

ارزیابی و پهنه‌بندی شاخص‌های کیفیت تجمعی و نمر و خاک و ارتباط آن‌ها با عملکرد گل محمدی (مطالعه موردی: شهرستان بردسیر، استان کرمان)

*مرتضی بهمنی^۱، جهانگرد محمدی^۲، عیسی اسفندیارپور بروجنی^۳ و حمیدرضا متقیان^۴

^۱دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه شهرکرد، استاد گروه علوم خاک، دانشگاه شهرکرد،

^۲دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، ^۳استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه شهرکرد

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۰۹

چکیده

سابقه و هدف: ارزیابی کیفیت خاک اراضی کشاورزی، امری ضروری برای موفقیت‌های اقتصادی و پایداری محیط‌زیست در مناطق در حال توسعه می‌باشد. در حال حاضر انواع بسیار زیادی از روش‌ها برای ارزیابی کیفیت خاک استفاده می‌شوند که هر کدام معیارهای متفاوتی را به کار می‌گیرند. با توجه به این‌که شهرستان بردسیر یکی از مهم‌ترین قطب‌های تولیدکننده گل محمدی در استان کرمان و ایران می‌باشد و نظر به اهمیت ارزیابی کیفیت خاک به‌عنوان شاخصی از کشاورزی پایدار و بهره‌برداری بهینه از منابع طبیعی، در این پژوهش، کیفیت خاک در بخشی از اراضی کشت شده گل محمدی با استفاده از شاخص کیفیت خاک تجمعی (IQI) و شاخص کیفیت خاک نمر و (NQI) در ترکیب با دو روش انتخاب معیار کل مجموعه داده‌ها (TDS) و حداقل مجموعه داده‌ها (MDS) برای دو عمق ۰-۲۵ و ۲۵-۵۰ سانتی‌متری ارزیابی شد.

مواد و روش‌ها: برای اجرای این پژوهش، مزرعه‌ای به مساحت ۳۰ هکتار در شهرستان بردسیر در استان کرمان انتخاب شد. سپس موقعیت ۱۰۰ محل برای اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک (عمق ۰-۲۵ و ۲۵-۵۰ سانتی‌متر) و عملکرد گیاه مشخص و نمونه‌برداری صورت گرفت. با استفاده از روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA) از میان کل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک، مهم‌ترین ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک (MDS) تعیین شدند. نتایج نشان داد که در عمق اول متغیرهای ماده آلی، شن، منگنز، کربنات کلسیم معادل، روی و مس و در عمق دوم هم متغیرهای شن، پتاسیم، کربنات کلسیم معادل، روی، فسفر، سنگریزه و منگنز به‌عنوان مجموعه حداقل داده‌ها انتخاب شدند. سپس کیفیت خاک، با استفاده از دو مدل شاخص تجمعی کیفیت خاک (IQI) و شاخص کیفیت خاک نمر و (NQI) و هر کدام در دو مجموعه ویژگی‌های خاک TDS و MDS ارزیابی شد و نتایج چهار روش ترکیبی ارزیابی کیفیت خاک مزبور از طریق مقایسه با عملکرد گل محمدی آنالیز شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که ضریب همبستگی بین شاخص‌های IQI_{MDS} و IQI_{TDS} و بین NQI_{MDS} و NQI_{TDS} در عمق ۰-۲۵ سانتی‌متر به ترتیب برابر با ۰/۸۵ و ۰/۷۹ بود. هم‌چنین ضریب همبستگی بین شاخص‌های IQI_{TDS} و

