نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۹، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۴، ص. ۶۸۲-۶۷۳

Journal of Water and Soil
Vol. 29, No. 3, Jul.-Agu. 2015, p. 673-682

تعیین مهم‌ترین ویژگی‌های خاکی موثر بر عملکرد زعفران در منطقهٔ قاینات

امیر رنجبر[1*] – حجت امامی[2] – علیرضا کریمی کارویه[3] – رضا خراسانی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۲۴

چکیده

زعفران یکی از مهم‌ترین گیاهان اقتصادی در استان خراسان می‌باشد. میزان عناصر موجود در خاک و خصوصیات فیزیکی خاک نقش تعیین کننده‌ای در مقدار عملکرد زعفران دارد و کمبود عناصر می‌تواند عامل محدود کننده‌ای در رشد و نمو این گیاه باشد. به منظور بررسی روابط بین عملکرد زعفران با برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و تعیین سهم آن دسته از ویژگی‌ها که بیشترین تاثیر را بر عملکرد دارند، این پژوهش در ۳۰ مزرعه زعفران (۳۰ نمونه خاک) واقع در منطقه قاینات اجرا گردید. در این راستا به منظور تعیین مهم‌ترین ویژگی‌های خاک موثر بر عملکرد زعفران از روش تجزیه مولفه‌های اصلی (PCA) برای تحلیل داده‌ها استفاده شد و تخمین عملکرد عملکرد زعفران نیز با استفاده از رگرسیون گام به گام انجام شد. بر اساس روش PCA هفت ویژگی مقدار کلسیم، آهن، روی، درصد شن، درصد کربنات کلسیم معادل، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) و مقدار منگنز به عنوان مهم‌ترین ویژگی‌های خاکی مزارع زعفران از میان ۲۱ ویژگی مورد بررسی در این پژوهش معرفی شدند. برای تخمین عملکرد زعفران در روش تجزیه رگرسیون گام به گام، عملکرد زعفران به عنوان متغیر وابسته و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شدند. نتایج به دست آمده از روش رگرسیون گام به گام نشان داد که pH، مقدار روی، جرم مخصوص ظاهری، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، آهن، هدایت الکتریکی، کربن آلی و پتاسیم خاک به عنوان مهم‌ترین ویژگی‌های برآورد عملکرد زعفران بوده و ۷۴ درصد از تغییرات آن را توجیه نمودند. به طور کلی غلظت عناصر کم‌مصرف (آهن و روی) و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در هر دو روش PCA و رگرسیون گام به گام، به عنوان ویژگی‌های مهم و تاثیرگذار بر عملکرد زعفران در مزارع منطقه قاینات، تعیین شدند. بنابراین پیشنهاد می‌شود پارامترهای فوق همراه با pH و کربنات کلسیم معادل که بر قابلیت دسترسی عناصر غذایی کم‌مصرف تاثیرگذار هستند و به طور مجزا در هر دو روش لحاظ شده‌اند، به عنوان مهم‌ترین ویژگی‌های خاکی موثر بر عملکرد زعفران مورد توجه قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: تجزیه مولفه‌های اصلی، رگرسیون گام به گام، عملکرد اقتصادی زعفران، عناصر کم‌مصرف

مقدمه

زعفران یکی از قدیمی‌ترین گیاهان ادویه‌ای و دارویی است که همواره مورد توجه مردم بوده است. برخی از پژوهش‌گران منشأ پیدایش زعفران را ایالت قدیم ماد در ایران می‌دانند (۲). این گیاه از نظر رده‌بندی گیاهشناسی از خانواده زنبقیان و یک گیاه تریپلوئید عقیم می‌باشد (۹) که هر سال بنه‌های جدیدی تولید کرده و تکثیر آن فقط با کشت همین بنه‌ها امکان‌پذیر می‌باشد. بنه‌ها در تابستان به حالت خواب به سر برده ولی تشکیل گل‌ها در همین فصل صورت می‌گیرد. گل‌های زعفران در فصل پاییز قبل از ظهور برگ‌ها یا همزمان با ظهور آن‌ها و حتی در بعضی شرایط پس از بیرون آمدن برگ‌ها ظاهر می‌شوند.

مراحل فنولوژیکی زعفران بر اساس رشد اندام‌های هوایی شامل ۳ مرحله است که از نظر تولید کنندگان زعفران، مرحله رشد زایشی آن که در پاییز همراه با سرد شدن هوا شروع می‌شود، مهم‌ترین مرحلهٔ رشد این گیاه است. این مرحله، از شروع اولین آبیاری در پاییز و ظهور اولین گل شروع و با ظهور آخرین گل به پایان می‌رسد (۳۰)؛ ولی از لحاظ فیزیولوژیکی این مرحله از مدت‌ها قبل شروع گردیده است. از ۱۰ تا ۲۵ مرداد مراحل تکوین و تکامل جام گل و شکل گرفتن برگ‌های اولیه آغاز می‌شود (۴). بنابراین میزان عناصر غذایی موجود در خاک و در دسترس بودن آن‌ها در این بازه‌ی زمانی می‌تواند اثر چشم‌گیری بر عملکرد داشته باشد.

عملکرد زعفران معمولا بر اساس مقدار گل برداشت شده در واحد سطح یا وزن زعفران خشک حاصل از واحد سطح بیان می‌گردد. زعفران خشک شامل مجموع کلاله و خامه می‌باشد و در مواردی

۱، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیاران گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: ahoura.ar@gmail.com)

عملکرد بر اساس وزن تولید شده از هر کدام از این دو جزء در واحد سطح بیان می‌گردد (۱۴). درحال حاضر، محصول زعفران یکی از اقلام مهم صادراتی کشور محسوب می‌شود که تنها ۲۰ درصد آن در داخل مصرف و مابقی آن به سایر کشورهای جهان صادر می‌شود. میانگین عملکرد ۲۵ ساله زعفران ایران ۴/۷ کیلوگرم درهکتار گزارش شده است (۱۵). متوسط عملکرد زعفران کشور، مبین عملکرد و کارایی تولید پایین زعفران در مزارع ایران است.

