



## Determining Effective Features on Saffron Performance Using a Hybrid Genetic Algorithm-Artificial Neural Network

Parisa Kabiri Samani<sup>1\*</sup>, Mohammad Hassan Salehi<sup>2</sup>, Hamed Kaveh<sup>3</sup>, Hossein Shirani<sup>4</sup>,  
Nafiseh Yaghmaeian Mahabadi<sup>5</sup>

1. Corresponding Author, Ph.D. Student in Soil Resources Management and Land Evaluation, Dept. of Soil Science, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: [parisak69@yahoo.com](mailto:parisak69@yahoo.com)
2. Professor, Dept. of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.  
E-mail: [salehi@sku.ac.ir](mailto:salehi@sku.ac.ir)
3. Assistant Prof., Dept. of Plant Production, Faculty of Agriculture, University of Torbat Heydarieh, Torbat Heydarieh, Iran.  
E-mail: [h.kaveh@torbath.ac.ir](mailto:h.kaveh@torbath.ac.ir)
4. Professor, Dept. of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran.  
E-mail: [shirani@vru.ac.ir](mailto:shirani@vru.ac.ir)
5. Associated Prof., Dept. of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran.  
E-mail: [yaghmaeian\\_na@guilan.ac.ir](mailto:yaghmaeian_na@guilan.ac.ir)

| Article Info                                                                       | ABSTRACT                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Article type:</b><br>Full Length Research Paper                                 | <b>Background and Objectives</b><br>Saffron is one of the most important economic plants and holds significant export value in the country. To determine the relationship between saffron yield and its influence by climatic, soil, and management features, and due to the complexity of the relationships between these variables; the present study aims to investigate the capability of the hybrid Genetic Algorithm-Artificial Neural Network (GA-ANN) model to identify an appropriate subset of features affecting the saffron yield and to determine the importance of each of these features.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Article history:</b><br>Received:<br>Revised:<br>Accepted:                      | <b>Materials and Methods</b><br>This research was conducted in 100 farms (3 to 5 years old) under saffron cultivation from various provinces, including Khorasan (Razavi, North, and South), Isfahan, Chaharmahal and Bakhtiari, Gilan, Fars, and Alborz. From each farm, a composite soil sample was collected from a depth of zero to thirty centimeters and transferred to the laboratory. The physical and chemical properties of the soil were measured based on standard methods. Climatic characteristics of each region were collected from the nearest meteorological stations of the studied areas. Additionally, for each farm, a questionnaire was prepared to gather management information and determine the yield. To select an appropriate subset of features influencing saffron yield, the hybrid GA-ANN model was used. The sensitivity of the yield to changes in the soil, climate, and management features selected by the GA-ANN hybrid model was determined using the Statsoft method. |
| <b>Keywords:</b><br>Sensitivity analysis,<br>artificial neural network,<br>saffron | <b>Results</b><br>Selection of effective features on yield using Genetic Algorithm-Artificial Neural Network (GA-ANN) Among all possible combinations, the combination with 22 features that had the least error and the least number of inputs was considered the best combination. The features selected by the algorithm included: the average minimum temperature of the growth cycle, the average absolute minimum temperature of the growth cycle, the maximum relative humidity of the growth cycle, the average relative humidity of the growth cycle, the average daily sunshine hours of the growth cycle, the average temperature of the growth cycle, the                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |



temperature at the first irrigation, the average maximum relative humidity of the growth cycle, soil calcium carbonate equivalent, soil cation exchange capacity, total soil nitrogen, soil iron, zinc, and manganese, planting type, cultivation system, weed control method, irrigation system, average number of irrigation rounds per year, planting depth, average bulb weight, and planting density. The importance of the selected variables in relation to the yield was determined using the Statsoft method. All features identified as influential factors on yield in feature selection were also among the important and effective features on yield in sensitivity analysis. The most important climatic features affecting yield were, in order, the average maximum relative humidity, average temperature, minimum temperature, absolute minimum temperature during the growth cycle, and temperature at the first irrigation. Among the soil features, in order, manganese, zinc, iron, cation exchange capacity, total nitrogen, and soil calcium carbonate equivalent were the influential variables on saffron yield. In terms of management, correct irrigation management, bulb weight and density, proper planting depth, and proper weed management had a significant impact on saffron yield.

#### Conclusion

The results showed that using the hybrid artificial neural network algorithm to select and identify an appropriate subset of features affecting saffron yield among soil, climate, and management variables in the study areas, while saving time and cost, can yield more satisfactory results from pattern recognition and data processing processes. These results can have significant applications in sustainable land management and in determining the more suitable locations for saffron cultivation.

Cite this article: Kabiri Samani, Parisa, Salehi, Mohammad Hassan, Kaveh, Hamed, Shirani, Hossein, Yaghmaeian Mahabadi, Nafiseh. 2025. Determining Effective Features on Saffron Performance Using a Hybrid Genetic Algorithm-Artificial Neural Network. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*,



# تعیین ویژگی‌های موثر بر عملکرد زعفران با استفاده از الگوریتم ترکیبی ژنتیک - شبکه

## عصبی مصنوعی

پریسا کبیری سامانی<sup>۱\*</sup>، محمدحسن صالحی<sup>۲</sup>، حامد کاوه<sup>۳</sup>، حسین شیرانی<sup>۴</sup>، نفیسه یغمائی‌ان مهبادی<sup>۵</sup>

۱. نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری مدیریت منابع خاک و ارزیابی اراضی دانشگاه شهرکرد. شهرکرد. ایران.

رایانامه: [parisak69@yahoo.com](mailto:parisak69@yahoo.com)

۲. استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد. شهرکرد. ایران. رایانامه: [salehi@sku.ac.ir](mailto:salehi@sku.ac.ir)

۳. استادیار گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربت حیدریه. تربت حیدریه. ایران. رایانامه: [h.kaveh@torbath.ac.ir](mailto:h.kaveh@torbath.ac.ir)

۴. استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر رفسنجان. رفسنجان. ایران. رایانامه: [shirani@vru.ac.ir](mailto:shirani@vru.ac.ir)

۵. دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان. رشت. ایران. رایانامه: [yaghmaeian\\_na@guilan.ac.ir](mailto:yaghmaeian_na@guilan.ac.ir)

| اطلاعات مقاله                           | چکیده                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| نوع مقاله:                              | سابقه و هدف:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| مقاله کامل علمی - پژوهشی                | زعفران یکی از مهم‌ترین گیاهان اقتصادی و دارای اهمیت صادرات در کشور می‌باشد. جهت تعیین ارتباط عملکرد زعفران و تأثیرپذیری آن از ویژگی‌های اقلیمی، خاکی و مدیریتی، و بدلیل پیچیدگی زیاد روابط بین این متغیرها، بررسی قابلیت مدل ترکیبی الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی (GA-ANN) برای شناسایی یک زیر مجموعه مناسب از ویژگی‌های موثر بر عملکرد گیاه زعفران و نیز تعیین میزان اهمیت هر یک از این ویژگی‌ها (آنالیز حساسیت) اهداف پژوهش حاضر می‌باشد.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۴                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۲/۳۱                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۰۵                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| واژه‌های کلیدی:                         | مواد و روش‌ها:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| آنالیز حساسیت، شبکه عصبی مصنوعی، زعفران | این پژوهش در ۱۰۰ مزرعه (مزارع ۳ تا ۵ ساله) زیر کشت زعفران از استان‌های مختلف خراسان (رضوی، شمالی و جنوبی)، اصفهان، چهارمحال بختیاری، گیلان، فارس و البرز اجرا گردید. از هر کدام از مزارع، یک نمونه مرکب خاک از عمق صفر تا سی سانتی متری، جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل شدند. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک براساس روش‌های استاندارد اندازه گیری شد. ویژگی‌های اقلیمی هر منطقه از نزدیک‌ترین ایستگاه مناطق مورد مطالعه جمع آوری گردید. هم‌چنین، برای هر مزرعه یک پرسش‌نامه به منظور جمع‌آوری اطلاعات مدیریتی و تعیین مقدار عملکرد تهیه شد. به منظور انتخاب یک زیرمجموعه مناسب از ویژگی‌های موثر بر عملکرد زعفران، از مدل ترکیبی الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی (GA-ANN) استفاده گردید. میزان حساسیت عملکرد نسبت به تغییرات ویژگی‌های خاک، اقلیم و مدیریت انتخاب شده توسط مدل ترکیبی GA-ANN به روش استات سافت (Statsoft) تعیین شد. |
|                                         | یافته‌ها:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|                                         | در انتخاب ویژگی‌های موثر بر عملکرد با استفاده از الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی از                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