* مسئول مکاتبه: bahmanimorteza@yahoo.com

IQI_{MDS} و بین NQI_{TDS} و NQI_{MDS} در عمق ۵۰-۲۵ سانتی متر به ترتیب برابر با ۰/۷۵ و ۰/۷۷ به دست آمد. تجزیه زمین آماری شاخص های کیفیت خاک نشان داد که تمامی شاخص های بررسی شده خاک و عملکرد گل محمدی، دارای مدل کروی و ساختار مکانی قوی و متوسط می باشند. دامنه تأثیر تغییرنماها از ۱۱۹/۳۳ متر برای شاخص IQI_{TDS} در عمق دوم تا ۱۵۱/۸ متر برای شاخص NQI_{TDS} در عمق اول در نوسان بود. هم چنین دامنه تأثیر عملکرد گل محمدی، ۱۲۲/۱۶ متر به دست آمد. همبستگی نقشه های کریجینگ عملکرد گل محمدی و شاخص های کیفیت خاک نشان داد که در هر دو عمق مطالعاتی، بیشترین همبستگی بین عملکرد و شاخص IQI_{TDS} می باشد. هم چنین، نتایج همبستگی بین شاخص های کیفیت خاک و عملکرد گل محمدی نشان داد که شاخص IQI_{TDS} نسبت به سایر شاخص های همبستگی بالاتری با عملکرد دارد.

نتیجه گیری: این نتایج نشان داد که شاخص کیفیت تجمعی (IQI) به ویژه در مجموعه TDS، کارایی بهتری برای ارزیابی کیفیت خاک منطقه مورد مطالعه دارد. هم چنین، نتایج این پژوهش نشان داد هر چند استفاده از مجموعه TDS در تعیین شاخص های کیفیت خاک نتایج بهتری ارائه می کند، اما به دلیل همبستگی نسبتاً خوب این مجموعه با مجموعه داده های حداقل (MDS) این امکان وجود دارد که با استفاده از MDS نیز بتوان شاخص های کیفیت خاک مزارع گل محمدی در منطقه را با دقت مناسبی تعیین کرد که این کار موجب کاهش حجم مطالعات و هزینه می شود. با این حال، اگر هدف از ارزیابی کیفیت خاک، رسیدن به عملکرد بهینه و مطلوب باشد، استفاده از شاخص IQI_{TDS} به دلیل همبستگی بیشتر این شاخص با عملکرد گل محمدی، کارایی بهتری دارد.

واژه های کلیدی: پهنه بندی، تجزیه مؤلفه های اصلی، حداقل مجموعه داده ها، عملکرد، کل مجموعه داده ها

مقدمه

روش ها و داده های مختلف وجود دارد، ولی هیچ مدلی وجود ندارد که بتواند به طور کامل تمام اهداف را جابگو باشد (۲۹). تا به حال روش های متنوعی برای جمع آوری داده ها، اندازه گیری و ارزیابی کیفیت خاک مورد استفاده قرار گرفته اند. از روش های عمدتاً کیفی تا کاملاً کمی شامل کارت های نمره دهی^۱، ارزیابی بصری خاک^۲، بسته های مزرعه ای^۳، آمایش خاک^۴ و تجزیه های آزمایشگاهی در تعیین کیفیت خاک مورد استفاده قرار گرفته اند (۷). در بین این روش ها، امروزه تجزیه های آزمایشگاهی متداول ترین روش است، که برتری آن ها، امکان استفاده آسان،

کیفیت خاک، یک شاخص مهم در کشاورزی پایدار محسوب می شود. در دهه های اخیر حفظ کیفیت خاک و آب و محیط زیست افزایش قابل توجهی در سیستم های تولید زراعی با دستیابی به عملکرد مطلوب به همراه داشته است. از این رو، ارزیابی و پیش بینی پویایی کیفیت خاک می تواند درک نسبتاً جامعی از شرایط خاک را فراهم کند. هم چنین می توان در زمینه تعیین اهداف و عملیات مدیریتی برای تولید و نگهداری خاک از آن استفاده کرد (۵۴). عوامل فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و اکولوژیکی خاک همگی بر کیفیت آن تأثیر می گذارند (۱۳).