اصولاً رشد و نمو گیاهان وابسته به تمام عوامل محیطی است و هیچ عاملی به تنهایی نمی‌تواند نقش موثری بر رشد آن داشته باشد. یکی از این عوامل خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک می‌باشد (۱۳ و ۱۹). زعفران، هم‌چون گیاهان زراعی دیگر برای استفاده حداکثر از شرایط محیطی، علاوه بر شرایط آب و هوایی و مدیریت‌های زراعی بهینه نیاز به خاک مناسب برای رسیدن به حداکثر عملکرد دارد. بنابراین، یکی از مهم‌ترین مسائل برای افزایش کارایی استفاده از منابع موجود و افزایش عملکرد در واحد سطح، افزایش باروری خاک می باشد. برخی بررسی‌ها نشان داده‌اند که بین ماده آلی خاک و عملکرد زعفران همبستگی مثبت و بالایی وجود دارد. افزایش عملکرد با استفاده از مواد آلی احتمالاً ناشی از عرضه عناصر غذایی، به ویژه فسفر و نیتروژن و بهبود خواص فیزیکی خاک می‌باشد (۲۲، ۲۳ و ۳۳). ماده آلی باعث تعدیل عمل متراکم شدن خاک در اثر رفت و آمد دام‌ها که پدیده‌ای بسیار معمول در چرای علوفه زعفران می‌باشد، می‌شود.

به منظور افزایش تولید محصولات کشاورزی در واحد سطح، عملیات زراعی متعددی مانند مصرف کودهای شیمیایی صورت می‌گیرد. نتیجه این فعالیت‌ها طی سال‌های اخیر بحران آلودگی‌های محیط زیست و به ویژه آلودگی منابع خاک و آب می‌باشد که زنجیره‌وار به منابع غذایی انسان‌ها راه یافته و سلامت جامعه بشری را مورد تهدید قرار داده است. به این منظور تلاش‌های گسترده‌ای با هدف یافتن راهکارهای مناسب برای بهبود کیفیت خاک، محصولات کشاورزی آغاز شده است. کاهش مخاطرات زیست محیطی همگام با افزایش عملکرد گیاهان زراعی نیازمند به کارگیری شیوه‌های نوین زراعی است (۲۵). عملکرد زعفران در خاک‌هایی که مقدار نیتروژن بالایی دارند، به علت افزایش رشد سبزینه (۱۴)، و همچنین در خاک‌های غیر حاصلخیز به علت کمبود عناصر غذایی، مناسب نیست. بنابراین پیدا کردن ویژگی‌های یک خاک مناسب برای کشت زعفران امری ضروری است که می‌تواند موجب افزایش راندمان و عملکرد زعفران شود. برای رسیدن به این هدف باید مهم‌ترین ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی تاثیرگذار خاک را بر روی عملکرد تعیین کرد.

برای مدیریت بهینه زمین‌ها و رسیدن به حداکثر بهره‌وری اقتصادی، آگاهی از چگونگی کیفیت خاک در عرصه‌های کشاورزی و منابع طبیعی ضروری است. در کشورهای در حال توسعه به علت آسیب‌پذیری خاک‌های کشاورزی از نظر زیست محیطی، توجه به کیفیت خاک دارای اهمیت اقتصادی می‌باشد (۳۷). در این راستا به‌منظور دستیابی به مدیریت پایدار خاک و پیش‌بینی خطرات تخریب خاک، تعیین روشی مناسب برای ارزیابی کیفیت خاک دارای اهمیت می‌باشد (۳۸).

با توجه به تاثیرپذیری کیفیت خاک از ویژگی‌های مختلف خاک، ارائه ارزیابی جامع از وضعیت کیفیت خاک نیازمند روش‌هایی است که بتواند به نحو مطلوبی ویژگی‌های مختلف موثر بر کیفیت خاک را با هم ترکیب و با در نظر گرفتن همبستگی بین آن‌ها، مهم‌ترین آن ویژگی‌ها را مشخص کند. یکی از این روش‌ها، تجزیه مولفه‌های اصلی است، که باکمن و کینزل (۵) از این روش، برای انتخاب متغیرهایی که بهترین نماینده کیفیت خاک هستند، استفاده کردند. مدل‌ها ابزارهایی عملی هستند که به کمک آن‌ها می توان به درکی از واقعیت، البته نه کل آن، بلکه بخش مفید و قابل فهم آن دست یافت. امروزه، مدل‌های شبیه سازی گیاهی به عنوان ابزاری چندمنظوره در تحقیقات و مدیریت زراعی مطرح هستند. انواع مختلفی از مدل‌های پیش بینی عملکرد وجود دارد که یکی از رایج‌ترین و در عین حال ساده‌ترین آن‌ها مدل‌های تجربی رگرسیونی است.

یکی از مشکلات مهم در زراعت زعفران، کم‌بازده شدن مزرعه پس از گذشت یک دوره کشت (حدود ۷ تا ۱۰ سال) می‌باشد. یک بنه زعفران پس از گذشت یک سال زراعی به دو یا چند بنه جدید تقسیم شده و علاوه بر تازه شدن، سالیانه بر تعداد بنه‌ها نیز افزوده می‌شود. همچنین زارعین پس از گذشت چند سال، تعداد بنه‌های مزرعه را برای جلوگیری از تراکم زیاد، کم می‌کنند. در نتیجه به احتمال زیاد، دلیل افت بازده مزرعه، سن یا تراکم بنه نیست، بنابراین علت این کاهش بازده، می‌تواند مربوط به عوامل خاکی باشد. این موضوع نشان دهنده اهمیت بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک زعفران و همچنین روند تغییرات آن در طول دوره کشت زعفران می‌باشد. شاهنده نشان داد که بخش مهمی از تغییرات عملکرد زعفران به ویژگی‌های خاک وابسته است (۳۳). هدف از این پژوهش تعیین مهم‌ترین ویژگی‌های خاکی مزارع زعفران و بررسی روابط ویژگی‌های خاکی با عملکرد زعفران، شناسایی مهم‌ترین ویژگی‌های موثر بر عملکرد و تعیین میزان نسبی نقش هریک از آن‌ها بر روی عملکرد به منظور تخمین عملکرد زعفران بر اساس این ویژگی‌ها بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ در منطقه قاینات (خراسان جنوبی) به مرحله اجرا درآمد. نظر به این‌که منطقهٔ قاینات یکی از مناطق عمده‌ی تولید زعفران ایران می‌باشد، این منطقه به عنوان محل انجام پژوهش انتخاب شد. این منطقه در حد فاصل طول

جغرافیایی "۱۰/۳۷، ′۱۰، °۵۹ و " ۳۸/۴۱، ′۱۱، °۵۹ شرقی و "۳۵/۰۸، ′۴۳، °۳۳ و " ۰۲/۷۸، ۴۴، °۳۳ شمالی قرار دارد.

