



مقاله پژوهشی

پیش‌بینی عملکرد زعفران بر مبنای خصوصیات خاک با استفاده از مدل‌های رگرسیونی و شبکه-های عصبی مصنوعی در منطقه وامان استان گلستان

فاطمه تشکری^۱، علی محمدی ترکشوند^{۲*}، عباس احمدی^۳ و مهرداد اسفندیاری^۲

تاریخ دریافت: ۳۱ تیر ۱۳۹۹ تاریخ پذیرش: ۸ دی ۱۳۹۹

تشکری، ف.، محمدی ترکشوند، ع.، احمدی، ع.، و اسفندیاری، م. ۱۴۰۰. پیش‌بینی عملکرد زعفران بر مبنای خصوصیات خاک با استفاده از مدل‌های رگرسیونی و شبکه‌های عصبی مصنوعی در منطقه وامان استان گلستان. زراعت و فناوری زعفران، ۹(۲): ۱۷۵-۱۵۹.

چکیده

زعفران (*Crocus sativus* L.) یکی از محصولات کشاورزی با ارزش می‌باشد که فقط در مناطق محدودی از دنیا کشت می‌شود. امروزه با توجه به ارزش اقتصادی زعفران، کشاورزان زیادی بدون توجه به توانایی و قابلیت اراضی برای کشت این گیاه، صرفاً با توجه به مشابهت اقلیمی اقدام به کشت آن در برخی مناطق کشور نموده‌اند که گاهی اوقات نتایج رضایت‌بخشی در پی نداشته است. پیش‌بینی عملکرد زعفران با توجه به خصوصیات خاک می‌تواند به ارزیابی قابلیت اراضی برای کشت این گیاه ارزشمند کمک نماید. بدین منظور در یکی از مناطق جدید کشت زعفران در منطقه وامان استان گلستان، تعداد ۱۰۰ نمونه خاک برداشت و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی شامل درصد اجزای تشکیل دهنده بخش معدنی بافت خاک، عناصر غذایی فسفر و پتاسیم قابل دسترس، نیتروژن کل، شاخص واکنش خاک، هدایت الکتریکی، ماده آلی و کربنات کلسیم معادل پس از برداشت، وزن تر گل زعفران بر حسب کیلوگرم در هکتار به دست آمد. با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و ایجاد مدل‌های متفاوت با مجموعه داده‌های متفاوتی از خصوصیات خاک به عنوان ورودی و عملکرد زعفران به عنوان خروجی، توانایی این مدل در پیش‌بینی عملکرد زعفران با مدل‌های رگرسیونی مقایسه شد. بر اساس نتایج ضریب همبستگی، مؤثرترین عوامل بر عملکرد زعفران، فسفر قابل دسترس و ماده آلی بودند. بررسی نتایج مدل‌های ایجاد شده در دوره آزمون نشان داد مقادیر ضریب تبیین (R^2) از ۰/۴۵ تا ۰/۸۹ متغیر می‌باشد. با بررسی مدل‌های برتر می‌توان نتیجه‌گیری نمود که مدل بهینه در برآورد عملکرد زعفران وقتی به دست آمد که فسفر، ماده آلی، آهک و پتاسیم ورودی‌های مدل بودند و مقادیر R^2 و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) آن نیز به ترتیب برابر ۰/۸۷۴ و ۰/۹۹۶ کیلوگرم بر هکتار به دست آمدند.

کلمات کلیدی: عملکرد زعفران، بافت خاک، پرسپترون چند لایه، فسفر، گلستان

۱- دانش‌آموخته دکترا، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲- دانشیار، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۳- دانشیار، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز
(نویسنده مسئول: m.torkashvand54@yahoo.com)

مقدمه

زعفران (*Crocus sativus* L.) به عنوان گیاهی علفی و چندساله، به خانواده زنبقیان تعلق دارد و از با ارزش‌ترین و گران‌بهاترین گونه‌های گیاهان زراعی و ادویه‌ای در ایران و نقاط مختلف دنیا می‌باشد (Behdani et al., 2010). ایران بزرگ‌ترین تولیدکننده‌ی زعفران در جهان می‌باشد و قطب عمده‌ی تولید زعفران در ایران مربوط به استان‌های خراسان رضوی و جنوبی می‌باشد (Koocheki et al., 2016). عملکرد اقتصادی این گیاه مربوط به اندام زایشی یعنی کلاله‌ها می‌باشد که آغازش و تکوین خود را درون خاک می‌گذرانند و تنها بخش کوچکی از رشد خود را در سطح خاک سپری می‌کنند (Sabet Teimouri et al., 2010).

عوامل متعددی در کیفیت و مقدار عملکرد زعفران مؤثر می‌باشند به طوری که علاوه بر عوامل اقلیمی، عملکرد آن تابع وضعیت حاصلخیزی خاک نیز می‌باشد. نتایج پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد اراضی با بافت مناسب و ساختمان خاک خوب (Aghhavana Shajari et al., 2015) و سیستم تغذیه‌ای مناسب در کنار انتخاب اندازه بینه مناسب می‌تواند تا حد زیادی عملکرد آن را بهبود بخشد. بافت خاک با تأثیر بر میزان گسترش ریشه و جذب آب و مواد عناصر غذایی، وضعیت رشدی و تغذیه‌ای گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد و نقش مؤثری در رشد بینه‌ها دارد (Dole & Wilkins, 1999). اقحوانی شجری و همکاران (Aghhavana Shajari et al., 2015) در پژوهشی اثرات بافت خاک بر عملکرد گل و بینه زعفران را بررسی و گزارش کردند که کاشت زعفران در خاک دارای بافت سبک موجب بهبود رشد بینه و افزایش عملکرد گل و کلاله می‌شود. استفاده از کودهای آلی در گیاه زعفران موجب افزایش وزن تر و خشک و درصد ماده خشک بینه‌ها شده و میزان ریشه‌های بینه را افزایش می‌دهد که

در نتیجه افزایش محتوای رطوبت خاک و در نهایت رشد بهتر گیاه به دلیل افزایش دسترسی به عناصر غذایی می‌باشد (Behdani et al., 2006). تمپرینی و همکاران (Temperini et al., 2009) بیان کرد که حدود ۱۶ تا ۸۰ درصد تغییرات عملکرد گل زعفران به خصوصیات خاک از جمله مقدار ماده آلی، فسفر قابل جذب، نیتروژن معدنی و پتاسیم تبادل‌ی وابسته است. بررسی‌ها نشان داده است که بین عملکرد زعفران و مقدار ماده آلی خاک همبستگی مثبت و بالائی وجود دارد (Munshi, 1994). راشد محصل و همکاران (Rashed Mohsel et al., 2006) گزارش کردند که مصرف کافی کودهای دامی بیشترین تأثیر را بر وزن و تعداد بینه زعفران داشته است. ذبیحی و فیضی (Zabihi & Feizi, 2014) طی پژوهشی ۴ ساله با هدف بررسی عملکرد گل زعفران تحت تأثیر کودهای پتاسیم مشاهده نمودند که افزودن متناوب پتاسیم در دوره‌ی چند ساله رشد می‌تواند اثر قابل توجه و معنی‌داری بر عملکرد زعفران داشته باشد. آنها گزارش کردند که پتاسیم نقش مؤثری در افزایش تحمل گیاه به سرما، شوری و خشکی داشت.

نیتروژن از مهم‌ترین عناصر جهت افزایش عملکرد گل و بینه‌های زعفران در واحد سطح به شمار می‌رود و در داخل پیکره گیاه به عنوان عنصری متحرک شناخته شده و می‌تواند در دوره رشد گیاه و به ویژه در انتهای هر فصل، از اندام‌های هوایی به بخش زیرزمینی گیاه منتقل شود (Koocheki & Seyyedi, 2015). فسفر به عنوان دومین عنصر مهم در تغذیه گیاهی، نقش ویژه‌ای جهت انجام بسیاری از واکنش‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاهان دارد و فراهمی آن از مؤثرترین عوامل در بهبود عملکرد و کیفیت زعفران می‌باشد (Fageria et al., 2013).

