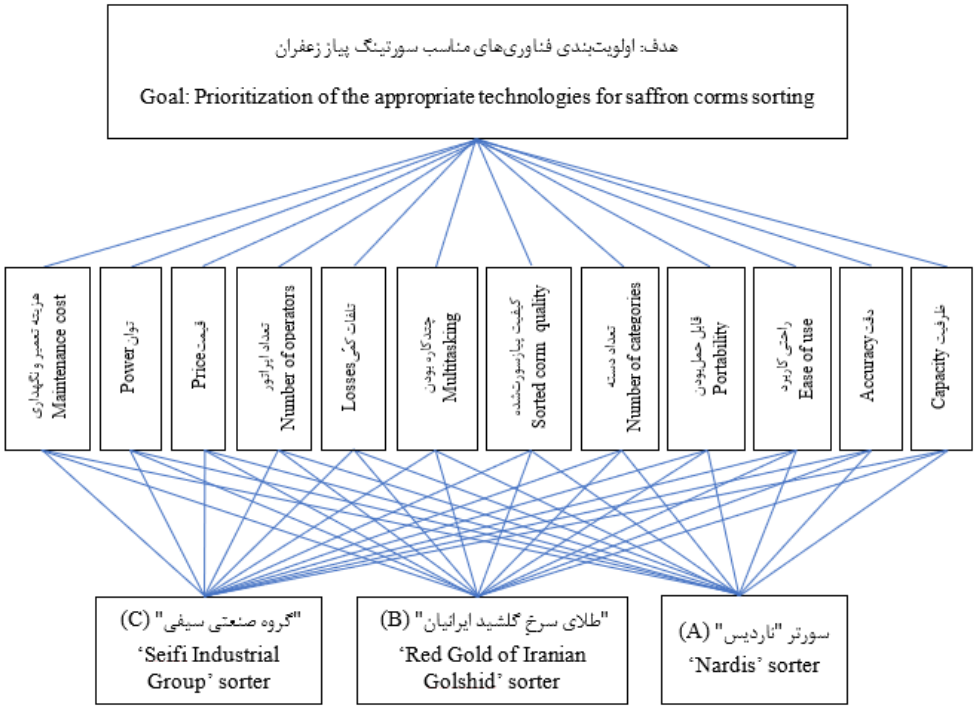
Fig. 1. The appropriate Sorters identified for saffron corm sorting. (A): 'Nardis' sorter, (B): 'Red Gold of Iranian Golshid' sorter, (C): 'Seifi Industrial Group' sorter.

به منظور اولویت‌بندی گزینه‌ها، معیارها و انتخاب مناسب‌ترین فناوری از روش تحلیل سلسله مراتبی *(AHP)* استفاده شد.

شکل ۲ ساختار سلسله مراتبی (درخت تصمیم) طراحی شده برای این پژوهش را نشان می‌دهد. در این ساختار، سطح یک نشان دهنده هدف و سطح دو و سه به ترتیب معیارهای تصمیم‌گیری و گزینه‌های در دسترس را نشان می‌دهند.

پس از طراحی درخت تصمیم، پرسش‌نامه خبره برای مقایسه زوجی معیارها طراحی شد و در اختیار خبرگان مرتبط با موضوع (۲۰ نفر شامل مدیران تحقیقاتی، اجرایی و بخش خصوصی مرتبط با تولید و فناوری‌ها، پژوهشگران و متخصصان، سازندگان تجهیزات و فناوری‌ها و چند زعفران‌کار پیشرو) قرار گرفت. ارزش‌دهی گزینه‌ها با توجه به هر معیار، بر پایه اطلاعات و مشخصات فنی فناوری‌های شناسایی شده و با دریافت

نظر کارشناسان و متخصصان بازدید کننده انجام شد. تخصیص عددی ارزش‌ها مربوط به مقایسه زوجی دو معیار و دو گزینه بر اساس جدول ۱ صورت گرفت.



شکل ۲. ساختار سلسله مراتبی برای اولویت‌بندی فناوری‌های مناسب سورتینگ پیاز زعفران

Fig. 2. Hierarchical structure for prioritization of the appropriate technologies for saffron corm sorting

پاسخ‌های دریافت شده از خبرگان شامل نظرهای متفاوتی در خصوص معیارهای انتخاب مناسب‌ترین فناوری بود که برای رفع این مشکل از جدول‌های مقایسه‌ای با بهره‌گیری از روش محاسبه میانگین هندسی ترکیب شدند (رابطه ۱).

$$A_{ij} = (\sum_{k=1}^{n} a_{ij}^{(k)})^{\frac{1}{n}} \qquad (۱)$$

که در آن،

A_{ij} = میانگین هندسی ارزش عددی a؛

i و j = دو معیاری که با هم مقایسه می‌شوند؛

k = کد فرد خبره پاسخ دهنده به پرسش‌ها؛

n = تعداد افرادی که دو معیار i و j را مقایسه کرده‌اند.

در این مرحله، با ورود اطلاعات تحلیل سلسله مراتبی به نرم‌افزار *Expert Choice*، وزن‌دهی معیارها و گزینه‌ها و اولویت‌بندی آنها انجام شد.

جدول ۱. مقادیر اهمیت/ارجحیت برای ماتریس‌های مقایسه زوجی

Table 1. Importance/Preference values for paired comparisons

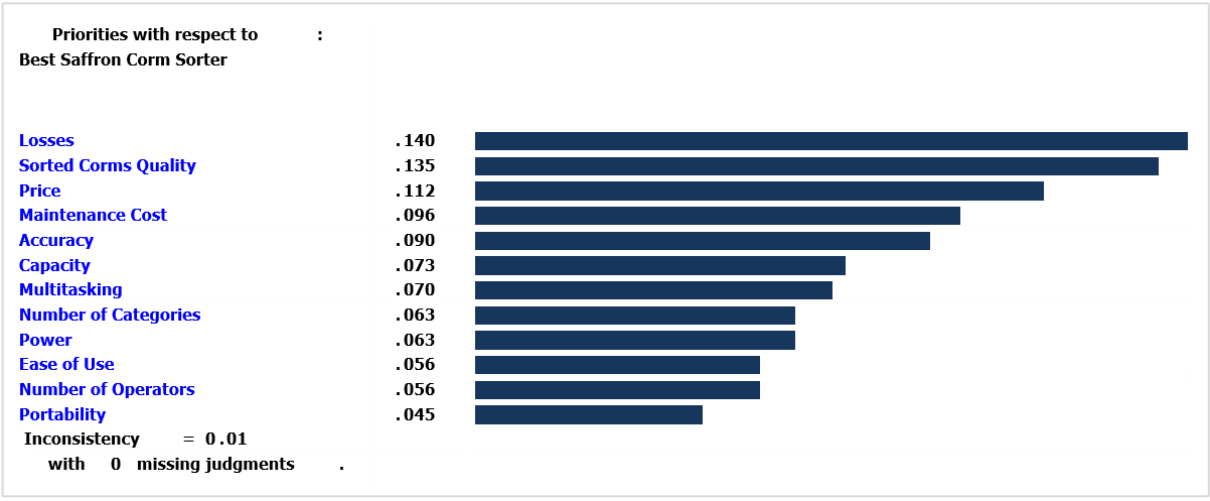
اهمیت/ارجحیت **Importance/Preference**	ارزش **Value**
ترجیح یکسان *Equally preferred*	*1*
کمی مرجح *Moderately preferred*	*3*
خیلی مرجح *Strongly preferred*	*5*
خیلی زیاد مرجح *Very strongly preferred*	*7*
کاملاً مرجح *Extremely preferred*	*9*
بینابین *Preferences distances*	*2,4,6,8*