انتخاب مزارع به گونه‌ای انجام شد که عملیات کشاورزی و مدیریت زراعی در آن‌ها تقریباً یکسان بود و با توجه به این‌که اوج محصول‌دهی مزارع زعفران سال پنجم تا ششم کشت می‌باشد، نمونه‌برداری از مزارعی انجام شد که سن بنه‌های آن‌ها در این بازه قرار داشت. زمان نمونه برداری با توجه به مرحله فنولوژیکی و فیزیولوژیکی زعفران، در ابتدای مرحله زایشی این گیاه یعنی اواخر تابستان صورت گرفت. مشخصات مربوط به مختصات جغرافیایی هر مزرعه (طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا) و هم‌چنین مساحت مزرعه توسط دستگاه GPS تعیین شد. سپس عملکرد روزانه هر مزرعه (بر حسب کیلوگرم)، در یک دوره ۱۰ روزه ثبت شد و مقدار عملکرد برای هر مزرعه بر حسب کیلوگرم بر هکتار محاسبه شد.

در این پژوهش ۲۱ ویژگی شیمیایی و فیزیکی خاک که در منابع مختلف به عنوان ویژگی‌های موثر بر کیفیت خاک معرفی شده‌اند (۲۷، ۳۴ و ۳۸) به عنوان کل مجموعه ویژگی‌های موثر (TDS[1]) در نظر گرفته شدند و در تمام ۳۰ نمونه برداشت شده با روش‌های معمول آزمایشگاهی اندازه‌گیری شدند (جدول ۱). pH در عصاره اشباع به وسیله دستگاه pH متر (۱۷)، EC به روش هدایت سنجی در عصاره اشباع خاک (۱۷)، جرم مخصوص ظاهری خاک به روش کلوخه پوشش یافته با پارافین (۱۸)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون با سود (۱۷)، کربن آلی خاک به روش والکلی و بلک (۳۶)، نیتروژن کل به روش کجلدال (۱۲)، فسفر قابل استفاده در خاک به روش اولسن (۲۴)، غلظت سدیم محلول در عصاره اشباع به روش شعله‌سنجی با استفاده از دستگاه فلیم فوتومتر (۲۶ و ۲۹)، کلسیم و منیزیم محلول در عصاره اشباع به روش کمپلکسومتری (تیتراسیون با EDTA) (۲۶ و ۲۹)، نسبت جذب سدیم (SAR) با استفاده از فرمول $SAR = Na/(Ca + Mg)^{1/2}$ (۱۷)، آهن، روی، منگنز و مس قابل استفاده با روش عصاره‌گیری با DTPA و قرائت با دستگاه جذب اتمی (۱۸)، درصد ذرات معدنی خاک (رس، سیلت و شن) به روش هیدرومتری با قرائت چهار زمانه (۱۰) و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) به روش الک تر (۱۶)، مقدار آب قابل استفاده (AWC) با استفاده از دستگاه صفحات فشاری در مکش‌های ۳۰۰ و ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر و رابطهٔ $AWC = \theta_{FC} - \theta_{PWP}$ (۲۴) و پتاسیم قابل استفاده خاک به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم و قرائت با دستگاه فلیم فوتومتر (۱۷)، اندازه‌گیری شدند.

برای گزینش مجموعهٔ مهم‌ترین ویژگی‌های خاکی مزارع زعفران (MDS[2])، به علت قابلیت روش تجزیه مولفه‌های اصلی (PCA[3]) در انتخاب این ویژگی‌ها، از این روش استفاده شد. محاسبات به وسیله نرم‌افزار JUMP8 انجام شد. روش PCA برای کاهش حجم داده‌ها، به صورت انتخاب مهم‌ترین ویژگی‌هایی که بیشترین همبستگی را با سایر ویژگی‌ها دارند، از میان ۲۱ ویژگی مورد بررسی خاک انتخاب شد. طبق روشی که توسط اندروس و همکاران (۱) و گوارتز و همکاران (۱۱) برای انتخاب مهم‌ترین ویژگی‌ها ارائه شده است، مولفه‌های اصلی با ارزش ویژه بزرگتر از ۱ به عنوان مهم‌ترین ویژگی‌ها انتخاب شدند.

علاوه بر روش PCA، از آن‌جاکه روش رگرسیون گام به گام می‌تواند ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی موثر بر عملکرد زعفران را رتبه‌بندی کند، بنابراین برای تعیین سهم ویژگی‌هایی که بیشترین تاثیر را بر عملکرد زعفران داشتند از این روش استفاده شد. در تجزیه رگرسیون گام به گام عملکرد زعفران به عنوان متغیر وابسته و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شدند. در این روش ابتدا تمام ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک وارد معادله شدند و بعد ویژگی‌هایی که ضریب آن‌ها معنی‌دار نبود، از معادله حذف شدند. میزان تاثیرگذاری هر ویژگی بر روی متغیر وابسته (عملکرد زعفران) از روی قدر مطلق بتای استاندارد آن ویژگی تعیین شد.

نتایج و بحث

اگرچه ویژگی‌های محدودی از خاک به عنوان شاخص‌های کیفیت خاک مطرح شده است (۳ و ۲۱)، بررسی میزان همبستگی بین این ویژگی‌ها با استفاده از روش PCA ارزیابی بهتری از کیفیت خاک را ممکن می‌سازد.

ویژگی‌های مورد بررسی خاک به همراه ارزش ویژه به‌دست آمده از روش تجزیه مولفه‌های اصلی در جدول (۱) ارائه شده است. از میان ۲۱ ویژگی مورد بررسی هفت ویژگی به‌عنوان مهم‌ترین ویژگی‌ها انتخاب شدند. با توجه به ارزش ویژه به دست آمده از روش PCA مهم‌ترین ویژگی‌ها به ترتیب شامل کلسیم (Ca)، آهن (Fe)، روی (Zn)، درصد شن (sand)، درصد کربنات کلسیم معادل ($CaCO_3$)، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) و منگنز (Mn) بودند که ارزش ویژه‌ی آن‌ها بیشتر از یک بود، بنابراین این ویژگی‌ها به‌عنوان مهم‌ترین ویژگی‌های خاک مزارع زعفران در منطقه قاین در نظر گرفته شدند.