شاهنده و موسوی (Shahandeh & Mousavi, 1998) با ارزیابی اثر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب و خاک بر عملکرد

بافت، کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل دسترس، پتاسیم قابل دسترس، شاخص واکنش و هدایت الکتریکی بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و عملکرد زعفران شامل وزن خشک بنه، تعداد گل، وزن تر گل و وزن خشک کلاله با استفاده از مدل رگرسیون چندگانه پرداختند. بر پایه نتایج گزارش شده مهم‌ترین عوامل شیمیایی خاک مؤثر بر وزن خشک کلاله شامل محتوی پتاسیم قابل دسترس، فسفر قابل دسترس، هدایت الکتریکی و نیتروژن کل بودند. ریاحی و همکاران (Riahi et al., 2017) در پژوهشی به پیش‌بینی عملکرد زعفران با استفاده از داده‌های اقلیمی و روش شبکه عصبی مصنوعی در خراسان جنوبی پرداختند. بر پایه نتایج به دست آمده، مدل ساخته شده با مولفه‌های تأثیرگذار اقلیمی دارای ضریب تبیین برابر ۰/۵۸ در مرحله آزمون بوده است و آن‌ها بر ضرورت استفاده از شرایط مدیریت تغذیه، کود، خاک و آب مزارع برای نیل به پیش‌بینی دقیق‌تر تأکید نمودند. بررسی تأثیر ضخامت پوشش، دما و زمان نگهداری گل زعفران بر ویژگی‌های کیفی کلاله با استفاده از شبکه عصبی بهینه شده بر مبنای الگوریتم ژنتیک توسط ثابت تیموری و همکاران (Sabet Teimouri et al., 2010) انجام شد و دمای پائین و نزدیک به صفر را بر حفظ کیفیت کلاله بسیار مؤثر ارزیابی شد. سالاری و همکاران (Salari et al., 2017) قابلیت روش‌های داده‌کاوی در برآورد عملکرد زعفران و شناسایی مناطق مستعد کشت در استان خراسان رضوی بر مبنای متغیرهای اقلیمی را مناسب ارزیابی نمودند. کوزه‌گران و همکاران (Kouzegaran et al., 2016) به منظور شناخت مناطق مستعد کشت زعفران با توجه به آمار ۲۰ ساله ایستگاه‌های هواشناسی و عملکرد زعفران در یک دوره ۱۰ ساله در خراسان جنوبی به بررسی پارامترهای هواشناسی از جمله رطوبت نسبی و بارندگی و رابطه این پارامترها بر عملکرد بوسیله آنالیز رگرسیونی و تهیه نقشه‌های رقومی پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که پارامتر بارندگی در ماه‌های آذر لغایت فروردین بر عملکرد نسبت به سایر ماه‌ها

زعفران در گناباد مشاهده نمودند که عملکرد این گیاه در مناطقی که شوری آب از ۲ دسی زیمنس بر متر بیشتر بوده است کاهش یافته است. نقی‌زاده و همکاران (Naghizadeh et al., 2014) نشان دادند که در اغلب موارد گیاه زعفران تا شوری ۶ دسی زیمنس بر متر تنش شوری را تحمل نموده و وزن خشک آن از شوری ۳ دسی زیمنس بر متر کاهش یافته است و این امر را مربوط به مکانسیم‌های تحمل به شوری نظیر تنظیم اسمزی دانسته‌اند. رستمی و همکاران (Rostami et al., 2015) در پژوهشی نشان دادند که تنش شوری تا آستانه ۲ دسی زیمنس بر متر هیچ یک از ویژگی‌های گیاه زعفران تأثیر نداشت.

شبکه‌های عصبی مصنوعی^۱ مدل‌های محاسباتی هستند که بر اساس ساختار و توابع سیستم عصبی و مغز انسان بنا نهاده شده‌اند و به طور موفقیت آمیزی در پیش‌بینی پدیده‌های اقتصادی، صنعتی، تولیدی و نیز فرآیندهای صنایع غذایی استفاده شده‌اند (Gonzalez-Fernandez et al., 2018). این شبکه‌ها بر اساس ارتباطات داخلی بسیار گسترده، همانند سیستم عصبی و مغز انسان بنا نهاده شده‌اند و جزء سیستم‌های دینامیکی می‌باشند که با پردازش داده‌های تجربی، قانون نهفته در ورای اطلاعات را به ساختار شبکه منتقل می‌کنند. این سیستم‌های هوشمند بر اساس محاسبات رویدادهای عددی و یا مثال‌ها، قوانین کلی را فرا می‌گیرند (Jain et al., 2008). امروزه از این تکنیک می‌توان در پیش‌بینی عملکرد محصولات مختلف (Singh, 2017; Niazian et al., 2018)، کارائی مصرف آب گیاهان (Tavassoli & Shirdeli, 2015)، خصوصیات کیفی میوه (Torkashvand et al., 2017)، روغن تولیدی محصولات (Gonzalez-Fernandez et al., 2018) بهره گرفت. رضوانی-مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2015) در پژوهشی به بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک شامل

۱- Artificial Neural Network (ANN)

تأثیرگذارتر بود و از نظر رطوبت نسبی، ماه‌های آبان لغایت اسفند مؤثرتر می‌باشند، همچنین مشخص شد مناطق شمال و شمال شرق، مرکزی و جنوب و جنوب غرب استان به ترتیب مناطق مستعد، نیمه مستعد و نامستعد می‌باشند.

خادم‌پور و همکاران (Khadempour et al., 2019) به ارزیابی کارایی الگوریتم تنبل در برآورد عملکرد زعفران بر اساس متغیرهای اقلیمی در بیرجند پرداختند که نتایج نشان دهنده انطباق بالای نتایج شبیه‌سازی و عملکرد اندازه‌گیری شده بود. اکبرپور و همکاران (Akbarpour et al., 2013) نیز با بررسی اثرات متغیرهای اقلیمی نشان دادند که با حذف بارش از مدل شبکه عصبی تغییرات شدیدی در ضرایب همبستگی ایجاد می‌شود و رتبه دوم و سوم مربوط به دما و رطوبت نسبی است. رنجبر و همکاران (Ranjbar et al., 2015) روابط بین عملکرد زعفران با برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در اراضی مزارع زعفران شهرستان قائنات از روش تجزیه رگرسیون گام به گام استفاده و نشان دادند که شاخص واکنش (pH)، مقدار روی، جرم مخصوص ظاهری، میانگین وزنی قطر خاکدانه ها، آهن، هدایت الکتریکی، کربن آلی و پتاسیم خاک به عنوان مهمترین ویژگی‌های برآورد عملکرد زعفران بوده و ۷۴ درصد از تغییرات آن را برآورد نمودند.

در سال‌های اخیر به دلیل سودآوری بسیار بالا و نیاز آبی کم، کشت محصول زعفران در سایر نقاط ایران نیز رواج یافته است. با توجه به شرایط خاص اقلیمی کشور که آب مهم‌ترین عامل محدود کننده می‌باشد کشت محصول زعفران در سال‌های اخیر به مناطقی خارج از استان‌های خراسان رضوی و جنوبی نیز گسترش یافته است. در بیشتر موارد این توسعه بدون توجه به قابلیت‌های اراضی و بیشتر بر اساس مشابهت‌های اقلیمی با مناطق رایج کشت زعفران انجام شده است و نتوانسته است در مناطق کشت جدید زعفران، عملکرد مطابقی داشته باشد. از این رو بررسی ارتباط بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک با

عملکرد زعفران می‌تواند به برنامه‌ریزی و تعیین تناسب اراضی برای کشت این محصول ارزشمند و توسعه کشت آن کمک نماید. پژوهش حاضر ضمن بررسی ارتباط بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک با عملکرد گل زعفران در اراضی منطقه وامنان استان گلستان، به مقایسه دقت مدل‌های رگرسیونی و شبکه عصبی مصنوعی در برآورد عملکرد گل زعفران در این منطقه می‌پردازد.

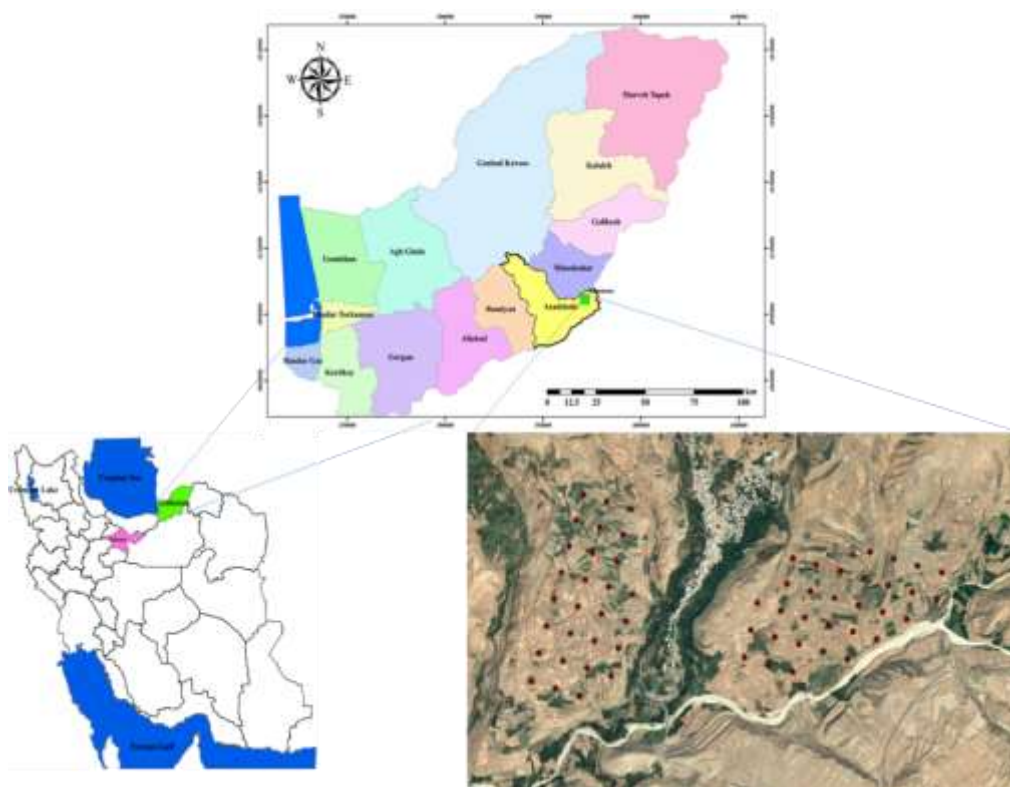
مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده

روستای وامنان از توابع شهرستان آزادشهر در استان گلستان یکی از این مناطقی است که در سال‌های اخیر، کشت زعفران توسعه یافته است. میانگین بارندگی سالانه منطقه مذکور ۸۶۲ میلی‌متر و بیشتر بارش‌ها در فصل زمستان و بهار صورت می‌گیرد. متوسط دمای هوا سالانه ۱۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. همچنین ارتفاع متوسط منطقه مورد مطالعه از سطح دریا حدود ۱۴۵۰ متر است. رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک در این منطقه مورد مطالعه به ترتیب یودیک و مزیک می‌باشد. به منظور انجام این پژوهش، از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری ۱۰۰ قطعه زمین زیر کشت زعفران نمونه‌های خاک، برداشت و به آزمایشگاه خاکشناسی منتقل شد. (شکل ۱) خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک شامل درصد شن (Sand percent)، سیلت (Silt percent) و رس (Clay percent)، فسفر و پتاسیم قابل دسترس (Available P and K)، نیتروژن کل (Total N)، شاخص واکنش خاک (pH)، هدایت الکتریکی (EC)، درصد ماده آلی (Organic matter percent) و کربنات کلسیم معادل (TNV) اندازه‌گیری شدند. بدین منظور، نمونه‌های خاک پس از انتقال به آزمایشگاه و خشک شدن در مجاورت هوا با چکش چوبی کوبیده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. حدود یک کیلوگرم از هر خاک برای انجام تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی مورد استفاده قرار

برای اندازه‌گیری فسفر عصاره‌گیر مورد استفاده بی‌کربنات سدیم ۰/۵ نرمال و برای پتاسیم از عصاره‌گیر استات آمونیوم استفاده شد و سپس پتاسیم و فسفر قابل جذب به ترتیب به روش‌های نشر شعله‌ای و اسپکتروفتومتری اندازه‌گیری شدند (Knudsen et al., 1982). مقدار عملکرد گل زعفران به صورت کیلوگرم وزن تر گل در هکتار تعیین شد.

گرفتند. در نمونه‌های خاک مقادیر pH و EC در عصاره‌گل اشباع، درصد ذرات معدنی خاک (رس، شن و سیلت) به روش هیدرومتری با قرائت چهار زمانه و مقدار کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون با سود اندازه‌گیری شدند (Knudsen et al., 1982). برای اندازه‌گیری نیتروژن کل از روش کجدال استفاده شد (Hesse, 1971) نمونه‌های خاک عصاره‌گیری شدند که



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه برداری
Figure 1- Geographical location of the study area and sampling points.

در مزارع مورد بررسی به ترتیب برابر ۲۱/۶۷ درصد، ۱/۷۸ درصد، ۳۹/۹۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم، ۰/۱۳ درصد و ۴۸۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. کم‌ترین ضریب تغییرات مربوط به ویژگی pH و برابر ۲ درصد می‌باشد و بیشترین ضریب تغییرات مربوط به ویژگی نیتروژن و برابر ۱۰۲ درصد می‌باشد. مقدار ضریب تغییرات برای سایر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی از ۱۷ درصد تا ۵۷ درصد متغیر می‌باشد که برای ویژگی‌های درصد شن،

خلاصه آماری برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک در مزارع مورد بررسی در جدول ۱ آورده شده‌اند. نمونه‌های خاک برداشت شده دارای pH متوسط ۷/۵۴ با حداقل ۷/۲ تا حداکثر ۷/۸ می‌باشند. هدایت الکتریکی خاک‌های منطقه به طور متوسط در حدود ۰/۹۳ دسی زیمنس بر متر می‌باشد که حاکی از پائین بودن مقادیر شوری آن‌ها می‌باشد. میانگین کربنات کلسیم معادل، درصد ماده آلی، فسفر، نیتروژن و پتاسیم

دارای ضریب تغییرات برابر ۲۹ درصد می‌باشد که متاثر از تغییرپذیری زیاد خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک می‌باشد.

درصد سیلت، EC، ماده آلی، فسفر، نیتروژن و پتاسیم بیش از ۳۵ درصد و دارای تغییرپذیری زیاد می‌باشند. میانگین عملکرد گل زعفران در مزارع مورد بررسی برابر ۸/۷۴ کیلوگرم بر هکتار و

جدول ۱- خلاصه آماری برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مزارع مورد بررسی
Table 1- Statistical summary of some physico-chemical properties of the studied types of soil

خصوصیت Properties آماره Statistic	شن (%) Sand	سیلت (%) Silt	رس (%) Clay	شاخص واکنش pH	شوری dS.m ⁻¹ (^l EC	کربنات کلسیم معادل (%) TNV	ماده آلی (%) Organic matter	فسفر (mg.kg ⁻¹) Phosphorus	نیتروژن (%) Nitrogen	پتاسیم (mg.kg ⁻¹) Potassium	عملکرد kg.ha ⁻¹ (^l Yield
حداقل Minimum	10	8	10	7.2	0.50	16.5	0.10	18.1	0.01	220	3.7
حداکثر Maximum	72	68	42	7.8	1.8	36.0	2.9	80.3	0.8	900	13.1
میانگین Mean	32.8	44.1	22.5	7.54	0.93	21.67	1.78	39.95	0.13	484	8.74
ضریب تغییرات C.V. (%)	0.57	0.40	0.25	0.02	0.37	0.17	0.35	0.38	1.02	0.37	0.29
چولگی Skewness	0.55	-0.34	0.31	-0.06	1.08	2.09	-0.30	0.71	4.72	0.56	-0.22
کشیدگی Kurtosis	-1.07	-1.20	1.55	-0.45	0.48	6.23	0.47	0.40	23.2	-0.27	-0.81

خروجی‌های واقعی انجام می‌گیرد که این نوع شبکه را پرسپترون چند لایه (MLP) می‌نامند (Fausett, 1994). در تحقیق حاضر از الگوریتم پس‌انتشار خطا که مبتنی بر قانون یادگیری اصلاح خطا می‌باشد، استفاده شد. با انتخاب ورودی‌های مختلف ۹ مدل به شرح جدول ۱ برای مدل‌سازی عملکرد گل زعفران در مناطق مورد بررسی انتخاب شدند و با تقسیم داده‌های برداشت شده به دو دسته آموزش شامل ۸۰ الگو و آزمون شامل ۲۰ الگو مدل‌سازی با انتخاب یک ساختار سه لایه در شبکه MLP انجام گردید. در جدول ۲ با توجه به آن که متغیر فسفر دارای بیشترین ضریب همبستگی با عملکرد گل زعفران بوده است به عنوان مدل تک متغیره انتخاب شده است و در ادامه با توجه به تأثیر ماده آلی بر عملکرد گل زعفران و

برآورد عملکرد گل زعفران با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

رایج‌ترین نوع ANNs^۱ دارای سه یا چند لایه می‌باشد: یک لایه ورودی، که از طریق آن اطلاعات به شبکه وارد می‌شود؛ یک لایه خروجی، که برای تولید پاسخ مناسب به ورودی‌های داده شده به شبکه به کار می‌رود، و یک یا چند لایه میانی، که به عنوان مجموعه‌ای از آشکارسازهای روابط درونی بین متغیرهای ورودی و خروجی عمل می‌کنند. شبکه‌های عصبی توانایی خود برای پردازش اطلاعات را از طریق فرایند یادگیری به دست می‌آورند که این فرایند از طریق تنظیم وزن‌های بین پیوندگاه‌های لایه‌های شبکه در جهت نزدیک نمودن خروجی‌های شبکه به

^۱- Artificial Neural Networks

همبستگی مثبت آن این متغیر به متغیر فسفر افزوده و جهت مدل‌سازی استفاده شدند. مدل‌های دیگر نیز با افزودن سایر

جدول ۲- پارامترهای بردار ورودی به کار رفته در مدل‌های مختلف شبکه‌های عصبی مصنوعی تعریف شده

Table 2- Input variables used in various models of artificial neural networks defined