در ابتدا، اهمیت معیارها با توجه به هدف پژوهش مورد مقایسه زوجی قرار گرفت و وزن نسبی هر معیار محاسبه شد. سپس، وزن‌دهی و ارجحیت گزینه‌ها با توجه به هر معیار با مقایسه زوجی آنها و برآورد وزن نسبی تعیین شد. در تحلیل اهمیت معیارها با توجه به هدف و همچنین در تحلیل ارجحیت گزینه‌ها با توجه به هر معیار، شاخص ناسازگاری (*Inconsistency*) تصمیم نیز مورد بررسی قرار گرفت. هنگامی که ناسازگاری صفر باشد، مقایسه‌ها کاملاً سازگار هستند. هرچه مقدار ناسازگاری‌ها بیشتر شود، ناسازگاری در هدف نیز بیشتر می‌شود. مقدار قابل قبول این شاخص کمتر از ۰/۱ بوده و برای مقادیر بیشتر نیاز به بازنگری در قضاوت‌ها است. در پایان به منظور انتخاب مناسب‌ترین گزینه، از تلفیق برای محاسبه وزن نهایی گزینه‌ها با توجه به هدف استفاده شد *(Ghodsipour, 2019; Mansouri et al., 2019; Monjezi et al., 2017)*.

نتایج و بحث

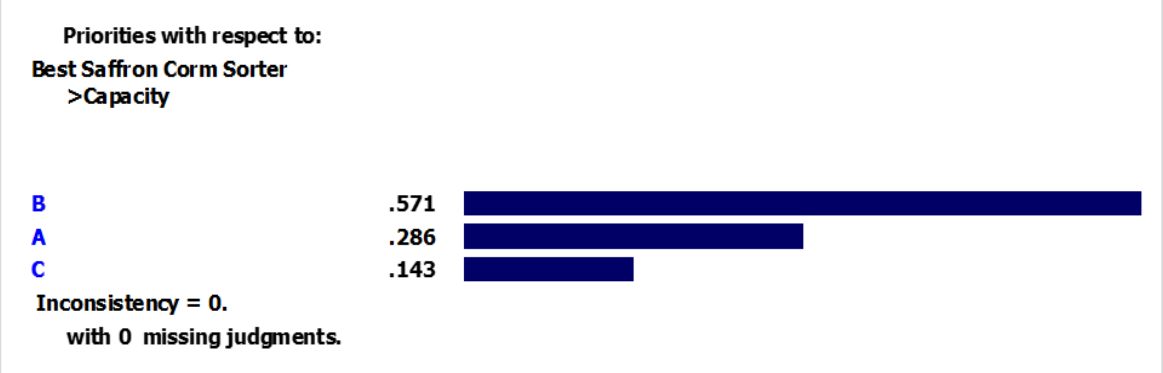
شکل ۳، نتیجه مقایسه زوجی و اولویت‌بندی معیارهای تصمیم‌گیری را با توجه به هدف پژوهش نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، "تلفات کمّی" با وزن نسبی ۰/۱۴ و "کیفیت پیاز سورت شده" با وزن نسبی ۰/۱۳۵ به ترتیب تأثیرگذارترین عوامل در انتخاب فناوری مناسب سورتینگ پیاز زعفران بودند. پس از آن به ترتیب عوامل "قیمت"، "هزینه تعمیر و نگهداری"، "دقت"، "ظرفیت" و "چندکاره بودن" با وزن‌های نسبی ۰/۱۱۲، ۰/۰۹۶، ۰/۰۹، ۰/۰۷۳ و ۰/۰۷ در رتبه‌های اهمیت بعدی قرار گرفتند. دو معیار "تعداد دسته‌ها" و "توان" با وزن نسبی یکسان ۰/۰۶۳ و پس از آن دو معیار "راحتی کاربرد" و "تعداد اپراتور" با وزن نسبی یکسان ۰/۰۵۶ از اهمیت کمتری در تصمیم‌گیری برخوردار بودند و کم‌تأثیرترین معیار در تصمیم‌گیری "قابل حمل‌بودن" با وزن نسبی ۰/۰۴۵ بود. در این تحلیل، شاخص ناسازگاری ۰/۰۱ و قابل قبول بود.

شکل ۴ نتایج مقایسه زوجی و اولویت‌بندی گزینه‌ها را با توجه به معیار "ظرفیت" نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، سورتر *B* از نظر ظرفیت کاری (کیلوگرم پیاز سورت شده در ساعت) با وزن نسبی ۰/۵۷۱ دارای بیشترین ارجحیت بین گزینه‌ها و پس از آن سورتر *A* با وزن نسبی ۰/۲۸۶ قرار داشت. کمترین ارجحیت بین گزینه‌ها با توجه به معیار "ظرفیت" به سورتر *C* با وزن نسبی ۰/۱۴۳ اختصاص داشت. شاخص ناسازگاری در این تحلیل ارجحیت، صفر و مقایسه‌ها کاملاً سازگار بود.



شکل ۳. اولویت‌بندی معیارها با توجه به هدف پژوهش

Fig. 3. Prioritization of criteria with respect to research goal



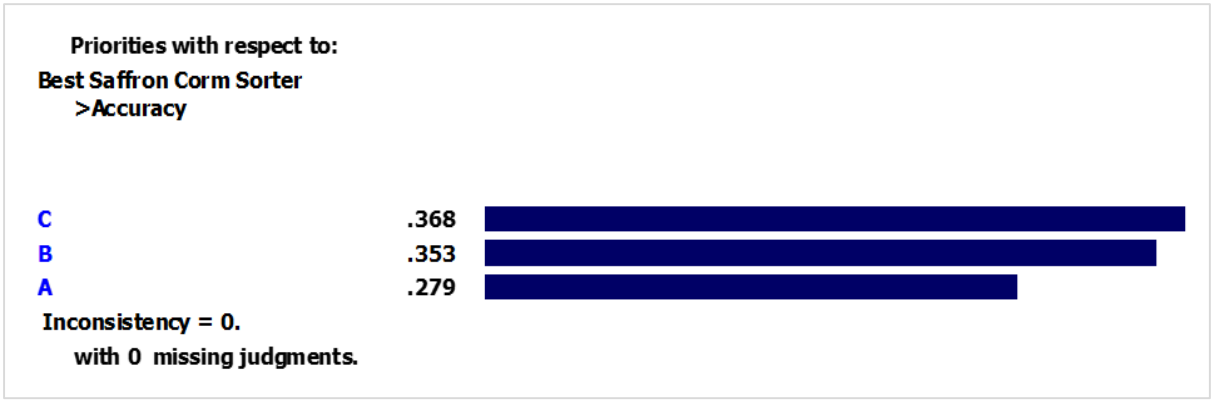
شکل ۴. اولویت‌بندی گزینه‌ها با توجه به معیار "ظرفیت"

Fig. 4. Prioritization of options with respect to ‘Capacity’ criteria

نتایج مقایسه زوجی و اولویت‌بندی گزینه‌ها با توجه به معیار "دقت" در شکل ۵ نشان داده شده است. بر پایه این تحلیل که شاخص ناسازگاری در آن نیز صفر بود، سورتر C با وزن نسبی ۰/۳۶۸ کمی مرجح‌تر از سورتر B با وزن نسبی ۰/۳۵۳ بود. کمترین ارجحیت از نظر دقت دسته‌بندی پیازهای زعفران به سورتر A با وزن نسبی ۰/۲۷۹ تعلق داشت.