با توجه به ارزش ویژه به دست آمده برای کلسیم، این ویژگی به عنوان مهم‌ترین ویژگی خاک مزارع زعفران تعیین شد (جدول ۱). در خاک‌های کلسیم‌دار مواد آلی خوب تجزیه می‌گردند (۳۵). چنین خاک‌هایی برای کشت زعفران بسیار مناسب هستند. از آن‌جایی که کلسیم نقش مهمی در هم‌آوری ذرات خاک و خاکدانه‌سازی دارد

1- Total Data Set
2- Minimum Data Set
3- Principal Component Analysis

می‌توان بیان کرد که وجود این عنصر یک عامل موثر در ارزیابی کیفیت خاک مزارع زعفران است. میانگین مقدار کلسیم خاک این مزارع ۲۹۵/۸ میلی‌گرم برکیلوگرم بود، همچنین بیشتر کلسیم موجود در خاک به صورت کربنات کلسیم است که اثر منفی بر فراهمی عناصر کم‌مصرف خاک دارد.

جدول ۱- ویژگی‌های مورد بررسی و ارزش ویژهٔ به دست آمده از تجزیه مولفه‌های اصلی (PCA)

Table 1- studied properties and their eiganvalues obtained by principle component analysis (PCA) method.

ویژگی‌های خاک soil properties	میانگین Average	دامنه تغییرات Range	ارزش ویژه Eigen Value
pH	7.8	7.41-8.26	0.905
Ca+Mg (mg/kg)	993.6	416-2560	0.588
کربنات کلسیم معادل $CaCO_3$ (%)	22.92	19.94-26.44	1.314
Ca (mg/kg)	295.8	80-660	2.096
Na (ppm)	419.27	54.42-1197.34	-0.325
P (%)	0.006	0.001-0.02	0.407
K (%)	0.04	0.01-0.13	0.728
Fe (ppm)	2.95	1-15.39	1.636
Cu (ppm)	0.9	0.47-1.57	0.094
Zn (ppm)	0.57	0.33-1.4	1.497
Mn (ppm)	5.32	0.74-14.96	1.128
کربن آلی OC (%)	1.2	0.76-2.42	0.769
N (%)	0.11	0.05-0.23	0.963
جرم مخصوص ظاهری Bulk density (gcm^{-3})	1.57	1.3-1.9	-0.592
EC (dSm^{-1})	3.07	1.12-8.04	0.154
درصد رس Clay (%)	19.50	13.01-25.35	-0.828
درصد شن Sand (%)	43.13	31.86-62.2	1.488
درصد سیلت Silt (%)	37.37	24.64-46.85	0.272
نسبت جذب سدیم SAR	6.33	1-14.49	0.601
میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها MWD (mm)	0.51	0.21-1.26	1.148
آب قابل استفاده AWC (cm^3cm^{-3})	0.125	0.1-0.15	0.414

ویژگی‌های دارای ارزش ویژه بزرگتر از یک به صورت پر رنگ نشان داده شده و به عنوان مجموعه مهم‌ترین ویژگی‌ها در نظر گرفته شدند.

Properties with high Eigan values high lighted and considered as minimum data set.

عناصر آهن، روی و منگنز نیز به عنوان مهم‌ترین ویژگی‌ها بر اساس روش PCA تعیین شدند (جدول ۱). این موضوع نشان دهنده‌ی اهمیت و نقش زیاد عناصر کم‌مصرف در وضعیت کیفیت خاک مزارع زعفران است. ماستو و همکاران (۲۱) مقدار قابل استفاده عناصر غذایی در خاک برای گیاه را جزء شاخص‌های مهم ارزیابی کیفیت خاک معرفی نمودند. خاک منطقه قاینات، یک خاک آهکی است و با توجه به اینکه وجود کربنات کلسیم در خاک باعث کاهش غلظت عناصر کم‌مصرف در محلول خاک می‌شود، غلظت این عناصر در فاز محلول خاک می‌تواند به عنوان فاکتور مهم و تاثیرگذاری بر روی کیفیت خاک این مزارع به شمار آید. کریستنسن و همکاران (۸) در پژوهشی گزارش نمودند که با افزایش کربنات کلسیم در خاک، جذب عناصر کم‌مصرف به‌ویژه روی به مقدار قابل توجهی محدود می‌شود که دلیل این امر را pH زیاد و تشکیل ترکیبات نامحلول در خاک بیان کردند.

بر اساس ارزش ویژه‌ی ارائه شده در جدول ۱ درصد شن یکی دیگر از ویژگی‌های مهم خاک در مزارع زعفران بود. زمینی که گیاه زعفران در آن کشت می‌شود باید دارای بافت متوسط، نسبتاً عمیق و دارای زهکش طبیعی باشد. از آنجایی که بنه زعفران مدت زیادی در زمین می‌ماند، خاک زمین باید سبک باشد که بنه بتواند در این مدت علاوه بر تامین مواد غذایی، در مقابل شرایط خاص منطقه‌ای نیز مقاومت نماید. بنابراین جهت رشد و نمو مناسب گیاه و تولید محصول خوب، خاکی با بافت لومی یا لومی- شنی بسیار مناسب است (۳۳). در نمونه‌های بررسی شده، چهار نمونه دارای بافت لومی - شنی و بقیه نمونه‌ها دارای بافت لومی بودند. درصد شن در این مزارع بین ۳۲ تا ۶۲ درصد متغیر بود. ویژگی‌های فیزیکی خاک از جمله میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های خاک و درصد ذرات معدنی خاک (رس، سیلت و شن) به‌طور مستقیم یا غیر مستقیم در تامین و نگهداری آب، هوا و عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان نقش دارند (۲۷). علاوه براین با افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و در نتیجه افزایش تخلخل خاک، شرایط مساعدی برای افزایش اندازه‌ی بنه‌ها فراهم می‌شود که می‌تواند در رشد رویشی و زایشی زعفران و افزایش عملکرد آن تاثیر بگذارد.

با توجه به داده‌های جدول ۱ ویژگی مهم دیگر در مزارع زعفران، درصد کربنات کلسیم معادل بود. کربنات کلسیم می‌تواند بر جذب عناصر ضروری، توسط گیاه تاثیر داشته باشد. بارشاد (۶) بیان کرده است که کمبود کربنات کلسیم در خاک‌های قلیایی می‌تواند به‌عنوان عامل محدود کننده مطرح باشد. دلیل این ادعا کاهش کربنات کلسیم پس از چند سال زراعت زعفران در یک خاک می‌باشد. البته ثابت شده است که حضور کربنات کلسیم فراهمی عناصر کم‌مصرف را برای تغذیه این گیاه کم‌تر می‌کند (۲۰).