مدل‌ها Models	متغیرهای ورودی هر مدل List of input variables in each model
ANN 1	فسفر Phosphor (P)
ANN 2	فسفر، درصد ماده آلی Phosphor (P), Percentage of organic matter
ANN 3	فسفر، درصد ماده آلی، کربنات کلسیم معادل Phosphor (P), Percentage of organic matter, Calcium Carbonate Equivalence (TNV)
ANN 4	فسفر، درصد ماده آلی، کربنات کلسیم معادل و پتاسیم Phosphor (P), Percentage of organic matter, Calcium Carbonate Equivalence (TNV), Potassium (K)
ANN 5	فس فسفر، درصد ماده آلی، کربنات کلسیم معادل، هدایت الکتریکی Phosphor (P), Percentage of organic matter, Calcium Carbonate Equivalence (TNV), Potassium (K), Electrical Conductivity (EC)
ANN 6	شن، سیلت، رس، شاخص واکنش و هدایت الکتریکی Sand, Silt, pH, Electrical Conductivity (EC)
ANN 7	شن، سیلت، رس، شاخص واکنش، هدایت الکتریکی، کربنات کلسیم معادل و درصد ماده آلی Sand, Silt, pH, Electrical Conductivity (EC), Calcium Carbonate Equivalence (TNV), Percentage of organic matter
ANN 8	شن، سیلت، رس، شاخص واکنش، هدایت الکتریکی، کربنات کلسیم معادل، فسفر، نیتروژن کل و پتاسیم Sand, Silt, Clay, pH, Electrical Conductivity (EC), Calcium Carbonate Equivalence (TNV), Phosphor (P), Total Nitrogen (N), Potassium (K)
ANN 9	شن، سیلت، شاخص واکنش، هدایت الکتریکی، کربنات کلسیم معادل، درصد ماده آلی، فسفر، نیتروژن کل و پتاسیم Sand, Silt, pH, Electrical Conductivity (EC), Calcium Carbonate Equivalence (TNV), Percentage of organic matter, Phosphor (P), Total Nitrogen (TN), Potassium (K)

معیارهای ارزیابی مدل‌های شبکه عصبی

برای ارزیابی دقت و سنجش کارایی مدل‌های شبکه عصبی ایجاد شده از شاخص‌های مختلفی نظیر ضریب تبیین (R^2)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین هندسی نسبت خطا^۱ (GMER) استفاده شد که روابط آن‌ها در معادلات ۱ تا ۳ آورده شده است. در ارزیابی هر مدل هرچه مقادیر R^2 به عدد یک و ضریب خطای RMSE به صفر نزدیک‌تر باشد مدل مزبور دارای دقت بیشتری می‌باشد. ضریب GMER نشان دهنده میزان انطباق بین مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده است. اگر GMER برابر یک باشد، نشان دهنده انطباق کامل بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده است. اگر GMER بزرگتر از یک باشد، نشان دهنده آن است که مقادیر پیش‌بینی

شده بزرگتر از مقادیر اندازه‌گیری شده است و GMER کمتر از یک نشان دهنده کمتر بودن مقادیر برآورد شده نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده است (Tietje & Hennings, 1996).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_1^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_1^N (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_1^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{N}} \quad (2)$$

$$GMER = \exp\left(\frac{1}{N} \sum_1^N \ln\left(\frac{\hat{Y}_i}{Y_i}\right)\right) \quad (3)$$

در روابط فوق Y_i ، \bar{Y} و \hat{Y}_i به ترتیب مقادیر عملکرد اندازه‌گیری شده، میانگین مقادیر عملکرد اندازه‌گیری شده و

۱- Geometric mean of error ratio

مقادیر عملکرد برآورده شده می‌باشند و N نیز نشان دهنده‌ی تعداد نمونه‌ها می‌باشد.

نتایج و بحث

ارتباط خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک با عملکرد زعفران

به منظور استخراج رابطه بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک با عملکرد زعفران، ضرایب همبستگی پیرسون بین آن‌ها محاسبه گردید (جدول ۳). براساس نتایج تعیین بافت خاک، در حدود ۴۰ درصد مزارع انتخاب شده دارای خاک با بافت لوم سیلتی و حدود ۲۳ درصد نیز دارای بافت لومی بودند. سایر خاک‌ها دارای بافت‌های لوم رسی شنی، لوم شنی و لوم رسی سیلتی بودند میانگین عملکرد زعفران در بافت‌های مختلف در دامنه‌ی ۷/۹ تا ۹/۳ کیلوگرم بر هکتار متغیر بوده است. بررسی نتایج خصوصیات شیمیایی خاک با عملکرد زعفران در مناطق مورد مطالعه نیز نشان داد مقدار عملکرد زعفران با مقادیر pH خاک رابطه منفی و معنی‌دار ($r = -0.33$) و با مقدار هدایت الکتریکی (۰/۳۱)، فسفر (۰/۶۰)، پتاسیم (۰/۴۴) و ماده آلی (۰/۵۵) رابطه مثبت و معنی‌دار دارد. ضریب همبستگی بین اجزای معدنی خاک شامل درصدهای رس، سیلت و شن با عملکرد زعفران در حدود ۱۰ درصد و کمتر بوده است که بیانگر همبستگی ضعیف آن‌ها با عملکرد بوده است. ضریب همبستگی متغیر کربنات کلسیم معادل نیز ۰/۱۷- به دست آمد که رابطه منفی و غیرمعنی‌داری می‌باشد. هم‌چنین ضریب همبستگی نیتروژن با عملکرد در حدود ۰/۰۸- به دست آمد که بسیار ضعیف می‌باشد. همبستگی مثبت و بالا بین عملکرد زعفران و ماده آلی خاک در پژوهش‌های مختلفی گزارش شده است که می‌تواند ناشی از عرضه عناصر غذائی، به ویژه نیتروژن و فسفر و بهبود خواص فیزیکی خاک باشد (Ranjbar et al., 2015). هدایت الکتریکی خاک بیانگر املاح محلول در خاک است و با افزایش

غلظت املاح محلول خاک انتظار می‌رود عملکرد کاهش یابد. در این پژوهش ضریب همبستگی عملکرد زعفران با هدایت الکتریکی ۰/۳۱- به دست آمد که در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. بررسی دامنه تغییرات مقادیر EC نشان می‌دهد مقدار آن بین ۰/۵ تا ۱/۸ دسی زیمنس بر متر و میانگین آن نیز ۰/۹۳- دسی زیمنس بر متر بوده است. به نظر می‌رسد تغییرات کم دامنه نوسان و نیز مقدار کم میانگین آن علت این همبستگی مثبت باشد.

نتایج مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی در برآورد عملکرد گل زعفران

برای آموزش و آزمون مدل‌های مختلف شبکه‌های عصبی مصنوعی ایجاد شده، با تقسیم مجموعه نمونه‌های برداشت شده به دو دسته‌ی تصادفی آموزش مجموعاً تعداد ۸۰ نمونه و آزمون مجموعاً تعداد ۲۰ نمونه با استفاده از شبکه‌ی عصبی پرسپترون چند لایه با الگوریتم پس‌انتشار خطا با توجه به مدل‌های مختلف در شبکه‌های تعریف شده از ۱ تا ۱۰ نرون در لایه‌ی ورودی و یک نرون در لایه‌ی خروجی استفاده شد. پژوهشگران مختلفی در بسیاری از کارهای تجربی و تئوری خود نشان دادند که استفاده از یک لایه‌ی پنهان برای تخمین هر نوع تابع پیچیده‌ی غیرخطی کفایت می‌کند (Cybenko, 1989). مهم‌ترین دلیل درستی این نظریه را در عدم ارتباط مستقیم لایه‌های نهانی با خروجی‌های شبکه ارتباط دادند. بنابراین در این پژوهش به منظور طراحی بهینه ساختار شبکه عصبی، با استفاده از یک لایه‌ی میانی و توابع تحریک مختلف تانژانت سیگموئید و لوگ سیگموئید، آموزش شبکه‌ها از تعداد نرون‌های متفاوتی استفاده شده و تعداد بهینه‌ی آن‌ها برای حداقل نمودن خطا تعیین گردید.