بین همه‌ی ترکیب‌های ممکن، ترکیبی با ۲۲ ویژگی که کمترین خطا با کمترین تعداد ورودی را داشت، به عنوان بهترین ترکیب در نظر گرفته شد. ویژگی‌های انتخاب شده به وسیله الگوریتم شامل میانگین دمای حداقل چرخه رشد، میانگین دمای حداقل مطلق چرخه رشد، حداکثر رطوبت نسبی چرخه رشد، میانگین رطوبت نسبی چرخه رشد، میانگین ساعات آفتابی هر روز چرخه رشد، میانگین دمای چرخه رشد، دما در اولین آبیاری، میانگین حداکثر رطوبت نسبی چرخه رشد، کربنات کلسیم معادل خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، نیتروژن کل خاک، آهن، روی و منگنز قابل استفاده (عصاره گیری شده با DTPA) در خاک، نوع کاشت، سیستم پرورش، روش مبارزه با علف هرز، سیستم آبیاری، میانگین تعداد نوبت آبیاری در سال، عمق کاشت، میانگین وزن پیاز و تراکم کاشت می‌باشند. اهمیت متغیرهای انتخاب شده در ارتباط با مقدار عملکرد، به روش استات سافت (Statsoft) مشخص شد. تمامی ویژگی‌هایی که در انتخاب ویژگی به عنوان عوامل موثر بر عملکرد شناخته شده بودند با آنالیز حساسیت هم جزو ویژگی‌های مهم و موثر بر عملکرد بودند. مهم‌ترین ویژگی‌های اقلیمی موثر بر عملکرد به ترتیب، شامل میانگین حداکثر رطوبت نسبی، میانگین دما، دمای حداقل، دمای حداقل مطلق در چرخه رشد و دما در اولین آبیاری بود. از میان ویژگی‌های خاکی، به ترتیب، منگنز، روی، آهن قابل استفاده (عصاره گیری شده با DTPA)، ظرفیت تبادل کاتیونی، نیتروژن کل و کربنات کلسیم معادل خاک از متغیرهای موثر بر عملکرد گیاه زعفران بودند. از نظر مدیریت، به ترتیب، مدیریت صحیح آبیاری، وزن و تراکم پیاز زعفران، رعایت عمق مناسب کشت و مدیریت صحیح علف‌های هرز، تاثیر بسزایی بر عملکرد زعفران داشتند.

#### نتیجه گیری:

نتایج نشان داد که الگوریتم هیبرید شبکه عصبی مصنوعی می‌تواند یک زیر مجموعه مناسب از ویژگی‌های موثر بر عملکرد زعفران را از میان متغیرهای خاک، اقلیم و مدیریت در مناطق مطالعاتی، انتخاب و شناسایی کند. این نتایج می‌تواند در مدیریت پایدار اراضی و نیز تعیین محل مناسب‌تر برای کشت زعفران، کاربرد بسزایی داشته باشد.

---

استناد: کبیری سامانی، پریسا، صالحی، محمد حسن، کاوه، حامد، شیرانی، حسین، یغمائیان مهابادی، نفیسه، (۱۴۰۴). تعیین ویژگی‌های موثر بر عملکرد زعفران با استفاده از الگوریتم ترکیبی ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار،

DOI: -----



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

#### مقدمه

زعفران (*Crocus sativus* L.) گیاهی چند

ساله و علفی از خانواده زنبقیان است که با ارزش‌ترین و

گران‌ترین ادویه در دنیا محسوب می‌شود (۱) و به دلیل داشتن سه ترکیب فعال زیستی اصلی: کروسین، پیکروکروسین و ساfranال برای سلامتی انسان مفید می‌باشد (۲). با وجود این که ایران یکی از مهم‌ترین تولیدکنندگان زعفران در دنیا محسوب می‌شود و بیشترین سطح زیر کشت و تولید را در دنیا دارا می‌باشد (۳) اما مقدار عملکرد آن در مقایسه با سایر کشورهای تولید کننده بسیار پایین است (۴). بررسی تغییرات سطح زیر کشت و عملکرد زعفران در طی سال‌های گذشته نشان می‌دهد علی‌رغم آن‌که سطح زیر کشت زعفران در ایران از روند صعودی برخوردار بوده ولی عملکرد این محصول در مزارع، روندی نزولی داشته است، به نحوی که در فاصله سال‌های ۱۳۵۲ تا ۱۴۰۰ از روند کاهشی برخوردار بوده و میانگین آن از ۵/۷۶ کیلوگرم در هکتار در سال ۱۳۵۲ به ۲/۷۲ کیلوگرم در هکتار در سال ۱۴۰۰ رسیده است (۵).

متخصصان الگوها و روش‌های مختلفی برای بررسی ارتباط عملکرد و ویژگی‌های خاکی و محیطی محصول ارائه و گزارش نموده‌اند. برخی از پژوهشگران از هم‌بستگی خطی ساده عملکرد با متغیرهایی نظیر ویژگی‌های خاک استفاده کرده‌اند (۶) اما نتایج چنین پژوهش‌هایی از مزرعه‌ای به مزرعه دیگر و از یک سال به سال دیگر تغییر می‌کند. بسیاری از پژوهش‌های دیگر، با روش‌های رگرسیون چند متغیره خطی به تخمین عملکرد پرداخته‌اند (۷ و ۸). عملکرد گیاه تابعی از عوامل مختلف گیاهی، اقلیمی، شرایط مدیریتی و آب و خاک است. از این رو محاسبه مقدار عملکرد گیاه و شاخص‌های وابسته به آن از روابط غیر خطی پیچیده‌ای تبعیت می‌کند که مدل‌سازی آن نیز دشواری خاصی دارد. امروزه استفاده از شبکه‌های عصبی یکی از راهکارهای قابل توصیه به منظور محاسبه عملکرد مطرح می‌شود. الگوریتم هوش مصنوعی در زمره روش‌های جدید غیر خطی قرار دارند. شبکه‌های عصبی مصنوعی، با پردازش داده‌های تجربی، قانون نهفته در ورای

داده‌ها را به ساختار شبکه منتقل می‌کنند. در شرایطی که تنوع داده‌ها زیاد و روابط و اثرات متقابل مبهم و پیچیده باشد، شبکه‌های عصبی مصنوعی کارگشا خواهند بود (۹). به عبارت دیگر، در فرآیند پردازش داده‌ها، وارد کردن ویژگی‌های غیرضروری و غیرمرتبط با مسئله مورد نظر، می‌تواند منجر به کاهش دقت و پیچیدگی بیش از حد آن گردد (۱۰). در واقع، انتخاب یک زیرمجموعه مناسب از ویژگی‌های مرتبط با هدف مورد نظر بسیار مهم است، به گونه‌ای که زیرمجموعه گفته شده، علاوه بر کسب نتایج کارآمدتر، در مواردی باعث افزایش دقت پردازش داده‌ها نیز شده است (۱۱). تا کنون روش‌های متعددی برای انجام فرآیند انتخاب ویژگی، مورد پژوهش و ارزیابی واقع شده‌اند. الگوریتم ژنتیک (GA) یکی از روش‌های مورد استفاده در این ارتباط می‌باشد که از جمله روش‌های توانمند بهینه سازی غیرخطی الهام گرفته از فرآیندهای زیستی است و در مواردی که تابع هدف، ناپیوسته، غیرخطی، غیرقابل مشتق گیری و شامل مقادیر بهینه موضعی باشد، استفاده می‌شود.