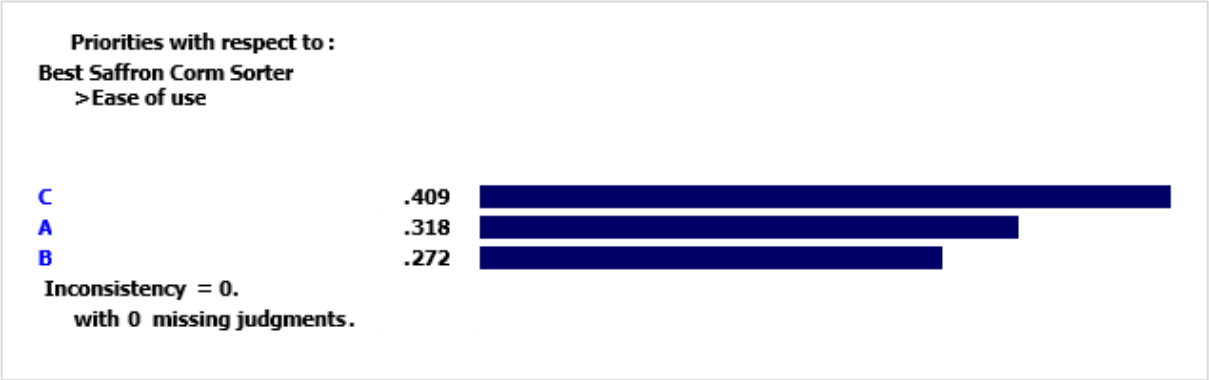
شکل ۶ اولویت‌بندی گزینه‌ها مبتنی بر نتایج مقایسه زوجی را با توجه به معیار "راحتی کاربرد" نشان می‌دهد. از نظر راحتی کاربرد و عدم پیچیدگی، سورتر C با وزن نسبی ۰/۴۰۹ بیشترین برتری را بین گزینه‌ها داشت و پس از آن سورتر A با وزن نسبی ۰/۳۱۸ در رتبه بعدی قرار گرفت. سورتر B با وزن نسبی ۰/۲۷۲ کمترین ارجحیت را نسبت به دو سورتر دیگر داشت که علت آن خط کامل سورتینگ بودن و چندکاره بودن این سورتر است. در این تحلیل، شاخص ناسازگاری صفر بود.

نتایج مقایسه زوجی و اولویت‌بندی گزینه‌ها با توجه به معیار "قابل حمل بودن" در شکل ۷ ارائه شده است. از نظر قابلیت حمل و نقل با توجه به ابعاد و وزن دستگاه همچنین ثابت یا متحرک بودن آن (دارا بودن یا نبودن چرخ برای حرکت)، سورتر C با وزن نسبی ۰/۶۹۲ بسیار مرجح‌تر از دو سورتر A و B به ترتیب با وزن‌های نسبی ۰/۲۱۶ و ۰/۰۹۲ بود. شاخص ناسازگاری در این تحلیل برابر با ۰/۰۰۴ و قابل قبول بود.



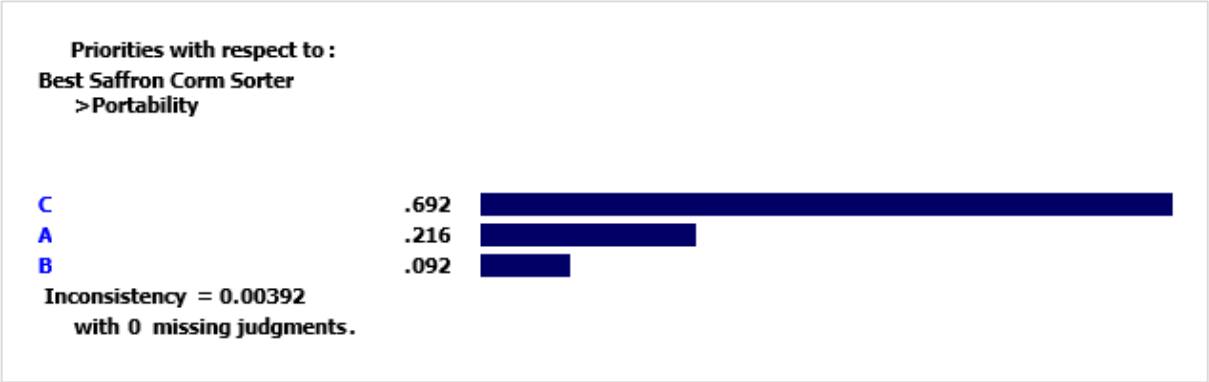
شکل ۵. اولویت‌بندی گزینه‌ها با توجه به معیار "دقت"

Fig. 5. Prioritization of options with respect to ‘Accuracy’ criteria



شکل ۶. اولویت‌بندی گزینه‌ها با توجه به معیار "راحتی کاربرد"

Fig. 6. Prioritization of options with respect to 'Ease of use' criteria



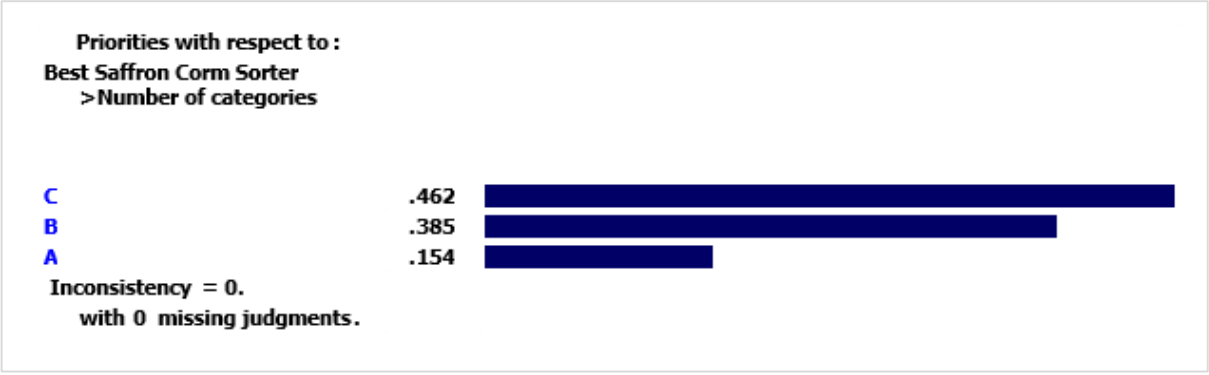
شکل ۷. اولویت‌بندی گزینه‌ها با توجه به معیار "قابل حمل‌بودن"

Fig. 7. Prioritization of options with respect to 'Portability' criteria

شکل ۸ نتایج مقایسه زوجی و اولویت‌بندی گزینه‌ها را با توجه به معیار "تعداد دسته‌ها" نشان می‌دهد. از نظر تعداد دسته طبقه‌بندی پیازهای زعفران بر پایه اندازه، سورتر C با وزن نسبی ۰/۴۶۲ مرجح‌تر از سورتر B با وزن نسبی ۰/۳۸۵ بود. این دو سورتر بسیار مرجح‌تر از سورتر A با وزن نسبی ۰/۱۵۴ از نظر تعداد دسته طبقه‌بندی بودند. در این تحلیل، مقایسه‌ها کاملاً سازگار و ناسازگاری صفر بود.