جدول ۳- نتایج بررسی ضریب همبستگی پیرسون بین خصوصیات خاک و عملکرد زعفران

Table 3- Results of the Pearson correlation coefficient between soil characteristics and yield of saffron

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی Physico-chemical properties	عملکرد Yield	پتاسیم Potassium	نیترژن Nitrogen	فسفر Phosphorus	ماده آلی Organic matter	کربنات کلسیم معادل TNV	شوری EC	شاخص واکنش pH	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand
عملکرد Yield	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
پتاسیم Potassium	0.44**	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
نیترژن Nitrogen	0.08	-0.07	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-
فسفر Phosphorus	0.60**	0.76	-0.08	1.00	-	-	-	-	-	-	-
ماده آلی Organic matter	0.55**	0.67	0.18	0.67	1.00	-	-	-	-	-	-
کربنات کلسیم معادل TNV	-0.17	-0.14	-0.22	0.07	-0.03	1.00	-	-	-	-	-
شوری EC	0.31*	0.29	0.02	0.39	0.40	0.25	1.00	-	-	-	-
شاخص واکنش pH	-0.33*	-0.22	0.07	-0.03	-0.24	0.34	0.11	1.00	-	-	-
رس Clay	-0.10	0.09	0.13	-0.10	0.04	0.19	0.03	0.37	1.00	-	-
سیلت Silt	0.10	0.16	0.03	0.13	0.16	-0.05	0.02	-0.15	0.21	1.00	-
شن Sand	-0.07	-0.16	-0.07	-0.08	-0.13	-0.01	0.05	0.00	0.50	-0.93	1.00

** سطح معنی داری ۹۹ درصد، * سطح معنی داری ۹۵ درصد.

** Significance level 99%, * Significance level 95%.

برای معیارهای RMSE و GMER در دوره آزمون به ترتیب برابر ۱/۷۷۵ کیلوگرم بر هکتار و ۰/۹۶۳ به دست آمده است. نتایج بررسی دقت مدل ANN2 با متغیرهای ورودی فسفر و درصد ماده آلی خاک نشان داد افزودن درصد ماده آلی خاک به مجموعه ورودی توانسته است دقت پیش‌بینی‌ها را تا حدودی افزایش دهد به طوری که مقدار ضریب تبیین به ۰/۶۵۸ درصد ارتقا یافت و نتایج سایر ضریب‌های خطاسنجی نیز تا حدودی کاهش یافت به گونه‌ای که مقدار ضریب RMSE از ۱/۷۷۵ در مدل تک متغیره فسفر به ۱/۶۰۶ در مدل دو متغیره کاهش یافت. نتایج بررسی دقت مدل‌های ANN3 تا ANN5 نیز نشان می‌دهد که افزودن متغیرهای TNV، پتاسیم و هدایت الکتریکی نیز توانسته است معیارهای سنجش خطا را تا حد زیادی بهبود

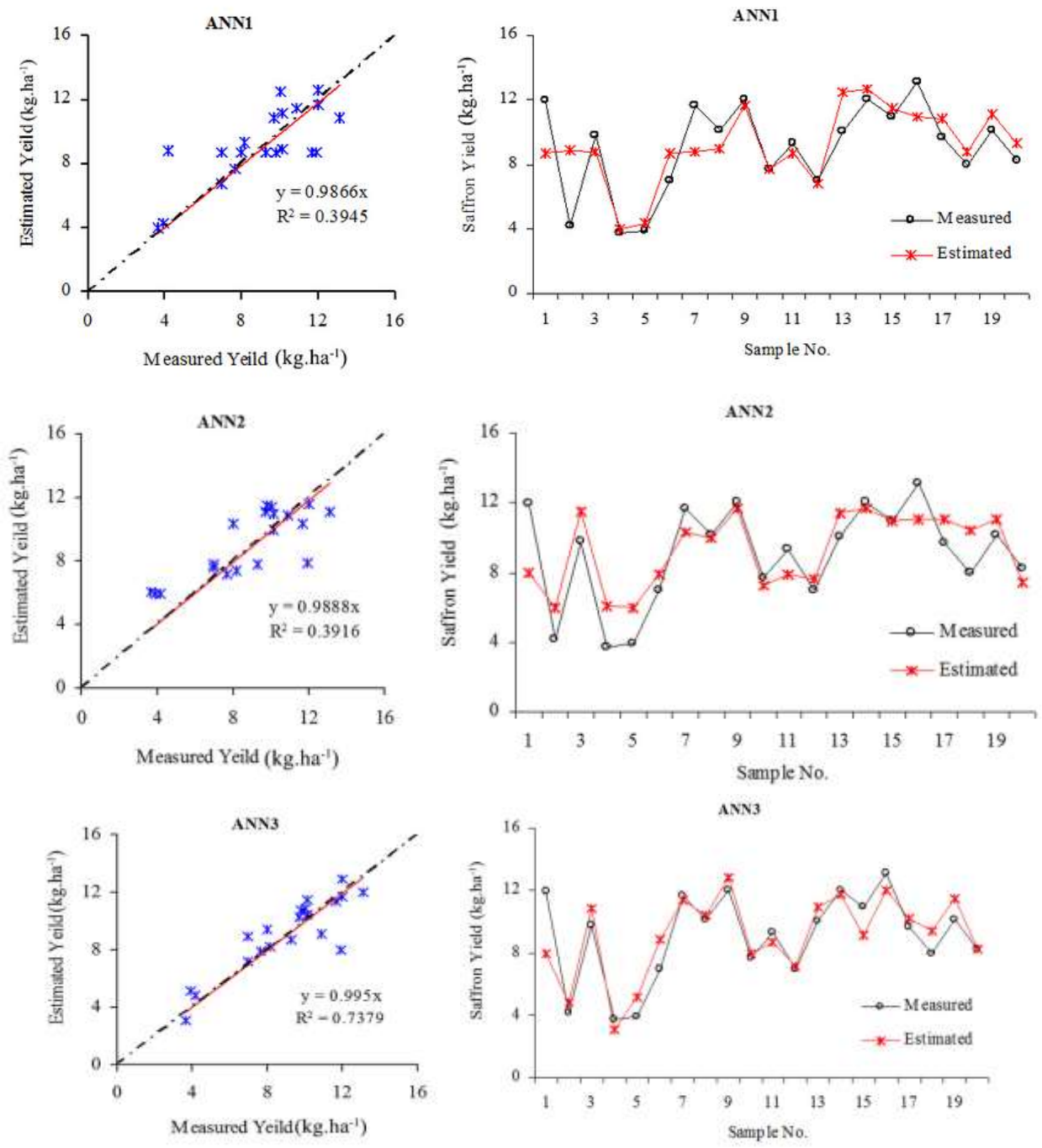
روند کار با تعداد نرون‌های کم آغاز و افزودن نرون‌های اضافی تا زمانی ادامه داشت که افزایش نرون‌های بیشتر تأثیری در بهبود خطا نداشته باشند که بدین منظور از ۲ تا ۱۵ نرون در لایه پنهان استفاده گردید. نتایج ارزیابی دقت مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی در برآورد مقادیر عملکرد گیاه زعفران طی دوره‌های آموزش و صحت‌سنجی بر مبنای معیارهای آماری خطا در جدول ۴ آورده شده است. بر مبنای نتایج به دست آمده مدل ANN1 با انتخاب متغیر فسفر به عنوان ورودی و ساختار بهینه ۱۳ نرون در لایه میانی و توابع محرک تانژانت سیگموئید در لایه‌های میانی و خروجی توانسته است دارای ضریب تبیین ۰/۵۸ در دوره‌ی آزمون را در اختیار دهد که عملکرد قابل قبولی می‌باشد. نتایج سایر آماره‌های خطاسنجی برای مدل تک متغیره

بخشد به طوری که در مدل سه متغیره با ترکیب متغیرهای فسفر، ماده آلی و کربنات کلسیم معادل ضریب تبیین به ۰/۷۷ ارتقا یافت. بهترین نتایج برآورد عملکرد زعفران مربوط به مدل ANN5 با ترکیب متغیرهای فسفر (P)، ماده آلی (Organic)، TNV، پتاسیم (K)، هدایت الکتریکی (EC) می باشد که دارای ضریب تبیین ۰/۸۹ و ضریب RMSE برابر با ۰/۸۹ کیلوگرم بر هکتار در دوره‌ی آزمون می باشد.