با توجه به نتایج به دست آمده از این پژوهش به نظر می‌رسد هفت ویژگی ذکر شده نقش بسزایی در کیفیت خاک مزارع زیر کشت زعفران در منطقه قاین داشتند. از سوی دیگر با استفاده از مجموعه مهم‌ترین ویژگی‌های خاک که تعداد محدودتری از ویژگی‌های خاک را شامل می‌شوند، می‌توان با اطمینان قابل قبولی وضعیت کیفیت خاک این مزارع را ارزیابی کرد. در نتیجه تعیین مهم‌ترین ویژگی‌های خاک با استفاده از روش PCA موجب صرفه‌جویی در هزینه و زمان لازم برای ارزیابی کیفیت خاک مزارع زعفران می‌شود.

علاوه بر این، در این پژوهش برای ارزیابی روابط کمی بین ویژگی‌های خاک و عملکرد زعفران از روش رگرسیون گام به گام نیز استفاده شد. از آن‌جا که ارزیابی کلیه رگرسیون‌های ممکن به حجم زیادی محاسبه نیاز دارد، روش‌های مختلفی ایجاد شده است که فقط تعداد کمی از مدل‌های رگرسیونی دارای زیر مجموعه‌ای از متغیرها هستند که از راه افزودن یا حذف کردن متغیرها، آن‌ها را در یک زمان بررسی می‌کنند، این روش‌ها عموماً به روش‌های نوع گام به گام معروف هستند (۲۸). در این‌جا نیز برای حذف اثرات غیر موثر یا کم اثر در مدل رگرسیونی بر روی عملکرد زعفران به عنوان متغیر وابسته، از تجزیه رگرسیون گام به گام استفاده گردید.

میزان عملکرد زعفران صرف‌نظر از ریزی و درشتی بنه و سن مزرعه تابع ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک است. ضریب تبیین معادله و ضریب تاثیرگذاری هریک از این ویژگی‌ها بر روی عملکرد زعفران در جداول (۲ و ۳) آمده است. بر اساس قدر مطلق بتای استاندارد، واکنش خاک (pH) و بعد از آن مقدار روی (Zn) خاک بیشترین تاثیر را بر عملکرد زعفران داشتند (جدول ۳).

همان‌طور که ذکر شد بیشترین تاثیرگذاری بر عملکرد زعفران مربوط به pH خاک بود (جدول ۳). به طور کلی گیاهان مختلف نسبت به تغییرات pH خاک پاسخ‌های متفاوتی دارند، در این میان زعفران در pH برابر با ۷/۸ رشد مطلوبی دارد (۳۱). در نمونه‌های بررسی شده، بیشترین عملکردها مربوط به نمونه‌های دارای مقادیر pH در محدوده‌ی ۷/۶–۷/۴ و کمترین مقدار عملکردها مربوط به مقادیر pH در محدوده‌ی ۸/۲۶–۷/۹۵ بود. از آن‌جا که pH بر جذب بیشتر عناصر غذایی خاک تاثیرگذار است (۸)، احتمالا به همین علت این پارامتر بیشترین تاثیرگذاری را بر عملکرد زعفران داشته است و با افزایش آن، عملکرد کاهش یافته است. هم‌چنین pH می تواند به شکل مستقیم و غیرمستقیم روی عملکرد زعفران تاثیرگذار باشد.

جدول ۲- نتایج رگرسیون گام به گام برای عملکرد زعفران بر اساس ویژگی‌های خاک در منطقه قاینات

Table 2- Results of stepwise regression for saffron yield based on soil properties in Ghayenat area.

Determination Coeficinet	0.74
Adjusted Determination Coeficinet	0.64
Root Mean Square Error	294.6
No of Samples	30

جدول ۳- آماره‌های مدل نهایی رگرسیون گام به گام برای تخمین عملکرد زعفران

Table 3- Statistics of final regression model for estimating saffron yield.

Model Variables متغییرهای مدل	Prob میزان احتمال	Regression Constant ضریب رگرسیون	std beta
Intercept عرض از مبدا	0.011	6924.5	0
pH	0.0008	-1187.31	-0.49
EC (dsm^{-1})	0.013	-89.65	-0.34
Fe (ppm)	0.002	71.6	0.38
Zn (ppm)	0.018	-826.02	-0.41
OC (%)	0.04	471.55	0.34
K (%)	0.04	5490.96	0.26
BD (gcm^{-3})	0.004	1353.56	0.39
MWD (mm)	0.003	752.82	0.39

افزایش pH از سویی بر فراهمی عناصر غذایی به ویژه عناصر کم‌مصرف تاثیر می‌گذارد به طوری که افزایش pH باعث کاهش دسترسی گیاه به این عناصر می‌شود و از سوی دیگر تغییرات pH روی جمعیت موجودات زنده خاک که بعضی از آن‌ها برای رشد گیاه مفید می‌باشند، اثرگذار است. بعد از pH، روی با بتای استاندارد ۰/۴۱ به عنوان دومین ویژگی تاثیرگذار بر عملکرد زعفران تعیین شد (جدول ۳). سعیدی راد و همکاران (۳۲) بیان داشتند که استفاده از عناصر کم‌مصرف به همراه کود دامی می‌تواند در بهبود تغذیه زعفران و افزایش عملکرد نقش داشته باشد. روی مانند بسیاری از عناصر کم‌مصرف دیگر، مراکز تمرکز و محدودهٔ وظایفش در گیاه مشخص نیست. اما به نظر می‌رسدکه در تشکیل و فعالیت هورمون‌های رشد و کلروپلاست نقش داشته باشد (۷). همین‌طور این عنصر در بسیاری از سیستم‌های آنزیمی گیاه نقش کاتالیزوری فعال کننده و یا ساختمانی دارد و در ساخته شدن و تخریب پروتئین ها دخیل است (۲۴).