با توجه به اهمیت گیاه زعفران و با توجه به بحث کم آبی و خشک‌سالی در کشور و نیاز آبی کم این گیاه، مسلماً هر گونه بررسی و پژوهش در تمامی زمینه‌هایی که آثار مثبتی بر کمیت و کیفیت این محصول داشته و روش‌های مناسب را برای پرورش بهینه این گیاه فراهم کند اهمیت ویژه‌ای در مدیریت پایدار و نیز اقتصاد مقاومتی دارد. با توجه به شرایط اقتصادی و صادرات، در حال حاضر تنها مزارعی مقرون و به صرفه هستند که حداکثر عملکرد را در واحد سطح تولید می‌نمایند. بنابراین، توسعه زراعت این گیاه باید با توجه به ظرفیت‌های محیطی منطقه باشد تا بتوان از پتانسیل‌های نهفته آن حداکثر استفاده را نمود. با توجه به تعداد زیاد ویژگی‌های موثر بر عملکرد گیاه و پیچیدگی زیاد روابط بین این متغیرها، این پژوهش با هدف بررسی قابلیت

ترکیبی ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی (GA-ANN)<sup>۱</sup> و به منظور شناسایی یک زیر مجموعه مناسب از ویژگی‌های موثر بر عملکرد گیاه زعفران و تعیین میزان اهمیت هریک از ویژگی‌های موثر بر عملکرد (آنالیز حساسیت) در استان‌های خراسان (رضوی، شمالی و جنوبی)، اصفهان، چهارمحال بختیاری، گیلان، فارس و البرز با شرایط اقلیمی و خاکی متنوع انجام گردید.

## مواد و روش‌ها

**معرفی مناطق مورد مطالعه:** مناطق مورد مطالعه، مزارع ۳ تا ۵ ساله زیر کشت زعفران در استان‌های خراسان (رضوی، شمالی و جنوبی)، اصفهان، چهارمحال بختیاری، گیلان، فارس و البرز می‌باشند. در این پژوهش، ۱۰۰ مزرعه به گونه‌ای انتخاب شدند که طیف قابل قبولی از نحوه مدیریت، خاک و اقلیم را در کشور شامل شوند. از هر کدام از مزارع یک نمونه مرکب خاک از عمق صفر تا سی سانتی متری، جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل شد.

ویژگی‌های اقلیمی هر منطقه (۱۷ ویژگی) در چرخه رشد زعفران شامل؛ میانگین حداکثر سرعت باد، میانگین سرعت باد، میانگین دمای حداکثر، میانگین دمای حداکثر مطلق، میانگین حداقل دمای حداکثر، میانگین دمای حداقل، میانگین دمای حداقل مطلق، مجموع بارش، تعداد روزهای همراه با بارندگی، حداقل رطوبت نسبی، حداکثر رطوبت نسبی، میانگین رطوبت نسبی، میانگین ساعات آفتابی هر روز، میانگین دما، میانگین حداکثر رطوبت نسبی، میانگین حداقل رطوبت نسبی و میانگین دمای اولین آبیاری که از ایستگاه‌های نزدیک مناطق مورد مطالعه جمع‌آوری شد. هم‌چنین با مراجعه حضوری به مزارع مطالعاتی و از طریق پرسش‌نامه، اطلاعات مهم شامل مقدار عملکرد در سال جاری، تاریخ شروع برداشت، تعداد دفعات و نوع آبیاری، مساحت مزرعه، سن مزرعه، میزان کود دهی، نوع

کود، وزن اولیه پیاز زعفران در زمان کاشت، تراکم کشت، نحوه کشت زعفران، روش مبارزه با علف هرز و نوع سم مصرفی جمع‌آوری گردید.

**تجزیه‌های آزمایشگاهی:** نمونه‌های خاک بعد از انتقال به آزمایشگاه هوا خشک و با چکش چوبی خرد و از آن الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. برای این منظور، بافت خاک به روش هیدرومتری (۱۲)، نیتروژن کل خاک با روش کج‌لدال (۱۳)، کربن آلی با روش اکسایش‌تر (۱۴)، پتاسیم قابل دسترس با استفاده از عصاره گیر استات آمونیوم ۱ نرمال (۱۵)، فسفر قابل دسترس با استفاده از روش اولسن (۱۶)، عناصر کم مصرف (مس، منگنز، روی و آهن قابل استفاده) با استفاده از DTPA (۱۷)، ظرفیت تبادل کاتیونی با استفاده از استات سدیم ۱ نرمال (۱۸)، واکنش خاک (pH) و قابلیت هدایت الکتریکی (EC) در سوسپانسیون ۲:۱ آب به خاک و عصاره به ترتیب با استفاده از دستگاه‌های pH متر و EC متر (۱۹) اندازه‌گیری شد.

**تجزیه و تحلیل آماری:** برای انجام تحلیل‌های آماری نرم افزار Minitab 21 مورد استفاده قرار گرفت. شبکه عصبی مصنوعی نیز در نرم افزار Matlab نسخه ۲۰۱۷ اجرا گردید. در این پژوهش، از مدل ترکیبی الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی (GA-ANN) به منظور انتخاب یک زیرمجموعه مناسب از ویژگی‌های مؤثر بر عملکرد زعفران استفاده شد. برای در نظر گرفتن ویژگی‌های ورودی به مدل GA-ANN، ویژگی‌های پیشنهادی از جنبه‌های مختلف، از جمله اهمیت و چگونگی تأثیر بر عملکرد گیاه مورد بررسی قرار گرفتند؛ به گونه‌ای که پس از مرور منابع مختلف (به عنوان مثال: ۲۰ و ۲۱). در مجموع، ۵۱ متغیر مستقل (ورودی‌های مدل) و عملکرد محصول به عنوان ورودی‌های الگوریتم گفته شده، در نظر گرفته شدند. متغیرهای مستقل

در سه گروه ویژگی‌های خاکی، اقلیمی و مدیریتی قرار گرفتند.

**الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی (GA-ANN model):** در این الگوریتم، برای تولید نسل جدید از

کروموزوم‌های نسل جاری، از سه عملکرد ژنتیکی انتخاب، تقاطع و جهش استفاده شد. ویژگی‌های استفاده شده برای الگوریتم ژنتیک توسعه داده شده در پژوهش حاضر، در جدول ۱ نشان داده شده‌اند.

جدول ۱- مولفه‌های مدل الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی.

**Table 1. Parameters of the genetic algorithm (GA-ANN model).**

| تعداد جمعیت   | تعداد تکرار  | نرخ تقاطع      | نرخ جهش       | احتمالات سه عملکرد تلفیق استفاده شده |                          |                        |
|---------------|--------------|----------------|---------------|--------------------------------------|--------------------------|------------------------|
| Population no | Iteration no | Crossover rate | Mutation rate | Compound operator                    |                          |                        |
|               |              |                |               | تلفیق تک نقطه‌ای                     | تلفیق دو نقطه‌ای         | تلفیق یکنواخت          |
|               |              |                |               | One-point crossover pro.             | Two-point crossover pro. | Uniform crossover pro. |
| 50            | 100          | 0.8            | 0.02          | 0.2                                  | 0.1                      | 0.8                    |

در این پژوهش، از یک شبکه عصبی پیش خور چند لایه (Multi-Layer Perceptron: MLP) که از طریق پس انتشار (Back-propagation) آموزش دیده بود و ویژگی‌های آن در جدول ۲ آورده شده است، استفاده شد.

پس انتشار یک روش سیستماتیک برای آموزش شبکه‌های عصبی با هدف کاهش خطا است (۲۲). هم‌چنین برای بهبود عملکرد مدل، نرمال سازی داده‌ها از طریق تبدیل خطی انجام شد.

جدول ۲- ویژگی‌های شبکه عصبی مصنوعی چند لایه مورد استفاده در پژوهش حاضر.

**Table 2. Characteristics of the multi-layer perception (MLP) neural network used in this research.**

| تابع انتقال در لایه خروجی             | تابع انتقال در لایه پنهان             | الگوریتم آموزش      | تعداد نوروها در لایه | تعداد لایه‌های    |
|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|----------------------|-------------------|
| Transfer function in the output layer | Transfer function in the hidden layer | Training algorithm  | Epoch no.            | Hidden layers no. |
| Linear                                | Tansig                                | Levenberg-Marquardt | 500                  | 10                |
|                                       |                                       |                     |                      | 1                 |

**آنالیز حساسیت:** در این پژوهش، به منظور میزان حساسیت عملکرد نسبت به تغییرات ویژگی‌های خاک، اقلیم و مدیریتی انتخاب شده توسط مدل ترکیبی GA-ANN از روش استات سافت (Statsoft) استفاده شد. خلاصه مراحل انجام شده به صورت زیر می‌باشد:

مناسب‌ترین ساختار و عملکرد در مدل، مقدار شاخص خطا ( $MSE_2$ ) در این حالت نیز تعیین می‌شود. از نسبت شاخص خطا در حالت دوم (حذف یک ویژگی ورودی) به حالت اول (حضور تمام ورودی‌ها)، مقدار حساسیت خروجی نسبت به متغیر ورودی مورد نظر محاسبه می‌شود.

$$Sensitivity = \frac{MSE_2}{MSE_1} \quad (1)$$

ابتدا مدل با تمام متغیرهای ورودی ایجاد و پس از رسیدن به بهترین عملکرد با کمترین خطا، مقدار شاخص خطا ( $MSE_1$ ) محاسبه شده و در نظر گرفته می‌شود. سپس، یک متغیر ورودی معین، حذف شده و مدل دوباره با سایر ویژگی‌های ورودی ایجاد می‌شود. پس از رسیدن به

اگر مقدار ضریب حساسیت برای یک متغیر ورودی بیشتر از یک باشد، آن متغیر سهم قابل توجهی در عملکرد مدل و خروجی آن دارد. اگر این نسبت از یک کمتر باشد، بدین

معنی است که خطا در غیاب ویژگی ورودی کمتر از خطا در حضور آن است (۲۲).