جدول ۴- نتایج مقایسه مقادیر برآوردی عملکرد زعفران در مدل‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی در دوره‌های آموزش و آزمون

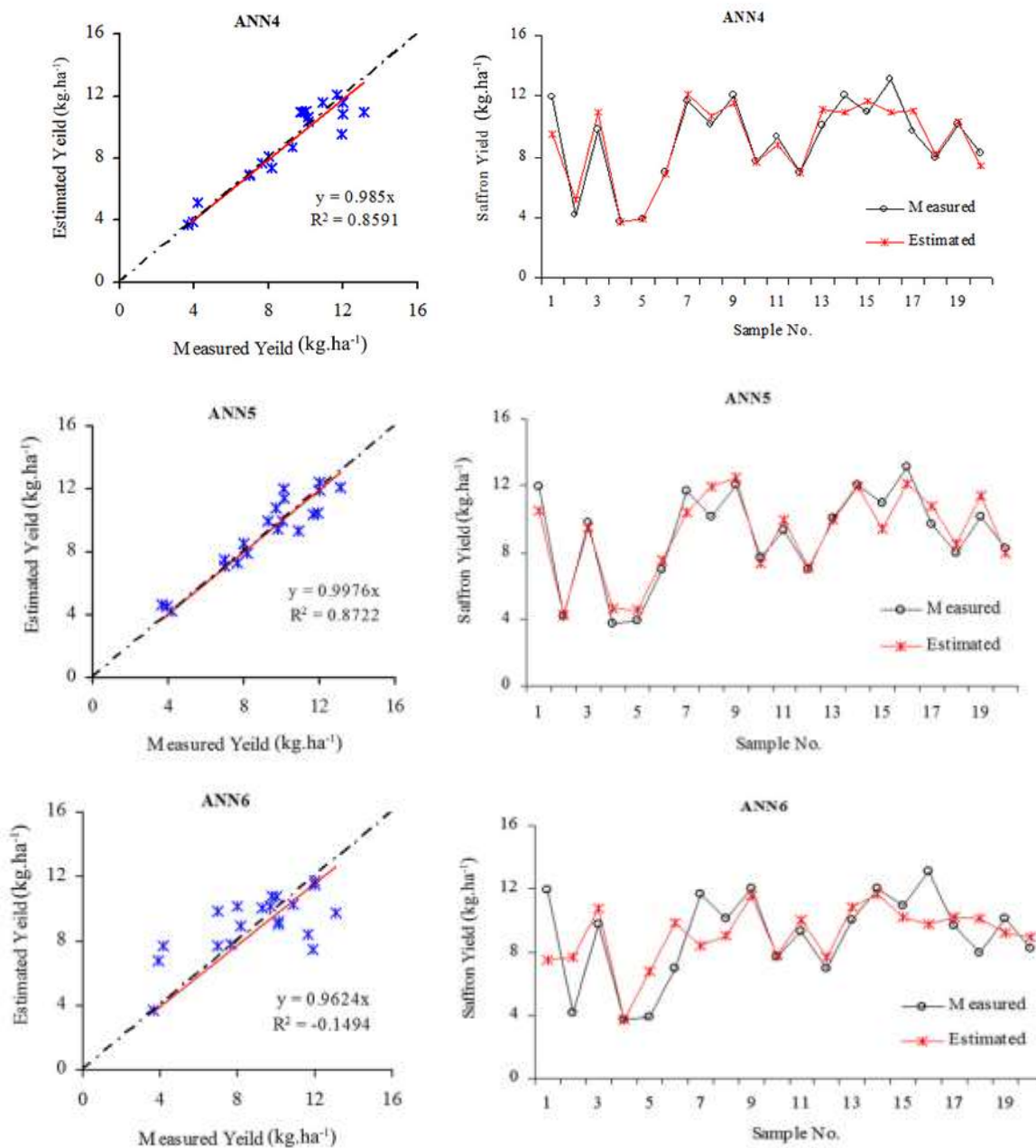
Table 4- Results of comparison of the estimated value in the models of artificial Neural Networks in training and test periods for saffron yield

مدل Model	ساختار مدل بهینه Optimal model structure	دوره آموزش Training period			دوره آزمون Test period		
		ضریب تبیین R ²	ریشه میانگین مربعات خطا RMSE	میانگین هندسی نسبت خطا GMER	ضریب تبیین R ²	ریشه میانگین مربعات خطا RMSE	میانگین هندسی نسبت خطا GMER
ANN1	تانزانانت سیگموئید-تانزانانت سیگموئید (۱۳ نرون) Tansig- Tansig (13 Neurons)	0.711	1.314	1.015	0.581	1.775	1.039
ANN2	لوگ سیگموئید-تانزانانت سیگموئید (۱۱ نرون) Logsig-tansig (11 Neurons)	0.637	1.472	1.020	0.658	1.606	1.056
ANN3	تانزانانت سیگموئید-لوگ سیگموئید (۶ نرون) Tansig-logsig (6 Neurons)	0.772	1.165	1.010	0.777	1.293	1.019
ANN4	تانزانانت سیگموئید-تانزانانت سیگموئید (۶ نرون) Tansig-Tansig (6 Neurons)	0.886	0.826	1.005	0.874	0.996	1.002
ANN5	تانزانانت سیگموئید-لوگ سیگموئید (۷ نرون) Tansig- logsig (7 Neurons)	0.882	0.840	1.010	0.891	0.889	1.020
ANN6	تانزانانت سیگموئید-تانزانانت سیگموئید (۲ نرون) Tansig-tansig (2 Neurons)	0.510	1.709	1.021	0.456	2.002	1.041
ANN7	لوگ سیگموئید-لوگ سیگموئید (۲ نرون) Logsig-logsig (2 Neurons)	0.761	1.193	1.015	0.743	1.388	1.020
ANN8	تانزانانت سیگموئید-لوگ سیگموئید (۱۱ نرون) Tansig-logsig (11 Neurons)	0.675	1.396	1.004	0.708	1.489	0.986
ANN9	تانزانانت سیگموئید-تانزانانت سیگموئید (۴ نرون) Tansig-tansig (4 Neurons)	0.773	1.163	1.011	0.808	1.202	1.034



شکل ۱- نتایج مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و برآوردی عملکرد زعفران در مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی ۱ تا ۳ در دوره آزمون

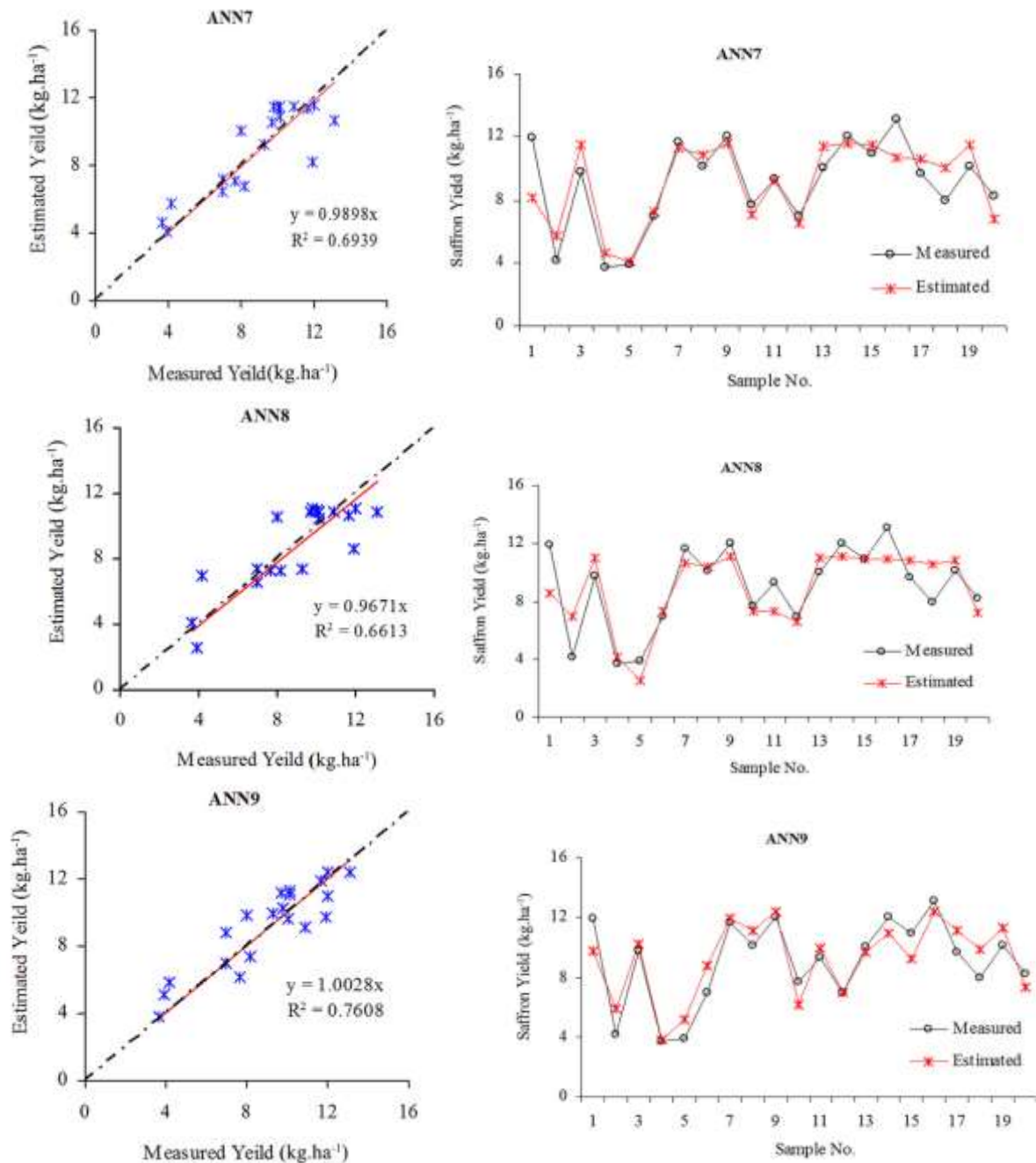
Figure 1- Results of comparison of measured and estimated values of saffron in artificial neural network models 1 to 3 in the test period.