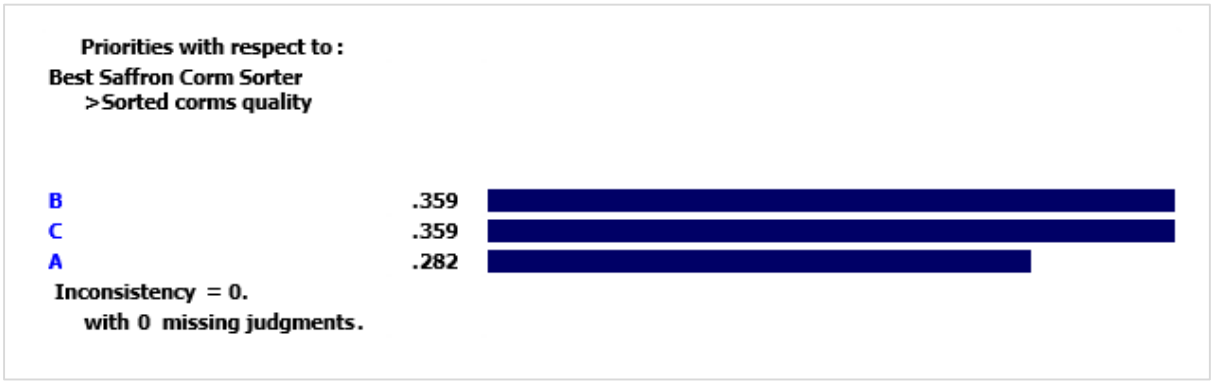
اولویت‌بندی گزینه‌های این پژوهش با توجه به معیار "کیفیت پیازهای سورت‌شده" که از نتایج مقایسه زوجی به‌دست آمد، در شکل ۹ ارائه شده است. بر اساس نتایج، دو سورتر B و C با وزن نسبی یکسان (۰/۳۵۹) دارای برتری بیشتر نسبت به سورتر A با وزن نسبی ۰/۲۸۲ بودند و خود نسبت به یکدیگر ارجحیتی نداشتند. شاخص ناسازگاری نیز صفر بود.

.



شکل ۸. اولویت‌بندی گزینه‌ها با توجه به معیار "تعداد دسته‌ها"

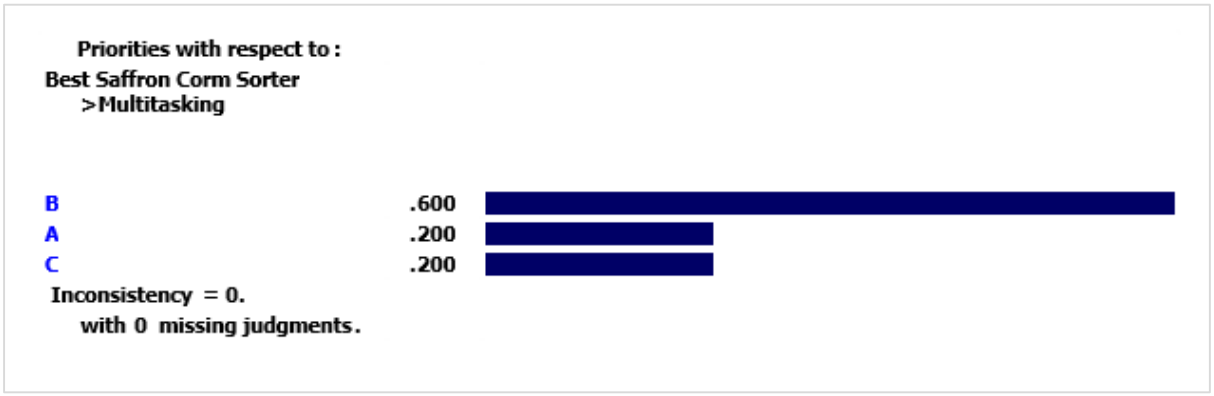
Fig. 8. Prioritization of options with respect to 'Number of categories' criteria



شکل ۹. اولویت‌بندی گزینه‌ها با توجه به معیار "کیفیت پیازهای سورت‌شده"

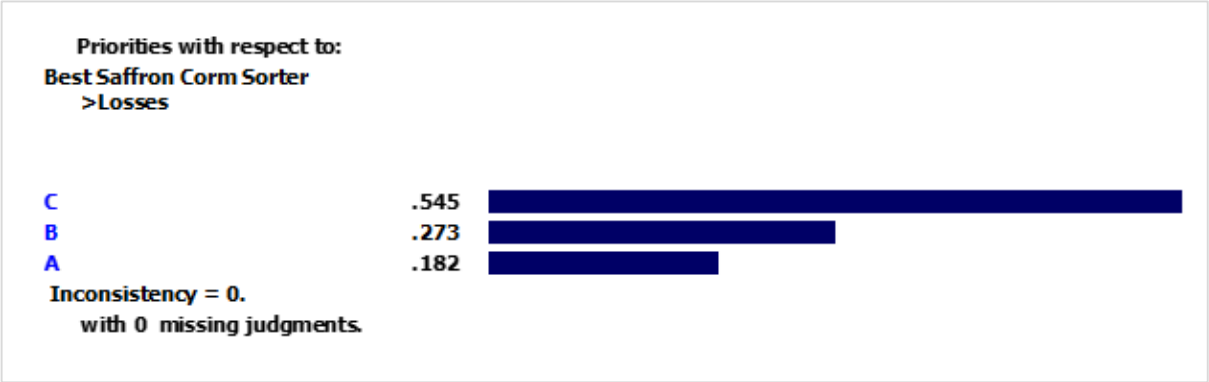
Fig. 9. Prioritization of options with respect to 'Sorted corms quality' criteria