### نتایج و بحث

خلاصه‌ای از توصیف‌های آماری مربوط به ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در جدول ۳ نشان داده شده است. میانگین عملکرد در مناطق مورد مطالعه، حدود ۶/۴۳ کیلوگرم در هکتار است. مقدار عملکرد با ضریب تغییرات ۳۶/۲۲ درصد از تنوع قابل قبولی برخوردار است (جدول ۳). براساس گروه بندی ویلدینگ و درس (۱۹۸۳)، مقدار pH، وزن مخصوص ظاهری و سن مزرعه دارای تغییرات کم (ضریب تغییرات کمتر از ۱۵ درصد)، کربنات کلسیم معادل، درصد شن و مقدار مس خاک، عمق کاشت پیاز و میانگین وزن پیازکشت شده دارای تغییرات متوسط (بین ۱۵ و ۳۵ درصد) و بقیه متغیرها دارای تغییرات زیاد می‌باشند (ضریب تغییرات بیشتر از ۳۵ درصد) (۲۳). در بین ویژگی‌های خاکی اندازه‌گیری شده، کم‌ترین درصد ضریب

تغییرات مربوط به pH خاک ۲/۶۵ درصد بود. آهکی بودن بیشتر خاک‌های مناطق و خاصیت بافری بالای این خاک‌ها را می‌توان دلیلی بر پایین بودن ضریب تغییرپذیری واکنش آن‌ها بیان کرد بر خلاف pH خاک، EC بالاترین ضریب تغییرپذیری را شامل شد. به طور کلی، ضریب تغییرات به-دست آمده برای اغلب ویژگی‌های خاک (جدول ۳) بالا می‌باشد در واقع، نقاط نمونه‌برداری به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که اثر احتمالی هر کدام از ویژگی‌های خاک بر عملکرد قابل بررسی و ارزیابی باشد.

جدول ۳- خلاصه ای از وضعیت آماری ویژگی‌های خاکی و مدیریتی مورد بررسی در مناطق مطالعاتی.

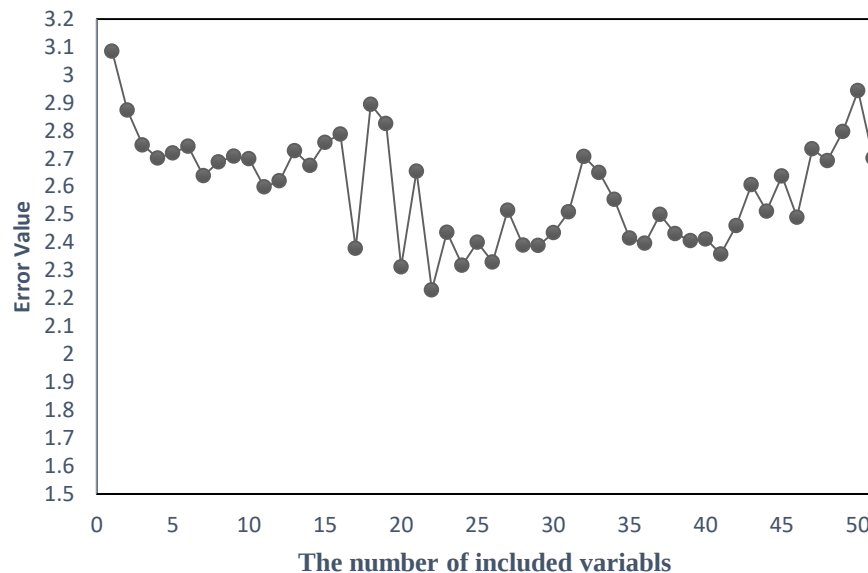
Table 3. Summary of descriptive statistics of investigated features in the study area.

| متغیر<br>Variable                              | حدافل<br>Minimum | حداکثر<br>Maximum | میانگین<br>Mean | انحراف معیار<br>Standard deviation | ضریب تغییرات<br>Coefficient of variance % | چولگی<br>Skewness | کشیدگی<br>kurtosis |
|------------------------------------------------|------------------|-------------------|-----------------|------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------|--------------------|
| عملکرد (kg.ha <sup>-1</sup> )                  | 3.10             | 12.00             | 6.43            | 2.32                               | 36.22                                     | 0.84              | -0.16              |
| PH                                             | 7.30             | 8.37              | 7.95            | 0.21                               | 2.65                                      | -0.87             | 0.56               |
| هدایت الکتریکی (dS.m <sup>-1</sup> )           | 0.37             | 12.30             | 1.89            | 2.32                               | 122.59                                    | 2.90              | 8.82               |
| کربنات کلسیم معادل (CaCO <sub>3</sub> %)       | 7.30             | 31.21             | 16.45           | 4.16                               | 25.32                                     | 0.41              | 1.01               |
| کربن آلی خاک (%) SOC                           | 0.2              | 3.27              | 0.89            | 0.55                               | 62.00                                     | 1.42              | 3.22               |
| شن (%) Sand                                    | 16.40            | 80.00             | 43.55           | 13.51                              | 31.02                                     | 0.44              | 0.17               |
| رس (%) Clay                                    | 2.00             | 43.64             | 19.00           | 8.06                               | 42.42                                     | 0.78              | 0.51               |
| نیتروژن کل (%) N                               | 0.015            | 0.36              | 0.10            | 0.07                               | 71.53                                     | 1.24              | 1.41               |
| فسفر قابل دسترس (ppm) P                        | 2.80             | 66.66             | 22.02           | 16.25                              | 73.80                                     | 1.11              | 0.36               |
| پتاسیم (ppm) K                                 | 75.0             | 872.0             | 256.9           | 133.8                              | 52.07                                     | 1.92              | 6.61               |
| درصد اشباع بازی (CEC (meq.100g <sup>-1</sup> ) | 10.03            | 44.66             | 19.72           | 7.18                               | 36.43                                     | 1.73              | 3.23               |
| مس (Cu <sub>DTPA</sub> (mg.Kg <sup>-1</sup> )  | 0.46             | 2.05              | 1.04            | 0.33                               | 32.23                                     | 0.95              | 0.74               |
| آهن (Fe <sub>DTPA</sub> (mg.Kg <sup>-1</sup> ) | 1.54             | 13.77             | 3.73            | 1.92                               | 51.51                                     | 2.10              | 7.43               |

|       |       |        |      |       |       |       |                                                            |
|-------|-------|--------|------|-------|-------|-------|------------------------------------------------------------|
| 6.58  | 1.69  | 37.09  | 0.27 | 0.74  | 2.06  | 0.23  | Zn <sub>DTPA</sub> (mg.Kg <sup>-1</sup> ) روی              |
| 5.01  | 2.14  | 43.54  | 2.81 | 6.46  | 16.83 | 2.54  | Mn <sub>DTPA</sub> (mg.Kg <sup>-1</sup> ) منگنز            |
| -0.76 | -0.15 | 5.85   | 0.08 | 1.53  | 1.70  | 1.32  | Bulk density (gr.cm <sup>-1</sup> ) وزن مخصوص ظاهری        |
| 5.12  | 2.04  | 112.08 | 1.48 | 1.32  | 8.00  | 0.02  | Farm area (ha) مساحت مزرعه                                 |
| 2.29  | -0.45 | 43.17  | 1.83 | 4.25  | 10.00 | 0.00  | میانگین تعداد نوبت آبیاری در سال                           |
| 1.08  | 0.74  | 16.48  | 3.27 | 19.87 | 30.00 | 15.00 | Average number of watering times per year                  |
| 1.51  | 0.72  | 25.71  | 1.90 | 7.40  | 15.00 | 4.00  | Planting dept (cm) عمق کاشت پیاز                           |
|       |       |        |      |       |       |       | میانگین وزن پیاز در هنگام کاشت (gr)                        |
|       |       |        |      |       |       |       | The average weight of saffron corm at the time of planting |
| 4.01  | 0.93  | 53.42  | 3.40 | 6.36  | 20.00 | 0.20  | تراکم کاشت پیاز در سال اول (Ton.ha <sup>-1</sup> )         |
|       |       |        |      |       |       |       | Density of saffron corm planting in the first year         |
| 0.05  | -0.06 | 14.44  | 0.55 | 3.84  | 5.00  | 3.00  | سن مزرعه هنگام نمونه برداری (year)                         |
|       |       |        |      |       |       |       | The age of the field at the time of the first sampling     |