ادامه شکل ۱- نتایج مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و برآوردی عملکرد زعفران در مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی ۴ تا ۶ در دوره آزمون
 Continued Figure 1- Results of comparison of measured and estimated values of saffron in artificial neural network models 4 to 6 in the test period.

مثبت و منفی با مقدار عملکرد می‌باشند. به طور کلی مطابق نتایج این جدول می‌توان بیان نمود با انتخاب متغیرهای فسفر و درصد مقدار ماده آلی خاک با دقت مناسبی می‌توان به برآورد عملکرد زعفران در نواحی انتخاب شده پرداخت.

در جدول ۴، مدل ANN6 با ترکیب متغیرهای شن (Sand)، سیلت (Silt)، رس (Clay)، pH، هدایت الکتریکی (EC) دارای کمترین دقت برآورد می‌باشد. در مدل مذکور از متغیرهای خصوصیات فیزیکی خاک به همراه متغیرهای pH و هدایت الکتریکی استفاده شده‌اند که دارای کمترین ارتباط معنی‌داری



ادامه شکل ۱- نتایج مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و برآوردی عملکرد زعفران در مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی ۷ تا ۹ در دوره آزمون
 Continued Figure 1- Results of comparison of measured and estimated values of saffron in artificial neural network models 7 to 9 in the test period.

در شکل مذکور، مقادیر برآورد شده توسط مدل ANN1 علی‌رغم بیش برآوردی (GMER برابر ۱/۰۳۹)، در بیشتر نقاط برآورد خوبی از داده‌های واقعی را انجام داده است. در مدل ANN2 همان طور که مشاهده می‌شود مقادیر برآوردی و مشاهداتی

در ادامه نتایج مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و برآوردی عملکرد زعفران در مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی تعریف شده ANN1 تا ANN9 مطابق جدول ۱، در دوره‌ی آزمون روی خط ۱:۱ و ترسیمی در شکل ۱ آورده شده‌اند. مطابق نتایج ترسیم شده

بررسی نداشته باشد زیرا نتایج یافته‌های پیشین از جمله رستمی و همکاران (Rostai et al., 2006) نشان دادند تنش شوری تا آستانه ۲ دسی زیمنس بر متر هیچ یک از ویژگی‌های گیاه زعفران تأثیر ندارد. از طرف دیگر حضور پتاسیم در گیاه سبب کاهش اثرات منفی تنش شوری می‌شود به طوری که نادیان و همکاران (Nadian et al., 2012) گزارش کردند که با افزایش تنش شوری از ۱/۵ به ۷/۵ دسی زیمنس بر متر وزن ماده خشک گیاه به شدت کاهش یافت و کاهش به سمیت ناشی از تجمع فراوان یون سدیم و کاهش غلظت یون پتاسیم در گیاه ارتباط داده شد. ضریب همبستگی نیروژن با عملکرد در حدود ۰/۰۸ به دست آمد که بسیار ضعیف می‌باشد و در مدل‌های برتر نیز این ویژگی به عنوان یک ویژگی مؤثر ظاهر نشده است.

نتیجه‌گیری

زعفران گیاهی چند ساله است که شرایط اولیه تغذیه خاک در آن بسیار با اهمیت می‌باشد و نقش مواد آلی و معدنی خاک در کنار اقدامات مدیریتی و اقلیمی بر عملکرد این گیاه اثر مستقیم دارند. نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان داد که مدل‌های ساخته شده شبکه عصبی مصنوعی بر مبنای ویژگی-های خاک قادر به پیش‌بینی عملکرد گل زعفران بوده‌اند به طوری که دقت مدل‌های شبکه عصبی با انتخاب تنها متغیر فسفر به عنوان ورودی تا مدل بهینه با انتخاب ۴ متغیر ورودی شامل فسفر، ماده آلی، درصد آهک و پتاسیم از ۰/۵۸ تا ۰/۸۷ به ازای آماره ضریب تبیین متغیر بود که نشان دهنده دقت مناسب و بالای آن‌ها می‌باشد. متغیرهای فسفر و ماده آلی خاک به عنوان متغیرهای دارای بیشترین تأثیر بر عملکرد زعفران در مدل‌های ساخته شده معرفی می‌شوند.

نسبت به مدل ANN1 دارای انطباق بهتری می‌باشند و انحراف بسیار کمی روی خط ۱:۱ دارند. این موضوع در شکل ترسیمی به نحو مناسب‌تری نمود یافته است. نتایج برای سایر مدل‌های ANN3 تا ANN5 نیز در انطباق با نتایج آورده شده برای ارزیابی مدل‌ها در جدول ۴ می‌باشد و به ازای مدل ANN5 دارای بیشترین انطباق می‌باشند.

بر اساس بررسی نتایج جدول ۴ می‌توان دریافت مهم‌ترین ویژگی شیمیائی مؤثر بر عملکرد زعفران فسفر بوده است و پس از آن مهم‌ترین ویژگی مؤثر بر عملکرد زعفران درصد ماده آلی بوده است به طوری که نتایج مدل شبکه عصبی از ترکیب متغیرهای فسفر و ماده آلی (ANN2) درای ضریب تبیین ۰/۶۶ می‌باشد. نقش معنی‌دار و مثبت مواد آلی در عملکرد گیاه زعفران می‌تواند در نتیجه افزایش رطوبت خاک و در نهایت، رشد بهتر گیاه به دلیل افزایش دسترسی به عناصر غذایی باشد (Behdani et al., 2006). علاوه بر این تشکیل و پایداری خاکدانه، نگهداری رطوبت، تراکم پذیری و خصوصیات گرمایی از مهم‌ترین خصوصیات فیزیکی تحت تأثیر مواد آلی می‌باشند (Haynes, 1998). با افزودن متغیرهای کربنات کلسیم معادل و پتاسیم در مدل ANN4 مقدار ضریب تبیین به ۰/۸۷ ارتقا می‌یابد. نتایج مدل‌های انتخاب شده با نتایج تمپرینی و همکاران (Temperini et al., 2009) که بیان داشتند حدود ۱۶ تا ۸۰ درصد تغییرات عملکرد گل به متغیرهای مربوط به خاک از جمله مقدار ماده آلی، فسفر قابل جذب، نیتروژن معدنی و پتاسیم تبادلی وابسته است مطابقت دارد. نتایج افزودن ویژگی EC تغییر چندانی در ضریب تبیین مدل ANN5 به مدل ANN4 ایجاد نکرده است. از آنجا که مقدار EC نمونه‌های خاک مورد بررسی در دامنه‌ی ۰/۵ تا ۱/۸ دسی‌زیمنس بر متر تغییر می‌کند انتظار می‌رود مقدار EC محدودیتی بر رشد و عملکرد زعفران نمونه‌های خاک مورد