شکل ۱۰ نتایج مقایسه زوجی و اولویت‌بندی گزینه‌ها را با توجه به معیار "چندکاره بودن" نشان می‌دهد. با توجه به این نتایج، سورتر B به دلیل اینکه به غیر از خاک‌گیری و سورتینگ پیازهای زعفران قادر به پرزگیری و ضدعفونی آنها نیز هست و به عبارتی یک خط کامل سورتینگ است، با وزن ۰/۶ بسیار مرجح‌تر از سورترهای A و C بود که هر دو دارای وزن نسبی یکسان ۰/۲ بودند و نسبت به یکدیگر ارجحیت خاصی نداشتند. در این تحلیل نیز شاخص ناسازگاری صفر بود. اولویت‌بندی گزینه‌ها با توجه به معیار "تلفات کمّی" و بر پایه نتایج مقایسه زوجی در شکل ۱۱ نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود، از نظر معیار درصد تلفات کمّی که یک معیار منفی است، سورتر C با وزن نسبی ۰/۵۴۵ بسیار مرجح‌تر از سورتر B با وزن نسبی ۰/۲۷۳ بود. به عبارت دیگر، درصد تلفات کمّی در سورتر C نسبت به سورتر B بسیار کمتر بود. کمترین ارجحیت با توجه به این معیار به سورتر A اختصاص داشت که دارای وزن نسبی ۰/۱۸۲ بود. شاخص ناسازگاری در این تحلیل نیز صفر بود. با توجه به این‌که سورتر C شامل غلتک‌هایی ماشین‌کاری شده بدون لنگی و در چهار مرحله آب‌کاری شده و کاملاً صیقل است، عدم آسیب‌رسانی به پیازهای زعفران در حین سورتینگ قابل انتظار بود. در سورتر B نیز تلفات، بیشتر به قسمت پرزگیری بر می‌گردد که در نمونه جدید این دستگاه قرار است حذف شود.



شکل ۱۰. اولویت‌بندی گزینه‌ها با توجه به معیار "چندکاره‌بودن"

Fig. 10. Prioritization of options with respect to 'Multitasking' criteria

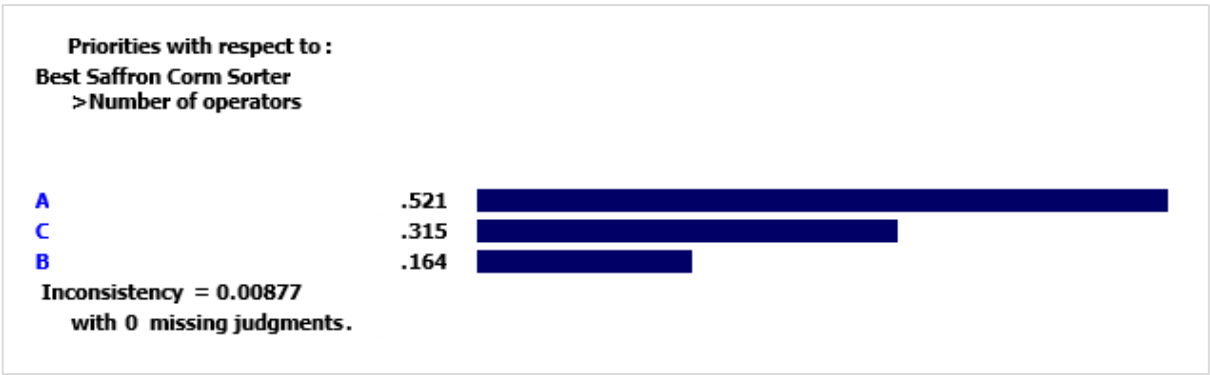


شکل ۱۱. اولویت‌بندی گزینه‌ها با توجه به معیار "تلفات کمّی"

Fig. 11. Prioritization of options with respect to 'Losses' criteria

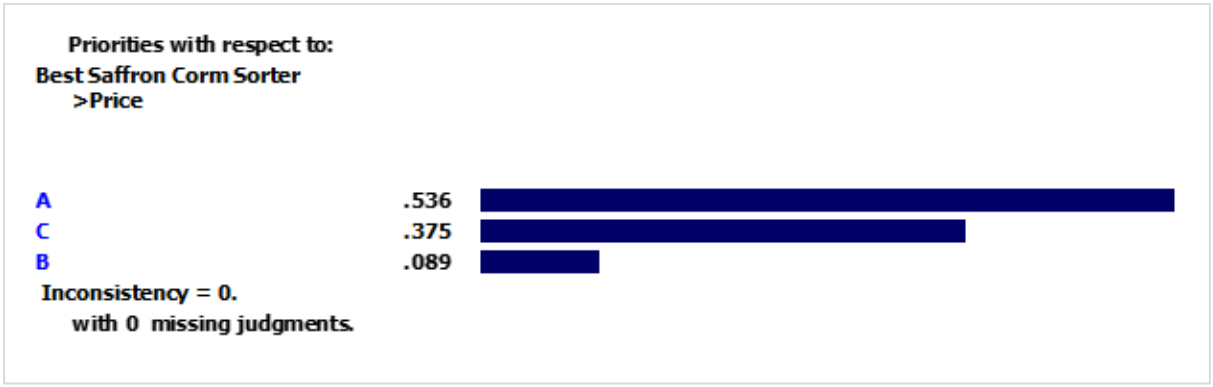
شکل ۱۲ نتایج مقایسه زوجی و اولویت‌بندی گزینه‌ها را با توجه به معیار "تعداد اپراتور" نشان می‌دهد، با توجه به اینکه سورتر B یک خط کامل سورتینگ است، نیاز به تعداد اپراتور بیشتر نسبت به دو سورتر دیگر کاملاً منطقی است، ولی با توجه به اینکه این معیار، یک معیار منفی است، سورتر B نسبت به دو سورتر دیگر از ارجحیت بسیار کمتری با وزن نسبی ۰/۱۶۴ برخوردار بود. سورتر A با وزن نسبی ۰/۵۲۱ بیشترین برتری و پس از آن سورتر C با وزن نسبی ۰/۳۱۵ از نظر ارجحیت قرار داشت. شاخص ناسازگاری در این تحلیل قابل قبول بود (۰/۰۹).

اولویت‌بندی گزینه‌ها با توجه به معیار "قیمت" که از نتایج مقایسه زوجی به دست آمده است، در شکل ۱۳ ارائه شده است. قیمت نیز یک معیار منفی است و هرچه کمتر باشد ارجحیت گزینه بیشتر است. بر این اساس سورتر A با وزن نسبی ۰/۵۳۶ مرجح‌تر از سورتر C با وزن نسبی ۰/۳۷۵ بود. این دو سورتر از نظر معیار "قیمت" نسبت به سورتر B که وزن نسبی آن ۰/۰۸۹ بود، ارجحیت بسیار داشتند. شاخص ناسازگاری در این تحلیل نیز صفر و مقایسه‌ها کاملاً سازگار بودند.