نسبی چرخه رشد، میانگین رطوبت نسبی چرخه رشد، میانگین ساعات آفتابی هر روز چرخه رشد، میانگین دمای چرخه رشد، دما در اولین آبیاری، میانگین حداکثر رطوبت نسبی چرخه رشد، کربنات کلسیم معادل خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، نیتروژن کل خاک، آهن، روی و منگنز قابل استفاده در خاک (عصاره گیری شده با DTPA)، نوع کاشت، سیستم پرورش، روش مبارزه با علف هرز، سیستم آبیاری، میانگین تعداد نوبت آبیاری در سال، عمق کاشت، میانگین وزن پیاز و تراکم کاشت می باشند.

انتخاب ویژگی‌های موثر بر عملکرد با استفاده از الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی مصنوعی: شکل ۱ دقت الگوریتم هیبرید ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی در برآورد عملکرد، با ترکیب‌های مختلف متغیرهای ورودی (۵۲ ویژگی) را نشان می‌دهد. ترکیبی که کمترین خطا با کمترین تعداد ورودی را داشته باشد، به عنوان بهترین ترکیب در نظر گرفته می‌شود. بر این اساس از بین همه‌ی ترکیب‌های ممکن، ترکیبی با ۲۲ ویژگی (از ۵۲ ویژگی اولیه) انتخاب گردید که شامل میانگین دمای حداقل چرخه‌ی رشد، میانگین دمای حداقل مطلق چرخه رشد، حداکثر رطوبت

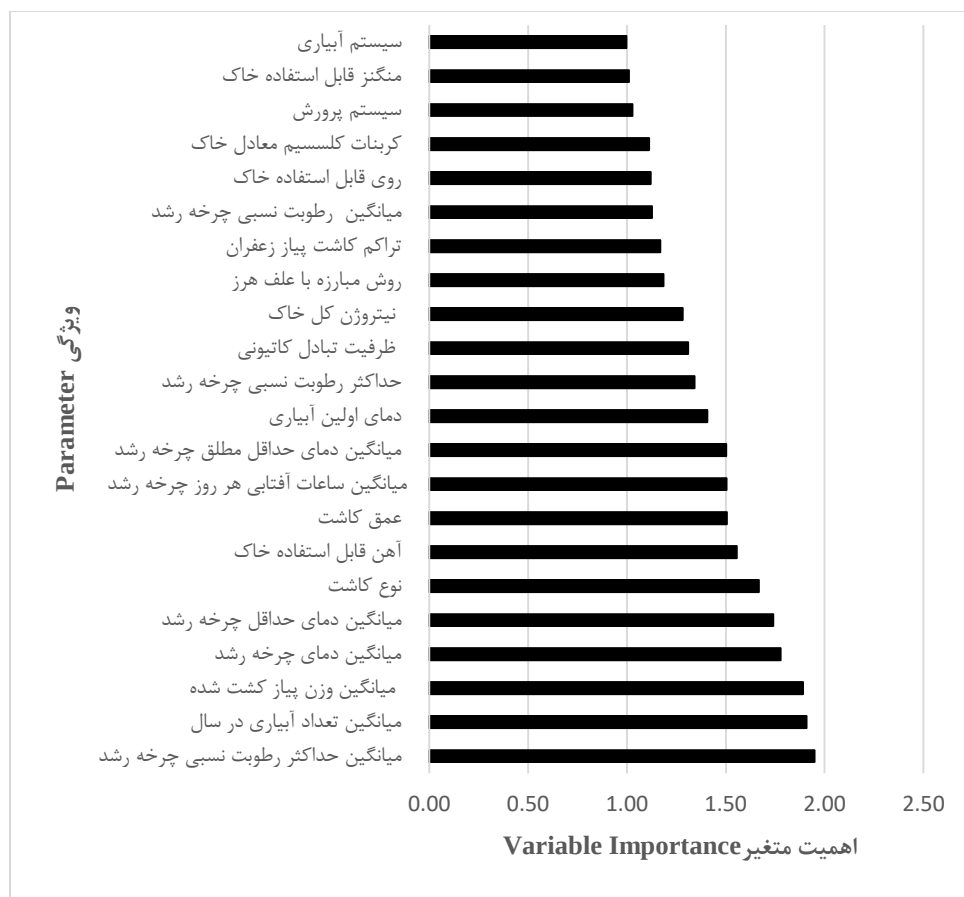


شکل ۱- مقادیر خطای بدست آمده از انتخاب ویژگی‌ها توسط الگوریتم هیبرید ژنتیک-شبکه عصبی مصنوعی در برآورد عملکرد با تعداد متغیرهای مختلف.

**Figure 1. Error values for selecting feature numbers using hybrid GA-ANN model for the prediction of saffron yield.**

آنالیز حساسیت عملکرد زعفران نسبت به متغیرهای ورودی با استفاده از روش استات سافت انجام شد و مقادیر ضریب حساسیت متغیرها محاسبه گردید. بر اساس این روش اگر مقدار ضریب حساسیت یک متغیر بیشتر از یک باشد، آن متغیر سهم به سزایی در توضیح تغییرپذیری عملکرد گیاه زعفران دارد (۲۲). شکل ۲

اهمیت متغیرهای انتخاب شده در ارتباط با مقدار عملکرد را با استفاده از آنالیز حساسیت شبکه عصبی مصنوعی نشان می‌دهد. بر اساس این روش، ضریب حساسیت نسبی برای همه‌ی ویژگی‌های انتخاب شده در انتخاب ویژگی بیشتر از یک به دست آمد. بنابراین، می‌توان عنوان کرد که هر کدام از این ویژگی‌ها تاثیر معنی‌داری بر عملکرد زعفران دارند.



شکل ۲- اهمیت نسبی متغیرهای مورد بررسی با استفاده از آنالیز حساسیت (استات سافت) شبکه عصبی مصنوعی. متغیرها شامل میانگین حداکثر رطوبت نسبی چرخه رشد، میانگین تعداد آبیاری در سال، میانگین وزن پیاز کشت شده، میانگین دمای چرخه رشد، میانگین دمای حداقل چرخه رشد، نوع کاشت، آهن قابل استفاده (عصاره گیری شده با DTPA)، عمق کاشت، میانگین ساعات آفتابی هر روز چرخه رشد، میانگین دما حداقل مطلق چرخه رشد، دمای اولین آبیاری، حداکثر رطوبت نسبی چرخه رشد، ظرفیت تبادل کاتیونی، نیتروژن کل خاک، روش مبارزه با علف هرز، تراکم کاشت پیاز زعفران، میانگین رطوبت نسبی چرخه رشد، روی، کربنات کلسیم معادل خاک، سیستم پرورش گیاه، منگنز، سیستم آبیاری.