- Aghhavani-Shajari, M., Rezvani Moghaddam, P., Koocheki, A., Fallahi, H.R., and Taherpour Kalantari, R. 2015. Evaluation of the effects of soil texture on yield and growth of saffron (*Crocus sativus* L.). *Saffron Agronomy and Technology* 2 (4): 311-322. (In Persian with English Summary)
- Akbarpour, A., Khorashadzadeh, O., Shahidi, A., and Ghochanian, E. 2013. Performance evaluation of artificial neural network models in estimate production of yield saffron based on climate parameters. *Journal of Saffron Research* 1 (1): 27-35. (In Persian with English Summary)
- Behdani, M.R., Koochaki, A., Nasiri, M., and Rezvani, P. 2006. Evaluation of quantitative relationships between saffron yield and nutrition (on farm trial). *Iranian Journal of Crop Research* 3 (1): 1-14. (In Persian with English Summary)
- Behdani, M.A., Jami-alahmadi, M., and Akbarpour, A. 2010. The evaluation of plant effective indices on growth and production of saffron agro ecosystem in Southern Khorasan. *Acta Horticulture* 850: 179-184.
- Chaji, N., Khorassani, R., Astarai, A., and Lakzian, A. 2013. Effect of phosphorous and nitrogen on vegetative growth and production of daughter corms of saffron. *Journal of Saffron Research* 1: 1-12. (In Persian with English Summary)
- Cybenko, G. 1989. Dynamic load balancing for distributed memory multiprocessors. *Journal of Parallel and Distributed Computing* 7 (2): 279-301.
- Dole, J.M., and Wilkins, H.F. 1999. *Floriculture principles and species*. Prentice Hall 537-545.
- Fageria, N.K., Moreira, A., and Dos Santos, A.B. 2013. Phosphorus uptake and use efficiency in field crops. *Journal of Plant Nutrition* 36 (13): 2013-2022.
- Fausett, L.V. 1994. *Fundamentals of neural networks: architectures, algorithms, and applications*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 329p.
- Gonzalez-Fernandez, I., Iglesias-Otero, M.A., Esteki, M., Moldes, O.A., Mejuto, J.C., and Simal-Gandara, J.A. 2018. Critical review on the use of artificial neural networks in olive oil production, characterization and authentication. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* pp.1-14.
- Haynes, R.J., and Naidu, R. 1998. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: Nutrient Cycling in Agroecosystems 51: 123-137.
- Hesse, P.R. 1971. *A Text Book of Soil Chemical Analysis*. John Murray. London.
- Jain, S.K., Nayak, P.C., and Sudheer, K.P. 2008. Models for estimating evapotranspiration using artificial neural networks, and their physical interpretation. *Hydrological Processes* 22 (13): 2225-2234.
- Khadempour, F., Khasheisiuki, A., and Behdani, M.A. 2020. Evaluation of the efficiency of Lazy algorithm in estimating yield of Saffron based on climatic parameters. *Saffron Agronomy and Technology* 8 (2): 295-304. (In Persian with English Summary)
- Knudsen, D., Peterson, G.A., and Pratt, P.F. 1982. Lithium, sodium, and potassium. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties* pp. 225-246.
- Koocheki, A., Rezvani-Moghaddam, P., and Fallahi, H.R. 2016. Effects of planting dates, irrigation management and cover crops on growth and yield of saffron (*Crocus sativa* L.). *Journal of Agroecology* 8 (1): 435-451. (In Persian with English Summary)
- 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. *Industrial Crops and Products* 71: 128-137.
- Kouzegaran, S., Baygi, M.M., Babaeian, I., and Khashei-Siuki, A. 2020. Modeling of the saffron yield in Central Khorasan region based on meteorological extreme events. *Theoretical and Applied Climatology* 139 (3):1207-1217.
- Munshi, A.M. 1994. Effect of N and K on the floral yield and corn production in saffron under rain-fed condition. *Indian Journal of Cocoa, Arecanut Spices* 18: 24-44.
- Nadian, H., Nateghzadwh, B., and Jafari, S. 2012. Effect of salinity and nitrogenfertilizers on some quantity and quality parameters of sugarcane (*Saccharum* sp.). *Journal of Food Agriculture and Environment* 10: 470-474.
- Naghizadeh, M., Gholami-shabestari, M., and Shamsaddin-saied, M. 2014. The study of some physiological responses of three Iranian saffron (*Crocus sativus* L.) landraces to salinity stress. *Saffron Agronomy and Technology* 2 (2): 127-136. (In Persian with English Summary)
- Niazian, M., Sadat-Noori, S.A., and Abdipour, M. 2018. Modeling the seed yield of Ajowan (*Trachyspermum ammi* L.) using artificial neural network and multiple linear regression models. *Industrial Crops and Products* 117: 224-234.
- Ranjbar, A., Emami, E., Karimi Karouyeh, A., and Khorassani, R. 2015. Determining the most important soil properties affecting the yield of saffron in the Ghayenat area. *Journal of Water and Soil* 29 (3): 673-682. (In Persian).
- Rashed-Mohsel, M.H., Azizi, J., and Sabet-Teimouri, M. 2006. Examination of *Crocus sativus* L. response to organic and inorganic fertilizers. The Second International Symposium on Technology and Agronomy of *Crocus sativus*, L-Mashhad- Iran. (In Persian).
- Rezvani-Moghaddam, P., Khorrarnadel, S., and Mollafilabi, A. 2015. Evaluation of soil physical and chemical characteristics impacts on morphological criteria and yield of saffron (*Crocus sativus* L.), *Journal of Saffron Research* 3 (2): 188-203. (In Persian with English Summary)
- Riahi-Modavar, H., Khashei-Siuki, A., and Seifi, A. 2017. Accuracy and uncertainty analysis of artificial neural network in predicting saffron yield in the south Khorasan province based on meteorological data. *Saffron Agronomy and Technology* 5 (3): 55-71. (In Persian with English Summary)
- Rostami, M., Mohmmad-Parast, B., and Golfam R. 2015. The effect of different levels of salinity stress on some physiological characteristics of saffron (*Crocus Sativus* L.). *Saffron Agronomy and Technology* 3 (3): 177-193. (In Persian with English Summary)
- Sabet-Teimouri, M., Kafi, M., Avarseji, Z., and Orooji, K. 2010. Effect of drought stress, corm size and corm tunic on morphoecophysiological characteristics of saffron (*Crocus sativus* L.) in greenhouse conditions. *Agroecology* 2 (2): 323-334. (In Persian with English Summary)
- Salari, A., Bashiri, M., Maroosi, A. 2017. forecasting saffron yield using data mining and determining climate parameters influencing its yield in the province of Khorasan Razavi. *Journal of Saffron Research* 5 (1): 1-17. (In Persian with English Summary)
- Shahandeh, H., and Mousavi, M.A. 1998. Assessment of physico-chemical properties of soil in relation to water and *Crocus sativus* L. in Gonabad. Khorasan Scientific and Industrial Research Organization. (In Persian with English Summary)
- Shirdeli, A., and Tavassoli, A. 2015. Predicting yield and water use efficiency in saffron using

- models of artificial neural network based on climate factors and water. *Saffron Agronomy and Technology* 3 (2): 121-131. (In Persian with English Summary) Singh, H. 2017. Development of a crop yield prediction model for corn using an artificial neural network and high resolution remotely sensed imagery. Doctoral Dissertation, McGill University Montreal (Quebec), Canada.
- Temperini, O., Rea, R., Temperini, A., Colla, G., and Roupael, Y. 2009. Evaluation of saffron (*Crocus sativus* L.) production in Italy: Effects of the age of saffron fields and plant density. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 7 (1): 19-23.
- Tietje, O., and Hennings, V. 1996. Accuracy of the saturated hydraulic conductivity prediction by pedotransfer functions compared to the variability within FAO textural classes. *Geoderma* 69: 71-84.
- Torkashvand, A.M., Ahmadi, A, and Nikraves, N.L. 2017. Prediction of kiwifruit firmness using fruit mineral nutrient concentration by artificial neural network (ANN) and multiple linear regressions [MLR]. *Journal of Integrative Agriculture* 16 (7): 1634-1644.
- Zabihi, H., and Feizi., H. 2014. Saffron Response to the Rate of Two Kinds of Potassium Fertilizer', *Saffron Agronomy and Technology* 2 (3): 191-198. (In Persian with English Summary)

Prediction of Saffron Yield based on Soil Properties Using Regression and Artificial Neural Network Models in the Vamenan Region of the Golestan Province

Fatemeh Tashakkori¹, Ali Mohammadi Torkashvand^{2}, Abbas Ahmadi³ and Mehrdad Esfandiari²*

Submitted: 21 July 2020

Accepted: 28 December 2020

Tashakkori, F., Mohammadi Torkashvand, A., Ahmadi, A., Esfandiari, M. 2021. Prediction of Saffron Yield based on Soil Properties Using Regression and Artificial Neural Network Models in the Vamenan Region of the Golestan Province. *Saffron Agronomy & Technology*, 9(2): 159-175.

Abstract

Saffron (*Crocus sativus* L.) is one of the most expensive crops grown in a few restricted areas of the world. Due to its economic value, some farmers have cultivated it in some regions of Iran regardless of land suitability and suitability based on similarities of climatic conditions, which sometimes ends up with unsatisfactory results. Saffron yield prediction based on soil properties enables us to assess land suitability for the cultivation of this valuable plant. For this purpose, 100 soil samples were collected from the Vamenan saffron fields in the Golestan province and the soil chemical and physical properties, including the percentage of inorganic particles of soil texture (Sand, Silt, Clay), phosphorus, potassium, nitrogen, pH, electrical conductivity (EC), Organic matter and calcium carbonate equivalent were measured. In addition, the weight of fresh saffron flower ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) was measured. In the present study, various combinations of soil properties as input were applied, and nine models were developed using artificial neural networks and multiple linear regression models for predicting saffron yield. Performance of the models was validated using Root Mean Square Error (RMSE), Correlation Coefficient (R), and Geometric Mean of Error Ratio (GMER) criteria. The results of the correlation analysis showed that phosphorus and organic matter were the most effective factors in the production of saffron. The results showed that the performance of the models is much different where the R^2 value varies from 0.45 to 0.89. Comparing the performance of saffron yield estimation models indicated that the optimal model was obtained from the combination of phosphorous, organic matter, potassium, and calcium carbonate equivalent as input, and values of R^2 and RMSE were equal to 0.874 and 0.996 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectively.

Keywords: Saffron Yield, Soil Texture, Multilayer Perceptron, Phosphorus, Golestan.

1 - Ph.D. Student, Department of Soil Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2 - Associated Professor, Department of Soil Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

3 - Associated Professor, Department of Soil Science, University of Tabriz, Tabriz, Iran

(* - Corresponding author Email: m.torkashvand54@yahoo.com)

DOI: 10.22048/JSAT.2020.240519.1404