شکل ۱۲. اولویت‌بندی گزینه‌ها با توجه به معیار "تعداد اپراتور"

Fig. 12. Prioritization of options with respect to 'Number of operators' criteria

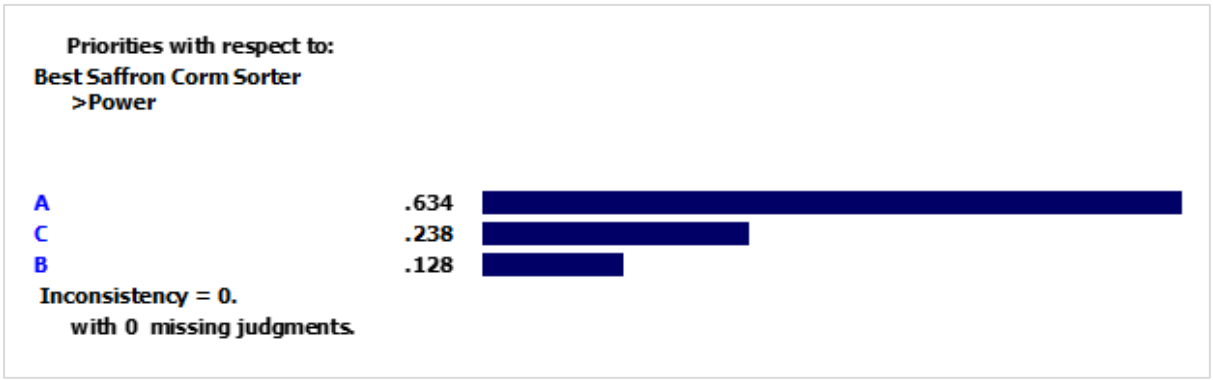


شکل ۱۳. اولویت‌بندی گزینه‌ها با توجه به معیار "قیمت"

Fig. 13. Prioritization of options with respect to 'Price' criteria

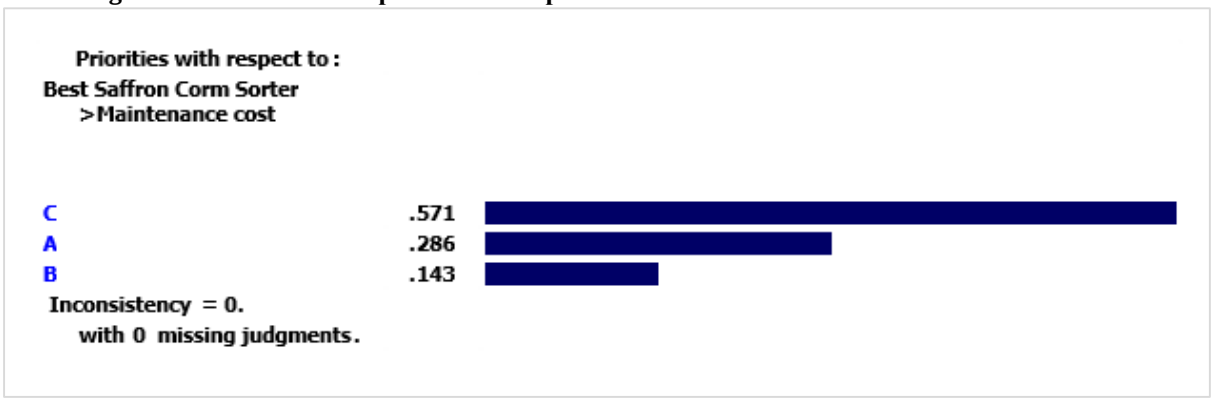
در شکل ۱۴ نتایج مقایسه زوجی و اولویت‌بندی گزینه‌ها با توجه به معیار "توان" نشان داده شده است. معیار توان مصرفی (کیلو وات) نیز یک معیار منفی است که هرچه بیشتر باشد از ارجحیت گزینه کاسته می‌شود. طبق نتایج این تحلیل که شاخص ناسازگاری در آن صفر بود، سورتر A با وزن نسبی ۰/۶۳۴ بسیار مرجح‌تر از سورترهای C و B به ترتیب با وزن‌های نسبی ۰/۲۳۸ و ۰/۱۲۸ بود.

شکل ۱۵ نیز اولویت‌بندی گزینه‌ها را با توجه به معیار "هزینه تعمیر و نگهداری" که معیاری منفی است نشان می‌دهد. سورتر C که نیاز به هزینه تعمیر و نگهداری کمتری در سال نسبت به دو سورتر دیگر دارد، با وزن نسبی ۰/۵۷۱ بسیار مرجح‌تر از آنها بود. سورتر A نیز با وزن نسبی ۰/۲۸۶ نسبت به سورتر B با وزن نسبی ۰/۱۴۳ برتری بیشتر داشت. شاخص ناسازگاری تحلیل صفر بود.



شکل ۱۴. اولویت‌بندی گزینه‌ها با توجه به معیار "توان"

Fig. 14. Prioritization of options with respect to 'Power' criteria

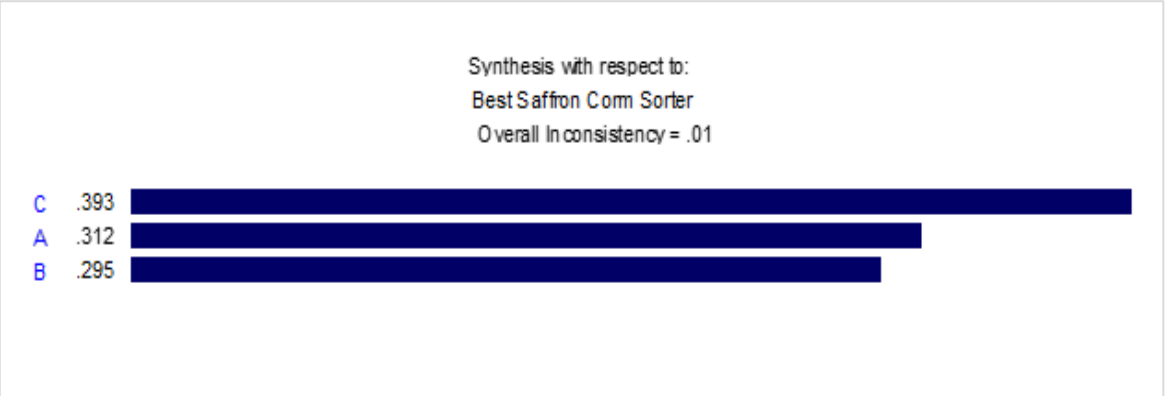


شکل ۱۵. اولویت‌بندی گزینه‌ها با توجه به معیار "هزینه تعمیر و نگهداری"

Fig. 15. Prioritization of options with respect to 'Maintenance cost' criteria

همان‌گونه که بیان شد، پس از مقایسه زوجی معیارها و اولویت‌بندی آنها با توجه به هدف، همچنین مقایسه زوجی گزینه‌ها و اولویت‌بندی آنها با توجه به هر یک از معیارها، به منظور انتخاب مناسب‌ترین گزینه، تلفیق انجام و با محاسبه وزن نهایی گزینه‌ها، اولویت‌بندی آنها با توجه به هدف ارائه شد.

با توجه به نتایج تلفیق که در شکل ۱۶ نشان داده شده است، سورتر C با وزن نهایی ۰/۳۹۳ به عنوان مناسب‌ترین گزینه با توجه به هدف بود. پس از آن سورترهای A و B به ترتیب با وزن‌های نهایی ۰/۳۱۲ و ۰/۲۹۵ در اولویت‌های دوم و سوم قرار گرفتند. شاخص ناسازگاری کل نیز ۰/۰۱ و قابل قبول بود.