**Figure 2. The relative importance of the investigated variables using the sensitivity analysis (Statsoft) of the artificial neural network. Features include: mean max relative humidity of growing, Average number of watering times per year, The average weight of saffron corm at the time of planting, Mean temp of growing cycle, Mean min. temp. of growing cycle, Cultivation method, Fe, Planting dept, Mean total hours of sunshine each day of growing cycle, Mean absolute min temp. of growing cycle, mean temp. at the first irrigation, Max relative humidity of growing Cycle, CEC, N, Weed control method, Density of saffron corm planting in the first year, relative humidity of growing Cycle, Zn, CaCO<sub>3</sub>, Breeding system, Mn, Irrigation system.**

مختلف جهان محدود می‌کند (۲۴). در میان عوامل مختلف انتخاب شده، رطوبت نسبی در چرخه رشد بیشترین اهمیت را به خود اختصاص داده است. این اهمیت به‌ویژه در ماه‌های مهر و آبان که زمان گل‌دهی زعفران است، بیشتر مشهود بود. میانگین دما و دمای حداقل چرخه رشد از دیگر ویژگی‌های موثر می‌باشند. تغییرات ناگهانی ویژگی‌های

بر اساس نتایج آنالیز حساسیت شکل (۲)، مهم-ترین ویژگی‌های اقلیمی موثر بر عملکرد در چرخه رشد زعفران شامل؛ میانگین حداکثر رطوبت نسبی، میانگین دما، دمای حداقل، میانگین ساعات آفتابی، دمای حداقل مطلق و دما در اولین آبیاری بود. اقلیم یکی از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده عملکرد زعفران است که توسعه کشت آن را در نقاط

اقليمی مانند دما و رطوبت می‌توانند بر الگوی پراکنش و میزان تولید زعفران مؤثر واقع شوند، به نظر می‌رسد تغییرات دما یکی از مهم‌ترین عوامل اقلیمی است که می‌تواند بر رفتار گل‌دهی و در نهایت بر تغییرات عملکرد زعفران مؤثر باشد (۲۵). دما تأثیر منفی و معنی‌داری بر عملکرد زعفران دارد. به‌طوری که با افزایش دما، میزان عملکرد زعفران کاهش می‌یابد (۲۶ و ۲۷). دمای بالا گل‌دهی را به تعویق می‌اندازد (۲۸)، تعداد گل‌ها را کاهش می‌دهد و باعث کاهش عملکرد می‌گردد (۲۷ و ۲۹). دمای حداقل در ماه‌های ظهور گل زعفران تأثیر بسیار مهمی بر عملکرد اقتصادی زعفران دارد (۳۰). هرچه کاهش دمای شب در زمان برداشت گل، بیشتر باشد، در روز بعد تعداد گل بیشتری ظاهرخواهد شد (۳۱). ساعات آفتابی یکی دیگر از ویژگی‌های مؤثر بر عملکرد زعفران بود. نتایج بشیری و همکاران (۲۰۱۴) نیز نشان داد بین مجموع ساعات آفتابی و عملکرد زعفران در استان خراسان رضوی اختلاف معنی‌داری وجود دارد، به طوری که با کاهش ساعات آفتابی در ماه اسفند، عملکرد زعفران افزایش داشت (۳۲). ویژگی مؤثر دیگر دما در اولین آبیاری بود که مرحله بحرانی آبیاری در زعفران می‌باشد که باید با توجه به دمای محیط انجام شود (۳۳). زمان اولین آبیاری عامل مهمی برای عملکرد زعفران است، زیرا رشد رویشی غالب است و اگر اولین آبیاری زودتر انجام شود، رویش گل کمتر اتفاق می‌افتد و در نتیجه عملکرد کاهش می‌یابد (۲۹).

مهم‌ترین ویژگی‌های مدیریتی مؤثر بر عملکرد زعفران به ترتیب شامل؛ تعداد دفعات آبیاری، وزن بنه مادری، نوع کاشت، عمق کاشت، دما در اولین روز آبیاری، علف‌های هرز و روش مبارزه با آن‌ها، تراکم کاشت، سیستم پرورش گیاه و نوع سیستم آبیاری می‌باشند. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های مدیریتی مؤثر بر عملکرد زعفران؛ تعداد دفعات آبیاری و نوع سیستم آبیاری بود که این موضوع بر

اهمیت ویژگی‌های آبیاری و لزوم به کارگیری تکنیک‌های آبیاری مدرن و کارآمد تاکید دارد (۷). ویژگی دیگر تراکم کاشت و وزن بنه مادری می‌باشد که تأثیر مهمی بر ویژگی‌های رشدی و عملکرد زعفران دارد و استفاده از بنه‌های مادری درشت و تراکم کاشت ۳۰۰ بنه در مترمربع، باعث افزایش عملکرد زعفران می‌گردد (۳۴). استفاده از تراکم مطلوب بنه ضمن افزایش عملکرد (۳۵)، سبب افزایش دوره بهره برداری و کاهش طول دوره بین کاشت تا اقتصادی شدن عملکرد زعفران می‌شود (۳۶). نوع کاشت و سیستم پرورش گیاه یکی دیگر از ویژگی‌های مؤثر بر عملکرد زعفران می‌باشد. در کشاورزی مرسوم، زعفران به صورت کپه‌ای کشت می‌گردد؛ که باعث رقابت بین بنه‌ها برای جذب آب و مواد غذایی می‌شود و عملکرد زعفران در سال بعد را کاهش می‌دهد. در طرح کشت آرمانی زعفران، بنه‌های سالم و استاندارد با حداقل وزن هشت‌گرم به صورت نواری و دانه تسبیحی با تراکم ۷ سانتی‌متر روی ردیف و ۲۰ سانتی‌متر بین ردیف کشت می‌گردد (۳۷). عمق کاشت نیز جز متغیرهای مهم مدیریتی بیان شده است. از جمله عوامل بسیار مهم و تأثیرگذار بر عملکرد گل و پیاز زعفران به ویژه در سال‌های ابتدایی کشت، عمق کاشت می‌باشد (۳۸). عمق کاشت مناسب، ضمن فراهم نمودن شرایط مطلوب برای خروج گل‌ها و سبز شدن گیاه، باعث حفاظت پیازها از تنش‌های مختلف محیطی چون یخ زدگی و گرما به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌شود (۲۱). کشت عمیق پیازها، در سبز شدن و خروج گل‌ها از خاک اختلال ایجاد کرده و باعث افت عملکرد می‌شود (۳۹). از دیگر متغیرهای مؤثر بر تولید محصول زعفران علف‌های هرز و روش مبارزه با آن می‌باشد. یکی از مشکلات مزارع زعفران وجود علف‌های هرز بوده که رقابتی سختی برای گیاهان زراعی هستند و از عوامل اصلی کاهش عملکرد گیاهان زراعی به حساب می‌آیند (۴۰). با توجه به توان رقابتی کم زعفران با علف‌های هرز، پیش نیاز تولید زعفران

با عملکرد و کیفیت بالا، مدیریت و کنترل علف‌های هرز می‌باشد (۴۱).

از میان ویژگی‌های خاکی، به ترتیب، مقدار منگنز، روی و آهن قابل استفاده (عصاره گیری شده با DTPA)، ظرفیت تبادل کاتیونی، نیتروژن کل و کربنات کلسیم معادل خاک از مهم‌ترین متغیرهای موثر بر عملکرد گیاه زعفران بودند. با وجود نیاز اندک گیاهان به عناصر کم مصرف، این مواد نقش اساسی در تغذیه، واکنش‌های آنزیمی فرایندهای متابولیکی و مقاومت گیاهان در برابر بیماری‌ها و شرایط نا مساعد محیطی را ایفا می‌کنند (۴۲). ویژگی موثر دیگر بر عملکرد زعفران مقدار روی در خاک می‌باشد که نقش آن در تشکیل و فعالیت هورمون‌های رشد و کلروپلاست گزارش شده است (۴۳). رنجبر و همکاران (۲۰۱۵) نیز در مطالعه بر روی زعفران در منطقه قائنات به هر دو روش PCA و رگرسیون گام به گام، مقدار روی و آهن را از مهم‌ترین ویژگی‌های تأثیرگذار بر عملکرد زعفران در مزارع قائنات بیان کردند (۲۰). در صورت کمبود آهن در سلول-های برگ، سبزینه به مقدار کافی تولید نمی‌شود و در نتیجه عمل فتوسنتز به خوبی صورت نگرفته و گیاه با افت شدید عملکرد مواجه می‌شود (۴۴). از دیگر ویژگی مهم در مدل، مقدار منگنز در خاک است. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد زعفران با فسفر، پتاسیم قابل دسترس، درصد کربن آلی خاک، آهن و منگنز گزارش گردیده است (۴۵). در برخی منابع، غلظت بهینه برای دستیابی به حداکثر عملکرد را برای آهن، روی، منگنز به ترتیب ۷/۵، ۱۰ و ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بیان کرده‌اند (۴۶). ویژگی موثر دیگر ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌ها است که به عنوان معیاری از وضعیت حاصل‌خیزی خاک به شمار می‌رود. با توجه به ارتباط بسیار نزدیک میزان درصد ذرات خاک و میزان ماده آلی با این ویژگی مهم شیمیایی خاک، افزایش این ویژگی خاک و متعاقباً افزایش میزان عملکرد

محصول نیز توجیه پذیر خواهد بود (۴۷). یکی دیگر از ویژگی‌های موثر بر عملکرد زعفران نیتروژن بوده که نقش مهمی در افزایش تولید گل و بنه‌های زعفران در واحد سطح دارد (۴۸). ویژگی مهم دیگر در مدل، درصد کربنات کلسیم معادل در خاک بوده است که می‌تواند بر جذب عناصر ضروری توسط گیاه تأثیر داشته باشد و افزایش عملکرد زعفران و تخفیف اثرات منفی تنش شوری بر این گیاه را در پی داشته باشد (۴۹).