پس از این دو ویژگی به ترتیب جرم مخصوص ظاهری (Bd)، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD)، مقدار آهن (Fe)، هدایت الکتریکی خاک (EC)، درصد کربن آلی (OC%) و درصد پتاسیم (K%) بیشترین تاثیرگذاری را بر عملکرد زعفران داشتند (جدول۳). جرم مخصوص ظاهری (Bd)، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های خاک و درصد ذرات معدنی خاک (رس، سیلت و شن) به‌طور مستقیم یا غیر مستقیم در تامین و نگهداری آب، هوا و عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان نقش دارند (۲۷). جرم مخصوص ظاهری از پارامترهای کلیدی در تعیین کیفیت خاک می‌باشد. این پارامتر بر بسیاری از فاکتورهای موثر بر کیفیت خاک از قبیل سرعت نفوذ آب، هوای خاک، میزان فشردگی خاک و نگهداشت آب در خاک نیز تاثیر بسزایی دارد.

آهن یکی از عناصر ضروری برای رشد تمامی گیاهان است. بر اساس داده‌های موجود در جدول ۳ آهن دارای تاثیرگذاری بالایی بر روی عملکرد زعفران بود. به طوری‌که به عنوان پنجمین عامل موثر در عملکرد در نظر گرفته شد. در صورت کمبود آهن در سلول‌های برگ، سبزینه (کلروفیل) به مقدار کافی تولید نمی‌شود و در نتیجه عمل فتوسنتز به خوبی صورت نگرفته و گیاه با افت شدید عملکرد مواجه می‌شود. طول دوره رشد ظاهری زعفران حدود هفت ماه است که در این مدت برگ‌ها به عنوان اندام تولید کننده مواد فتوسنتزی آسیمیلات‌های لازم برای بنه‌ها و ریشه زعفران را تهیه و به اندام‌های زیرزمینی انتقال می‌دهد تا مواد غذایی لازم برای دورهٔ رشد بعدی گیاه را ذخیره کند. میزان این مواد انتقال یافته به سطح برگ، راندمان فتوسنتز و مقدار آهن بستگی دارد (۱۴). ویژگی تاثیرگذار بعدی هدایت الکتریکی خاک (EC) بود (جدول ۳). هدایت الکتریکی خاک (EC) بیانگر مقدار املاح محلول در خاک است. غلظت بالای املاح محلول خاک باعث کاهش جذب عناصر غذایی توسط بنهٔ زعفران می‌شود. هرچه مقدار املاح در خاک بیشتر باشد فشار اسمزی در گیاهان بیشتر خواهد بود زیرا گیاه باید حداقل فشار اسمزی، معادل فشار اسمزی محلول خاک تولید کند تا بتواند آب و عناصر غذایی را جذب کند (۳۹). در مورد زعفران شوری خاک به دلیل کاهش توانایی بنه در جذب عناصر غذایی لازم برای رشد بهینه، موجب کوچک شدن بنه زعفران و در پی آن کاهش عملکرد نهایی می‌شود (۳۱).

درصد کربن آلی (OC%) با ضریب تاثیر گذاری ۲/۱۸ و استاندارد بتای ۰/۳۴، هفتمین ویژگی مهم تاثیرگذار بر عملکرد زعفران بود (جدول ۳). محدودیت ماده آلی و عدم توجه به افزایش آن یکی از مهم‌ترین موانع موجود در مزارع زعفران می‌باشد. با توجه به عمق قرارگیری بنه زعفران (۴۰- ۰ سانتی‌متر) در خاک، بنه این گیاه در معرض تغییرات رطوبتی و حرارتی است، وجود ماده آلی می‌تواند مقاومت بنه زعفران را در برابر این تغییرات افزایش دهد که این امر منجر به افزایش عملکرد محصول می‌شود. بر اساس جدول ۳ آخرین ویژگی تاثیرگذار بر عملکرد زعفران با استاندارد بتای ۰/۲۶، پتاسیم بود. پتاسیم عمده‌ترین کاتیون سیتوپلاسم بوده و نقش مهمی در تنظیم پتانسیل اسمزی بافت‌ها و سلول‌های گیاه دارد که این بیان‌گر اهمیت نقش این عنصر در ورود و خروج املاح و مواد غذایی به داخل گیاه می‌باشد. همچنین حضور این عنصر مقاومت گیاه را در برابر کم آبی، سرمازدگی، شوری وآفات و بیماری‌ها افزایش داده که به دنبال آن مقدار عملکرد نیز افزایش خواهد یافت (۳۱).

با توجه به مقدار ضریب تبیین معادله که در جدول ۲ ارائه شده است می‌توان نتیجه گرفت که مجموعه این ویژگی‌ها مهم‌ترین عوامل خاکی تاثیرگذار برروی عملکرد زعفران هستند و با اندازه‌گیری این ویژگی‌های خاک و معادله به‌دست آمده از راه رگرسیون گام به گام، می‌توان مدل رابطهٔ بین مهم‌ترین ویژگی‌ها و عملکرد زعفران را به‌صورت زیر پیشنهاد کرد. این رابطه می‌تواند تخمین قابل قبولی از میزان عملکرد زعفران داشته باشد.

$$Y= ۶۹۲۴/۵۱ - ۱۱۸۷/۳۱(pH) - ۸۹/۶۵(EC) + ۷۱/۶(Fe) - ۸۲۶/۰۲ (Zn) + ۴۷۱/۵۵(\%OC) + ۵۴۹۰/۹۶(\%K) + ۱۳۵۳/۵۶(BD) + ۷۵۲/۸۲(MWD)$$

$Y=$ عملکرد زعفران (kg/ha)

شاهنده (۳۳) در ۳۰ مزرعه زعفران در حومه شهرستان گناباد بررسی گسترده‌ای برای یافتن رابطه بین عملکرد زعفران با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک انجام داد و نتیجه گرفت برخلاف نیاز کودی کم این گیاه ۱۶ تا ۸۰ درصد تغییرات عملکرد گل زعفران به متغیرهای مربوط به خاک وابسته است.