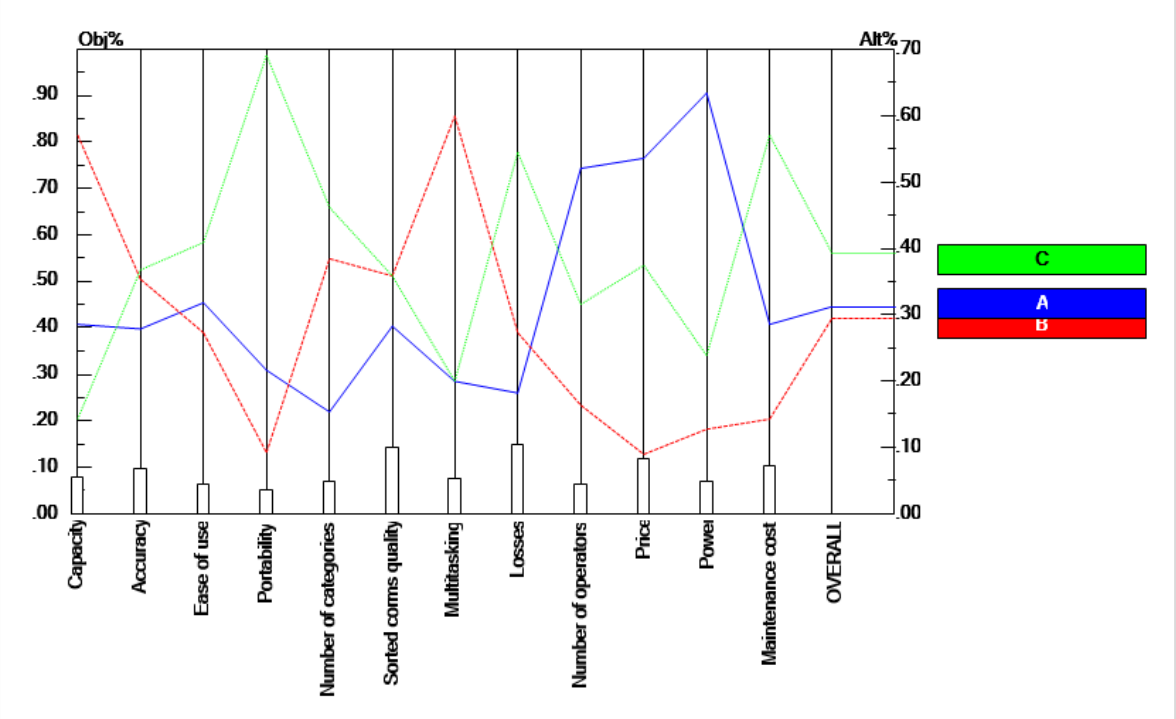


شکل ۱۶. تلفیق و وزن نهایی گزینه‌ها با توجه به هدف

Fig. 16. Synthesis and the final weight of the options with respect to research goal

تحلیل حساسیت کارآیی گزینه‌ها با توجه به معیارهای تصمیم‌گیری در شکل ۱۷ نشان داده شده است. این تحلیل نشان می‌دهد که چگونه هر گزینه نسبت به گزینه‌های دیگر با توجه به معیارها و حالت کلی اولویت‌بندی شده‌اند. بر اساس این تحلیل، برتری قابل توجه سورتر A با توجه به معیارهای "تعداد اپراتور"، "قیمت" و "توان" نسبت به دو سورتر دیگر مشهود است. این سورتر از نظر معیارهای "راحتی کاربرد"، "قابل حمل‌بودن"، "هزینه تعمیر و نگهداری" و در حالت کلی نسبت به سورتر B دارای برتری نسبی است. این سورتر در مقایسه با سورتر C و از نظر معیار "ظرفیت" نیز دارای برتری نسبی است. این در حالی است که سورتر B بر اساس تحلیل حساسیت کارآیی، از نظر معیارهای "ظرفیت" و "چندکاره‌بودن" دارای برتری قابل توجه نسبت به دو سورتر دیگر است. این سورتر از نظر معیارهای "دقت"، "تعداد دسته‌ها"، "کیفیت پیازهای سورت‌شده" و "تلفات کمّی" نیز نسبت به سورتر A دارای برتری نسبی است.

بر اساس تحلیل حساسیت کارآیی، برتری قابل توجه سورتر C در معیارهای "قابل حمل بودن"، "تلفات کمّی"، و "هزینه تعمیر و نگهداری" نسبت به دو سورتر دیگر، و برتری نسبی در معیارهای "دقت"، "راحتی کاربرد"، "تعداد دسته‌ها" و در حالت کلی نسبت به سورترهای A و B است. این سورتر از نظر معیار "کیفیت پیازهای سورت شده" نیز نسبت به سورتر A دارای برتری نسبی است. همچنین، برتری سورتر C نسبت به B در معیارهای "تعداد اپراتور"، "قیمت" و "توان" نیز کاملاً مشهود است.



شکل ۱۷. تحلیل حساسیت کارآیی فناوری‌های مناسب شناسایی‌شده برای سورتینگ پیاز زعفران

Fig. 17. Performance sensitivity analysis of appropriate identified technologies for saffron corm sorting

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، فناوری‌های مناسب سورتینگ پیاز زعفران در کشور شناسایی و با روش تحلیل سلسله مراتبی اولویت‌بندی شدند. بر اساس نتایج پژوهش، از بین ۱۲ عامل تأثیرگذار یا معیار بررسی شده برای انتخاب مناسب‌ترین فناوری، شش معیار "تلفات کمّی"، "کیفیت پیازهای سورت شده"، "قیمت"، "هزینه تعمیر و نگهداری"، "دقت" و "ظرفیت" به‌ترتیب تأثیرگذارترین عوامل بودند. به این ترتیب و بر اساس نتایج تحلیل سلسله مراتبی، سورتر توسعه یافته توسط "گروه صنعتی سیفی" مبتنی بر روش غلتک‌های واگرا به عنوان مناسب‌ترین فناوری از بین سه فناوری مناسب شناسایی شده برای سورتینگ پیازهای زعفران با توجه به معیارهای تصمیم‌گیری معرفی شد. با توجه به اینکه هر سه فناوری مورد بررسی در این پژوهش، قابلیت توسعه دارند و بر اساس شش عامل شناسایی‌شده که دارای بیشترین تأثیر در انتخاب مناسب‌ترین فناوری سورتینگ پیاز زعفران هستند، به نظر می‌رسد استفاده از فناوری‌های پیشرفته مانند پردازش تصویر[1] و طیف‌سنجی[2] در تلفیق با هوش مصنوعی[3] در توسعه این سورترها به دلیل امکان افزایش دقت تشخیص و جداسازی، افزایش سرعت کار و به تبع آن ارتقاء ظرفیت دستگاه، همچنین کاهش تلفات کمّی و ارتقای کیفیت پیازهای جداسازی‌شده در هر دسته به سبب کاهش نیاز به قطعات مکانیکی برای سورتینگ پیازها بتواند نقش مؤثری در کارآیی سورترها داشته باشد. از سوی دیگر، استفاده از قابلیت‌های این فناوری‌ها در توسعه سورترهای موجود، امکان سورت و جداسازی هوشمند پیازهای زعفران را بر پایه سایر پارامترهای ظاهری یا درونی (آلودگی قارچی و بیماری) به طور همزمان با تشخیص اندازه می‌تواند فراهم سازد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود کاربرد این فناوری‌ها در توسعه سورترهای پیاز زعفران مورد توجه سازندگان و صنعتگران این حوزه قرار گیرد.