لازم به ذکر است آنالیز حساسیت میزان اهمیت هر متغیر را آشکار می‌سازد اما چگونگی تأثیر آن را نشان نمی‌دهد. بنابراین، نتایج آنالیز حساسیت باید بر اساس دانش متخصص یا نتایج سایر مدل‌ها نظیر رگرسیون خطی برای هر ویژگی بطور جداگانه مورد تفسیر دقیق تر قرار گیرد.

### نتیجه‌گیری کلی

عملکرد زعفران تحت تأثیر عوامل مختلف اقلیمی، خاکی و هم‌چنین مدیریت مزرعه است. بر اساس نتایج این تحقیق، مهم‌ترین ویژگی‌های اقلیمی موثر بر عملکرد زعفران به ترتیب، شامل میانگین حداکثر رطوبت نسبی، میانگین دما، دمای حداقل، دمای حداقل مطلق در چرخه رشد و دما در اولین آبیاری بود. از میان ویژگی‌های خاکی، به ترتیب، مقدار منگنز، روی و آهن قابل استفاده (عصاره گیری شده با DTPA)، ظرفیت تبادل کاتیونی، نیتروژن کل و کربنات کلسیم معادل خاک از مهم‌ترین متغیرهای موثر بر عملکرد گیاه زعفران بودند. علاوه بر این، مدیریت صحیح در مرحله کاشت و داشت زعفران به ترتیب شامل مدیریت صحیح آبیاری، وزن و تراکم پیاز زعفران، رعایت عمق مناسب کشت، مدیریت صحیح علف‌های هرز، تأثیر بسزایی بر عملکرد زعفران داشت. با توجه به نتایج آنالیز حساسیت ویژگی‌های مدیریتی و اقلیمی اولویت بیشتری نسبت به ویژگی‌های خاکی داشتند؛ که بیانگر اهمیت مدیریت صحیح زارع در افزایش عملکرد می‌باشد.

این تحقیق می‌تواند اطلاعات سودمندی در رابطه با مدیریت پایدار اراضی و انتخاب محل مناسب تر جهت کشت زعفران در اختیار محققین قرار دهد.

### سپاسگزاری

با تشکر از همکاری پژوهشکده زعفران تربت حیدریه، که در این پژوهش ما را یاری نمودند.

نتایج نشان داد که استفاده از الگوریتم هیبرید شبکه عصبی مصنوعی می‌تواند زیر مجموعه مناسبی از ویژگی‌های موثر بر عملکرد زعفران، شامل متغیرهای خاک، اقلیم و مدیریت را در مناطق مطالعه شده شناسایی کند. لازم به ذکر است اگر چه به کمک آنالیز حساسیت شبکه عصبی مصنوعی، اهمیت نسبی متغیرها قابل تشخیص است اما با توجه به پیچیدگی توابع، تفسیر آن‌ها نیازمند تجربه می‌باشد. نتایج

### منابع

1. Ziyaratniya, S. M., Filabi, A., & Senobari, S. (2019). Effect of concentration of different growth regulators on onion dormancy period and saffron flower yield in hydroponic conditions. *Saffron Research*, 7(1), 43-54. [In Persian]. <https://doi.org/10.22077/jsr.2018.1839.1070>
2. Cardone, L., Castronuovo, D., Perniola, M., Cicco, N., & Candido, V. (2020). Saffron (*Crocus sativus* L.), the king of spices: An overview. *Scientia Horticulturae*, 272, 109560. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109560>
3. Shahnoushi, N., Abolhassani, L., Kavakebi, V., Reed, M., & Saghaian, S. (2020). Economic analysis of saffron production. *Woodhead Publishing*, 337-356. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818638-1.00021-6>
4. Omid, H., Naghdi Badi, H., Golzad, A., Torabi, H., & Footoukian, M.H. (2009). The effect of chemical and biofertilizer source of nitrogen on qualitative and quantitative yield of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Medicinal Plants*, 8(30), 98-109. [In Persian]. **dor: 20.1001.1.2717204.2009.8.30.11.4**
5. Zakiaghl, M., Khorramdel, S., Koocheki, A., Nabati, J., Nezami, A., Mirshamsi Kakhki, A., Mollafilabi, A., Rezvani Moghaddam, P., & Nassiri Mahallati, M. (2021). Criteria for production of standard pathogen-free saffron corms. *Saffron Agronomy & Technology*, 9(2), 121-141. [In Persian]. <https://doi.org/10.22048/jsat.2021.233.278.1401>
6. Khakural, B.R., Robert, P.C., & Huggins, D.R. (1999). Variability of corn/soybean yield and soil/landscape properties across a southwestern Minnesota landscape. In *Proceedings of the fourth international conference on precision agriculture*, 573-579. <https://doi.org/10.2134/1999.precision.agproc4.c51>
7. Pourmohammadali, B., Hosseini-fard, S. J., Salehi, M. H., Shirani, H., & Boroujeni, I. E. (2019). Effects of soil properties, water quality and management practices on pistachio yield in Rafsanjan region, southeast of Iran. *Agricultural water management*, 213, 894-902. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.12.005>
8. Bahmani, M., Mohammadi, J., Esfandiarpour Boroujeni, I., & Mottaghian, H. (2020). Assessment of relationships between rose yield and soil and topography properties using multivariate regression, artificial neural network and structure equation modeling. *Applied Soil Research*, 8(2), 142-157.
9. Schultz, A., Wieland, R., & Lutze, G. (2000). Neural networks in agroecological modelling—stylish application or helpful tool?. *Computers and Electronics in Agriculture*, 29(1-2), 73-97. [https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(00\)00137-X](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(00)00137-X)

10. Shirani, H., Habibi, M., Besalatpour, A. A., & Esfandiarpour, I. (2015). Determining the features influencing physical quality of calcareous soils in a semiarid region of Iran using a hybrid PSO-DT algorithm. *Geoderma*, 259, 1-11.  
**<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.05.002>**
11. Wu, B., Zhang, L., & Zhao, Y. (2013). Feature selection via Cramer's V-test discretization for remote-sensing image classification. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 52(5), 2593-2606. DOI:  
**<https://doi.org/10.1109/TGRS.2013.2263510>**
12. Gee, G.W., & Bauder, J.W. (1986). Particle size analysis. In: Klute, A. (ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical properties*. American Society of Agronomy. Madison. Wisconsin. 383-411.
13. Bremner, J. M., & Mulvaney, C. S. (1982). Nitrogen total. In: Page, A. L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 2*. American Society of Agronomy. Madison. Wisconsin. U.S.A. Pp: 595-624.
14. Nelson, R.E. (1982). Carbonate and gypsum. In: Prade A.L. et al. (eds.) *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. American Society of Agronomy. Madison. Wisconsin. 9.181-197.
15. Al-Kanani, T., Mackenzie, A. F., & Ross, G. J. (1984). Potassium status of some Quebec soils: K released by nitric acid and sodium tetra phenyl boron as related to particle size and mineralogy. *Canadian journal of soil science*, 64(1), 99-106. **<https://doi.org/10.4141/cjss84-009>**
16. Olsen, S. R., & Sommers, E. L. (1982). Phosphorus soluble in sodium bicarbonate. *Methods of soil analysis, part, 2*, 404-430.
17. Lindsay, W. L., & Norvell, W. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America journal*, 42(3), 421-428.
18. Page A.L., Miller, R.H., & Keeny, D.R., (1982). *Methods of soil analysis, Part 1: Chemical and microbiological properties*. Soil Science Society of America. Madison. Wisconsin, 1-12.
19. Knudsen, D., Peterson, G. A., & Pratt, P. F. (1982). Lithium, sodium, and potassium. *Methods of soil analysis: part 2 chemical and microbiological properties*, 9, 225-246.  
**<https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c13>**
20. Ranjbar, A., Emami, H., Karimi, A. R., & Khorassani, R. (2015). Determining the most important soil properties affecting the yield of saffron in the Ghayenat area. *Water and Soil*, 29(3), 673-682. [In Persian].  
**<https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.31230>**
21. Sharifi, H., Nabipour, Z., & Tavakkoli Kakhki, H. R. (2021). Evaluation of the effect of compensatory behavior of planting density, mother corm weight and planting depth on vegetative characteristics and yield of saffron (*Crocus sativus* L.). *Saffron Agronomy and Technology*, 9(3), 227-248. [In Persian].  
**<https://doi.org/10.22048/jsat.2021.272865.1420>**
22. Shirani, H., (2018). *Artificial Neural Networks with an Application in Agricultural and Natural Resource Sciences*, 2nd Ed. Press. Vali-E-Asr University of Rafsanjan. 320p. [In Persian].
23. Wilding, L.P. & Dress, L.R. (1983). Spatial variability and pedology. In Wilding, L.P., Smeckand, N.E. & Hall G.F. (eds.), *Pedogenesis and Soil Taxonomy: Concepts and Interactions*. Elsevier Science Pub. 83-116.
24. Bayat, M., Rahimi, M., & Ramezani, M. (2016). Determining the most effective traits to improve saffron (*Crocus sativus* L.) yield. *Physiology and molecular biology of plants*, 22, 153-161.