نتیجه‌گیری کلی

به طور کلی با تحلیل نتایج بـه دسـت آمـده از دو روش PCA و رگرسیون گام به گـام، غلظـت عناصـر کـم‌مصـرف (آهـن و روی) و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در هر دو روش به عنـوان ویژگـی‌هـای مهم و تاثیرگذار بر عملکرد زعفران در مـزارع منطقـه قاینـات، تعیـین شدند. علاوه‌براین pH خاک در روش رگرسیون گام به گام و کربنـات کلسیم معادل در روش PCA پارامترهای تاثیرگذار بر عملکرد زعفران تعیین شدند. با توجه به این‌که ایـن دو پـارامتر بـا یکـدیگر در ارتبـاط هستند، بنابراین می‌توان گفت pH و کربنات کلسیم نیز که بر قابلیـت دسترسی عناصر غذایی کم‌مصـرف تاثیرگـذار اسـت، در هـر دو روش لحاظ شده‌اند. این موضوع نشان دهنده اهمیت زیـاد ایـن ویژگـی‌هـا برای افزایش راندمان محصـول زعفـران منطقـه مـی‌باشـد. بنـابراین پیشنهاد می‌شود که برای رسیدن به حداکثر عملکرد، بهتـر اسـت کـه خاک مزرعه زعفران، به ویژه مهم‌ترین ویژگی‌های خاکی معرفی شده در این پژوهش مورد بررسی قرار گیرند.

منابع

1- Abrishami M.H. 1988. Knowledge of Iranian saffron. Towsan Tehran Press. (in Persian).
2- Andrews S.S., Mitchell J.P., Mancinelli R., Karlen K.L., Hartz T.K., Horwath W.R., Pettygrove G.S., Scow K.M. and Munk D.S. 2002. On-farm assessment of soil quality in California's central valley. Agronomy Journal, 94: 12–23.
3- Arshad M.A. and Coen G.M. 1992. Characterization of soil quality: physical and chemical criteria. American American Journal of Alternative Agriculture, 7(1-2): 25-31.
4- Azizbekova N.Sh., Milyaeva E.L., Lobova N.V. and Chaylakhya M.Kh. 1978. Effect of gibberellin and kinetin on formation of flower organs in saffron. Soviet Plant Physiology. 25(3): 471-476.
5- Bachman, G. and Kinzel H. 1992. Physiological and ecological aspects of the interaction between plant roots and rhizosphere soil. Soil Biology1. Biochemistry, 24: 543-552.
6- Barshad I.E., Halevy H.A.G. and Hagin G. 1956. Clay minerals in some limestone soils from Israel. Soil Science. 81: 423-437.
7- Behnia M. 1992. Agronomy of saffron. Tehran University press. (in Persian).
8- Christensen J.V., Legge W.G., Depauw R.M., Hennig A.M.F., McKenzie J.S., Siemens B. and Thomas J.B. 1995. Effect of seeding date, nitrogen and phosphate fertilizer on growth, yield and quality of rapeseed in Northwest Alberta. Canadian Journal of Plant Science, 65: 275-284.
9- Dhar A.K., Sapru R., and Rekha K. 1998. Studies in Saffron in Kashmir. Crop Improvement. 15(1), 48-52.
10- Gee, G.W. and Bauder J.M. 1986. Partical-size analysis. In Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods. Agronomy Monograph No. 9 (2nd edition), American Society of Agronomy, Madison, WI. Pp 383-411.
11- Govaerts B., Sayre K.D. and Deckers J. 2006. A minimum data set for soil quality assessment of wheat and maize cropping in the highlands of Mexico. Soil and Tillage Research, 87: 163–174.
12- Hesse P.R. 1971. A text book of soil chemical analysis. John Murray. London.
13- Ingram J.S. 1964. Saffron (Crocus sativus L.). Tropical Science. 11: 1771-1784.
14- Kafi M., Rashed Mohasel M.H., Kocheki A. and MollaFilabi A. 2003. Saffron: technology of production and processing. Ferdowsi University of Mashhad Press. (in Persian).
15- Karimi G., Hosseinzadeh H. and Khaleghpanah P. 2001. Study of antidepressant effect of aqueous and ethanolic extract of Crocus sativus in mice. Iranian Journal of Basic Medical Science, 4: 11-15.
16- Kemper W.D. and Rosenau R.C. 1986. Aggregate stability and size distribution. In: Klute A (ed). Methods of Soil Analysis. Part a: Physical and Mineralogical Methods. American Society of Agronomy. Soil Science Society of America, Madison, WI. Pp 425–442.
17- Knudsen D., Peterson G.A. and Pratt P.F. 1982. Lithium, sodium and potassium. p. 225-246. In: A.L. Page (ed) Methods of Soil Analysis. Part 2. America Society of Agronomy. Madison, WI.
18- Lindsay W.L. and Norvel W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for Zinc, Iron, Manganese and Copper.
19- Lucas R.F. and Knezek B.D. 1973. Climatic and Soil Conditions Promoting Micronutrient Deficiencies in Plants. Micronutrients in Agriculture. Soil Science Society of America.
20- Madan C.L., Kapar B.M. and Gupta U.S. 1966 Saffron. Soviet Plant Physiology, 25, 227-233.
21- Masto RE., Chhonkar P.K, Singh D., and Patra A.K. 2008. Alternative soil quality indices for evaluating the effect of intensive cropping, fertilization and manuring for 31 years in the semi-arid soils of India. Environment Monitoring and Assessment, 136: 419-435.
22- Munshi A. M. 1994. Effect of N and K on the floral yield and corm production in saffron under rainfed condition. Indian Arcanut and Spices Journal. 18: 24-44.