قدردانی

از کمیته طرح‌های جریان‌ساز در سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی برای حمایت مالی پروژه با کد مصوب ۹۸۰۴۰۲-۰۲۲-۱۴-۱۴-۲۴ که این پژوهش بخشی از آن است، سپاسگزاری می‌شود.

1- *Image processing*

2- *Spectroscopy*

3- *Artificial intelligence*

منابع

Arslan, N., Rahimi, A., Ipek, A., and Ipek, G., 2012. Effects of saffron (Crocus sativus L.) corm placement position and corm size on stigma and corm yields. Pure Appl. Bio. 1(3), 59-62.

Ghanbarian, D., 2013. Design and development of a drum type saffron corm sizing-machine. J. Agric. Eng. 35(2), 83-96. [in Persian with English Summary].

Ghodsipour, H., 2019. Analytical Hierarchy Process (AHP). 13th Edition. Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran. 224 pp. [in Persian].

Husaini, A.M., Hassan, B., Ghani, M.Y., Teixeira da Silva, J.A., and Kirmani, N.A., 2010. Saffron (Crocus sativus Kashmirianus.) cultivation in Kashmir: Practices and problems. In: Husaini, A.M. (Ed.), Saffron. Global Science Books, UK, pp. 98-115.

Kamyabi, S., Habibi Nokhandan, M., and Rouhi, A., 2014. Effect of climatic factors affecting saffron using analytic hierarchy process (AHP); (Case study Roshtkhar region, Iran). Saffron Agron. Technol. 2(1), 75-90. [in Persian with English Summary].

Koocheki, A., and Khajeh-Hosseini, M., 2020. Saffron: Science, Technology and Health. 1st Edition. Woodhead Publishing, 580 pp.

Koocheki, A., and Seyyedi, S.M., 2015. Relationship between nitrogen and phosphorus use efficiency in saffron (Crocus sativus L.) as affected by mother corm size and fertilization. Ind. Crop. Prod. 71, 128-137.

Koocheki, A., and Seyyedi, S.M., 2020. Saffron "seed", the corm. In: Koocheki, A., Khajeh-Hosseini, B. (Eds.), Saffron: Science, Technology and Health. 1st Edition. Woodhead Publishing, pp. 93-118.

Koocheki, A., Ebrahimian, E., and Seyyedi, S.M., 2016. How irrigation rounds and mother corm size control saffron yield, quality, daughter corms behavior and phosphorus uptake. Sci. Hortic. 213, 132-143.

Mansouri, N., Zakidizaji, H., Sheikhdavoodi, M.J., and Asakereh, A., 2019. Evaluation of different planting method for sugarcane for khuzestan region. Agric. Mech. Sys. Res. 20(72), 73-90. [in Persian with English Summary].

Monika, M., Sadaf, I., Zahida, R., Tahir, S., Kanth, R.H., Saad, A.A., and Aashq, H., 2018. Production technology of saffron for enhancing productivity. J. Pharmacogn. Phytochem. 7(1), 1033-1039.

Monjezi, N., Sheikhdavoodi, M. J., Zakidizaji, H., Marzban, A., and Shomeili, M., 2017. Identifying and prioritizing the effective parameters on lack of timeliness of operations of sugarcane production using Analytical Hierarchy Process (AHP). J. Agric. Mach. 7(2), 514-526. [in Persian with English Summary].

Rashid Sorkhabadi, M., Shahidi, A., and Khashei-Siuki, A., 2014. Determination of suitable region for saffron cultivation based on water and soil characteristics using hierarchical analysis process method (Case study: Torbate Hydariyeh City). J. Saffron Res. 2(1), 58-72. [in Persian with English Summary].

Rashid Sorkhabadi, M., Shahidi, A., and Khashei-Siuki, A., 2016. Determining suitable places for saffron planting using fuzzy hierarchical analysis process in the city of Torbat Heydarieh. Saffron Agron. Technol. 3(4), 261-272. [in Persian with English Summary].

Saeidirad, M.H., 2020. Mechanization of saffron production. In: Koocheki, A., Khajeh-Hosseini, B. (Eds.), Saffron: Science, Technology and Health. 1st Edition. Woodhead Publishing, pp. 187-204.

Shahidi, A., Khashei Siuki, A., and Arabi, A., 2019. Climatic zoning saffron (Crocus sativus L.) cultivation using analytical hierarchy process and analytic network process (A case study: Semnan city). J. Saffron Res. 6(2), 283-298. [in Persian with English Summary].

Journal of Saffron Research (semi-annual)

Vol.8, No.2, Fall & Winter, 2020-2021

p. 301-315

http://dx.doi.org/10.22077/jsr.2020.3521.1136

University of Birjand

Original Article:

Identification and Prioritization of the Appropriate Technologies for Saffron Corm Sorting Based on Analytical Hierarchy Process (AHP)

Bahareh Jamshidi[1*], Mohammad Hossein Saeidirad[2], Saeed Zarifneshat[2], Farzad Azadshahraki[3]

1- Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

2- Associate Professor, Agricultural Engineering Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran.

3- Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

** Corresponding author E-mail: b.jamshidi@areeo.ac.ir*

Received 04 July 2020; Accepted 18 August 2020

Abstract

Saffron is one of the most valuable spices and medicinal plants with a great economic value. Saffron corm sorting based on the size is one of the most important production processes which is effective on the crop yield. This research was conducted during 2019 and 2020 with the aim of identification and prioritization of the appropriate technologies in Iran for sorting the saffron corms. The information and technical specifications of the sorters were collected and checked. Appropriate technologies were identified through survey and specialized visits. Comparison criteria were also determined. The options belonged to three companies: 'Nardis', 'Red Gold of Iranian Golshid' and 'Seifi Industrial Group'. The criteria included 'Capacity', 'Accuracy', 'Ease of use', 'Portability', 'Number of categories', 'Sorted corms quality', 'Multitasking', 'Losses', 'Number of operators', 'Price', 'Power', and 'Maintenance cost'. To prioritize the options and select the most appropriate technology, Analytical Hierarchy Process (AHP) and weighting of the criteria and options were used in Expert Choice software. The criteria were given value based on the opinions of 20 experts with completing the questionnaire. Results indicated that 'Losses' and 'Sorted corms quality' were the most effective criteria with relative weights of 0.14 and 0.135, respectively. Moreover, 'Portability' was the least effective criteria to select the appropriate technology for saffron corms sorting with relative weight of 0.045 (Inconsistency=0.01). Performance sensitivity analysis showed that 'Nardis' sorter is preferable to the other two sorters in terms of 'Number of operators', 'Price', and 'Power'. Moreover, 'Red Gold of Iranian Golshid' sorter is preferable to the other two sorters in terms of 'Capacity' and 'Multitasking'. 'Seifi Industrial Group' sorter is superior to the other two sorters in terms of 'Accuracy', 'Ease of use', 'Portability', 'Number of categories', 'Losses', and 'Maintenance cost'. Based on synthesis results, 'Seifi Industrial Group' sorter based on divergent rollers technique was introduced as the most appropriate technology for saffron corm sorting.

Keywords: Corm quality, Divergent rollers technique, Multi-criteria decision making, Sensitivity analysis.