- <https://doi.org/10.1007/s12298-016-0347-1>
25. Nassiri Mahallati, M., & Koocheki, A., (2019). Yield monitoring for wheat and sugar beet in Khorasan province: 1- Analysis of methods for estimating potential yield. *Journal of Agroecology*, 16(4), 723-741. [In Persian]. <http://dx.doi.org/10.22067/gsc.v16i4.62556>
  26. Vafaei, M., Ziaei, S., Mohammadi, H., & Borazjani, M.A., (2024). Spatial analysis of the impact of climate change on saffron yield (case study of the cities of Khorasan Razavi Province, North and South). *Journal of Agricultural Economics Researches*. 16(2). 91. [In Persian]. <https://doi.org/10.30495/jae.2024.29492.2307>
  27. Koocheki, A., & Khajeh-Hosseini, M. (Eds.). (2020). *Saffron: science, technology and health*. Woodhead Publishing. 563p.
  28. Rashed-Mohassel, M. H. (2020). Evolution and botany of saffron (*Crocus sativus* L.) and allied species. In A. Koocheki & M. Khajeh-Hosseini (Eds.), *Saffron: science, technology and health*. Elsevier. 37-55. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818638-1.00004-6>.
  29. Pirasteh-Anosheh, H., Hashemi, S. E., Del Borghi, A., Spasiano, D., Rad, M., & Race, M. (2022). Feasibility study of saffron cultivation using a semi-saline water by managing planting date, a new state-ment. *Environmental Research*, 203, 111853. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111853>
  30. Koozegaran S., Mousavi Baygi, M., Sanaeinejad, H., & Behdani, M. (2011). Study of the minimum, average and maximum temperature in South Khorasan to identify relevant areas for saffron cultivation using GIS. *Soil and Water*, 25, 892-904. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.10257>
  31. Molina, R. V., García-Luis, A., Coll, V., Ferrer, C., Valero, M., Navarro, Y., & Guardiola, J. L. (2004). Flower formation in the saffron crocus (*Crocus sativus* L.). The role of temperature. *Acta Horticulturae*, 39-48. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.650>.
  32. Bashiri, M., Seyyidi, S.M., & Tosan, M., (2014). The effect of the number of sunshine hours on saffron yield in Khorasan Razavi Province. *third national ranking of the latest scientific and saffron rankings in 2014*, National Article. <http://irdoi.ir/532-012-714-456>
  33. Hashemi, S. E., Madahhosseini, S., Pirasteh-Anosheh, H., Sedaghati, E., & Race, M. (2022). The role of nitrogen in inducing salt stress tolerance in crocus sativus L.: Assessment based on plant growth and ions distribution in leaves. *Sustainability*, 15(1), 567. <https://doi.org/10.3390/su15010567>
  34. Aminifard, M.H., Shakeri, M., Behdani, M.A., & Tabatabaei, S.J., (2022). Effect of Height Plant Density and Corm Weight on Vegetative, Reproductive and Photosynthetic Pigments of Saffron (*Crocus sativus* L.). *Saffron Research*, 10(1), 1-13.[In persian] <https://doi.org/10.22077/jsr.2018.1579.1061>
  35. Parsapour, F., Moghaddam, P. R., & Khorramdel, S. (2020). Optimizing the effect of mother corm and urban waste compost levels on flower and corm yield of saffron using surface-response modeling in the first year. *Saffron Agronomy & Technology*, 8(2), 165-184. [In Persian]. <https://doi.org/10.22048/jsat.2019.184094.1350>
  36. Tavakkoli-Kakhki, H.R., Sharifi, H.R., & Nabipour, Z., (2020). Assessment of the effects of plant density, vegetation covering, and shading on regulation of soil temperature and yield of saffron (*Crocus sativus* L.). *Saffron Agronomy and Technology*, 8 (4), 527-542. [In Persian].

- <https://doi.org/10.22048/jsat.2020.232941.1397>
37. MAJ (Ministry of Agriculture Jihad of the I.R. of Iran)., (2018). Planning and Economics Department, Statistics Bank of Iranian Agriculture. <http://www.maj.ir/english/Statistic/Default>.
  38. Yarami, N., & Sepaskhah, A. R. (2015). Saffron response to irrigation water salinity, cow manure and planting method. *Agricultural Water Management*, 150, 57-66. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2014.12.004>
  39. Koocheki, A., & Seyyedi, S. M. (2019). Mother corm origin and planting depth affect physiological responses in saffron (*Crocus sativus* L.) under controlled freezing conditions. *Industrial Crops and Products*, 138, 111468. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111468>
  40. Nadeem, M. A., Tanveer, A., Naqqash, T., Jhala, A. J., & Mubeen, K. (2013). Determining critical weed competition periods for black seed. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 23(1), 216-221.
  41. Molafylaby, A. (2000). Modern agricultural production of Saffron. Industrial & Scientific Publications Research Organization of Iran-Central Khorasan, in the Saffron (*Crocus sativus* L.). The Role of Temperature. *Acta Horticulture*.39-48.
  42. Patil, B. C., Hosamani, R. M., Ajjappalavara, P. S., Naik, B. H., Smitha, R. P., & Ukkund, K. C. (2010). Effect of foliar application of micronutrients on growth and yield components of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 21(3).
  43. Behnia M. (1992). Agronomy of saffron. Tehran University press. 300p. [In Persian].
  44. Kabala, C., & Singh, B.R., (2001). Fractionation and mobility of copper, lead and zinc in soil profiles in the vicinity of copper smelter. *Journal of environmental quality*. 30(2) 485–492. <https://doi.org/10.2134/jeq2001.302485x>.
  45. Shirmardi, M., Hayatzadeh, M., Ghaneei Bafghi, M., Hemat, N., & Fooladi Doghzloo, M. (2024). Soil Fertility Assessment in Saffron Cultivated Fields (Case Study: in Bahabad city, Yazd province). *Journal of Soil and Plant Relations-Isfahan University of Technology*, 15(3), 25-26. [In Persian].
  46. Moshiri, F., Balali, M. R., Rejali, F., & Sedaghat, A. (2022). A framework for integrated soil fertility and plant nutrition management in Iran. *Land Management Journal*, 10(1), 17-35. [In Persian].  
**doi:10.22092/lmj.2022.124054.**
  47. Shukla, M.K., Lal, R., & Ebinger, M. (2004). Principal component analysis for Predicting corn biomass and grain yields. *Soil Science*, 169: 215-224. <https://doi.org/10.1097/01.ss.0000122521.03492.eb>
  48. Koocheki, A., & Seyyedi, S. M. (2015). Relationship between nitrogen and phosphorus use efficiency in saffron (*Crocus sativus* L.) as affected by mother corm size and fertilization. *Industrial Crops and Products*, 71, 128-137. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.03.085>
  49. Esmailian, Y. & Sedaghat, S., (2011). Evaluation of the effect of calcium carbonate application in alleviating the negative effects of salinity stress on saffron (*Crocus sativus* L.) in Gonabad region, *Sixth National Saffron Conference*, Gonabad. [In Persian].