23- Negbi M. 1999. Saffron cultivation: past, present and future prespects. In: M. Negbi. (ed). Saffron (Crocus sativus L.) Harwood Amesterdam. Pp. 1-17.
24- Olsen S.R., Cole C.V., Watanabe F.S. and Dean L.A. 1954. Estimation of Available Phosphorous in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate; U.S. Department of Agriculture: Washington, D.C., USDA Circ. 939.
25- Omidi H., Golzad A., Torabi H., and Fatokian M.H. 2009. Effect of bio and chemical fertilizer on quality and quantity of saffron. Medicinal plant Journal, 2(30): 98-109. (in Persian).
26- Page A.L., Miller R.H., and Keeney D.R. 1982. Methods of Soil Analysis, part2, chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of Aamerica, Madison, WI.
27- Reynolds W.D., Drury C.F., Tan C.S., Fox C.A. and Yang X.M. 2009. Use of indicators and pore volumefunction characteristics to quantify soil physical quality. Geoderma, 152: 252-263.
28- Rezaee A.M. and Soltani A. 1999. An Introduction on Regression Analysis. Isfahan University of Technology Press, Isfahan, Iran. (in Persian).
29- Richards L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soil. USDA .Agriculture. Hand Book. No. 60.
30- Sadeghi B. 1997. Effect of storage and cultivation date on flowering of saffron. Scientifitic and industrial researches organization of Khorasan center press. (in Persian).
31- Saeedi Rad M. and Mokhtarian A. 2010. Scientifitic principles of cultivation, growing and harvesting of saffron. Sarva Press. (in Persian).
32- Saeedi Rad M., Akram A. and Mahdi Nia A. 2007. Manufacturing and evaluation of saffron cultivator. Iranian Journal of agricultural Science. 37(1)**:** 167-174. (in Persian).
33- Shahandeh H. 1991. Evaluation physical and chemical properties of soil and water in relation to saffron yield in Gonabad area. Scientifitic and industrial researches organization of Khorasan center press. (in Persian).
34- Torbert H.A., Krueger E. and Kurtene D. 2008. Soil quality assessment using fuzzy modeling. International Agrophysics, 22**:** 365-370.
35- Vafa Bakhsh J., Ahmadian H., Sheibani D. and Bodagh Jamali J. 2003. Determination the potential of saffron cultivation in different area of Iran. The first festival of saffron, 2-3 Dcember, Ghayen, Iran. (in Persian).
36- Walkley A. and Black I.A. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science, 37**:** 29-37.
37- Wander M.M., Walter G.L., Nissen T.M., Billero G.A., Andrews S.S. and Cavanaugh-Grant D.A. 2002. Soil quality: science and process. Agronomy Journal, 94**:** 23–32.
38- Yanbing Q., Darilek J.L., Biao H., Yongcun Z., Sun W. and Gu Z. 2009. Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China. Geoderma, 149**:** 325-334.
39- Zarrin Kafsh M. 1990. Soil fertility and production. Tehran University press. (in Persian).

Journal of Water and Soil
Vol. 29, No. 3, Jul.-Agu. 2015, p. 673-682

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۹، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۴، ص. ۶۸۲-۶۷۳

Determining the Most Important Soil Properties Affecting the Yield of Saffron in the Ghayenat Area

A. Ranjbar[1*] - H. Emami[2] - A. Karimi Karouyeh[3] – R. Khorassani[3]

Received: 18-01-2014
Accepted: 15-03-2015

Introduction: Saffron is one of the most important economic plants in the Khorasan province. Awareness of soil quality in agricultural lands is essential for the best management of lands and for obtaining maximum economic benefit. In general, plant growth is a function of environmental factors especially chemical and physical properties of soil (20). It has been demonstrated that there was a positive and high correlation between soil organic matter and saffron yield. Increasing the yield of saffron due to organic matter is probably due to soil nutrient, especially phosphorous and nitrogen and also improvement of soil physical quality (6, 28, 29). The yield of saffron in soils with high nitrogen as a result of vegetative growth is high (8). Shahandeh (6) found that most of the variation of saffron yield depends on soil properties. Due to the economic importance of saffron and the role of soil properties on saffron yield, this research was conducted to find the relationship between saffron yield and some soil physical and chemical properties, and to determine the contribution of soil properties that have the greatest impact on saffron yield in the Ghayenat area.

Materials and Methods: This research was performed in 30 saffron fields (30 soil samples) of the Ghayenat area (longitude 59° 10° 10.37° - 59° 11° 38.41° and latitude 33° 43° 35.08° - 33° 44° 02.78°), which is located in the Khrasan province of Iran. In this research, 21 soil properties were regarded as the total data set (TDS). Then the principal component analysis (PCA) was used to determine the most important soil properties affecting saffron yield as a minimum data set (MDS) and the stepwise regression to estimate saffron yield. To estimate the yield of saffron in stepwise regression method, saffron yield was considered as a dependent variable and soil physical and chemical properties were considered to be independent variables.

Results and Discussion: According to the PCA method, among the 21 studied properties, 7 out of them including calcium, iron, zinc contents, sand, calcium carbonate equivalent percent, mean weight diameter of aggregates (MWD) and manganese (Mn) had the higher Eigenvalues. Therefore, the above properties were introduced as the most important soil properties in saffron fields. Calcium carbonate had the negative effect on the availability of micro-nutrients (26). Christensen et al. (15) found that by increasing the calcium carbonate in soil due to high pH and formation of insoluble components, the uptake of micro-nutrients is especially limited.

The results of stepwise regression method (equation 1) showed that soil acidity (pH), zinc content, bulk density, MWD, iron content, salinity (EC), organic carbon and available potassium in soil were the most important properties that affect the yield of saffron, so that the determination coefficient (R2) of the regression model was high (Table 2) and it can explain 74% of the variation of saffron yield.

$$Y = 6924.51 - 1187.31\ pH - 89.65\ EC + 71.6\ Fe - 826.02\ Zn + 471.55\ OC, + 5490.96\ K + 1353.56\ BD + 752.82\ MWD \quad (1)$$

where Y: saffron yield (kgha-1), pH: soil acidity, EC: electoral conductivity (dSm-1), Fe: iron concentration (mgkg-1), Zn: zinc concentration (mgkg-1), OC: organic carbon (%), K: soil potassium (%), BD: soil bulk density (Mgm-3), and MWD: mean weight diameter of aggregates (MM.(

Based on the absolute values of standard ß in the regression model (Table 3), pH value and then after Zn concentration had the most effect on saffron yield. In general, responses of different plants to soil pH is varied, and saffron grows satisfactory in pH = 7.8 (5). Soil pH influences the uptake of soil nutrients by plants (15), so that this parameter had the most effect on saffron yield and by increasing the soil pH, the yield of saffron decreases. According to the regression model, Zn concentration was the second parameter in saffron yield. Zn has the important role in structure of plant enzymes (30). After these 2 parameters, Bd, MWD, Fe concentration, EC, Organic carbon and K concentration in soil had more effect on saffron yield (Table 3).

Conclusion: According to both PCA and regression methods, the concentration of iron and zinc and MWD were determined as the important and effective soil properties on saffron yield in the Ghayenat area. In addition,

1, 2, 3, 4- Former M.Sc. Student and Associate Professors of Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Respectively
(*- Corresponding Author Email: ahoura.ar@gmail.com)

soil pH in stepwise regression method and calcium carbonate in PCA method were determined as the effective properties on saffron yield. Therefore, it is suggested that the parameters of Zn, Fe, and MWD along with soil pH and calcium carbonate which were regarded individually in two methods, were considered as the most soil properties in saffron yield.

Keywords: Economic yield of saffron, Principal component analysis, Soil properties, Stepwise regression