لیو و همکاران (۲۰۱۶) بیان کردند که مدل های گوناگونی برای ارزیابی کیفیت خاک بر اساس

- 1- Scorecards
- 2- Visual Soil Assessment
- 3- Field Kits
- 4- Soil Surveys

در مطالعات مختلف، ارزیابی کیفیت خاک بر مبنای مجموعه کل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک^۱ انجام شده است. با این وجود، انتخاب یک مجموعه حداقل از ویژگی‌ها^۲ بر اساس بیش‌ترین همبستگی با مجموعه TDS می‌تواند کارایی بیش‌تری داشته باشد (۲۱). لیو و همکاران (۲۰۱۴) در چین برای به‌دست آوردن مجموعه داده‌های حداقل از روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی استفاده کردند و از بین ۱۲ ویژگی، ۴ ویژگی را به‌عنوان این مجموعه انتخاب کردند. همچنین از روش تجزیه عامل برای وزن‌دهی به ویژگی‌های کیفیت خاک استفاده کردند (۲۸).

در سال‌های اخیر، مدل‌های کمی مختلفی مانند شاخص کیفیت تجمعی^۳ و شاخص کیفیت نمره^۴ برای محاسبه شاخص کیفیت خاک ارائه شده‌اند. کارلن و همکاران (۲۰۰۱) پارامترهای متعددی را برای ارزیابی کیفیت خاک در مقیاس‌های مختلف پیشنهاد نمودند. اگرچه آن‌ها بیان نمودند که یک شاخص جهانی ایده‌آل برای کیفیت خاک وجود ندارد؛ اما یک شاخص کیفیت خاک با روش وزن‌دهی به فاکتورهای مرتبط با میزان نفوذ آب (پایداری خاکدانه‌ها، تخلخل سطحی)، جذب آب (تخلخل، کربن آلی کل، کرم‌های خاکی)، مقاومت به تخریب (پایداری خاکدانه‌ها، فرآیندهای میکروبی)، pH خاک و رشد گیاه (عمق ریشه، روابط آب و عناصر غذایی) را ارائه کردند (۲۵). پیرس و همکاران (۱۹۸۵) نیز ارزیابی خاک را با هدف تخمین کارایی شرایط خاک برای رشد ریشه انجام دادند و شاخص باروری خاک را به‌صورت ترکیبی از حد کفایت ظرفیت نگهداری آب قابل‌دسترس، چگالی ظاهری و pH تعریف کردند (۴۰). پاپ و همکاران (۲۰۰۲) شاخص حاصل توسط

انعطاف‌پذیری و کمی بودن ویژگی‌های مؤثر بر شاخص‌های مختلف کیفیت خاک است (۷). محاسبه شاخص کیفیت خاک، هسته اصلی ارزیابی کیفیت خاک است که معمولاً بر مبنای ارزیابی تجمعی مشخصه‌های کیفیت و وزن‌های آن‌ها می‌باشد (۵۱).

کارتر و همکاران (۱۹۹۷) بیان نمودند که مفهوم کیفیت خاک به نوع کاربرد خاک وابسته است (۱۱). خاک به‌عنوان بستری برای رشد گیاه، یک فیلتر و انتقال‌دهنده زیست‌محیطی، یک سکونت‌گاه برای جوامع گیاهی، جانوری و مکانی برای زندگی می‌باشد (۸). بیان کمی کیفیت خاک به‌طور مستقیم بسیار دشوار می‌باشد ولی کاربرد یک مجموعه حداقلی از شاخص‌ها که بیانگر توانایی خاک برای انجام وظایف اساسی آن باشد نیز پیشنهاد شده است (۳۱). بنابراین این پارامترها باید حساس، انعطاف‌پذیر و مرتبط با عملیات مدیریتی بوده و نیز اندازه‌گیری اثر تغییرات محیطی بر آن‌ها آسان باشد (۴۸). همچنین بهتر است این ویژگی‌ها ترکیبی از خصوصیات شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی خاک باشد (۴).

پژوهشگران مختلف، مجموعه‌های متفاوتی از ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک را برای تعیین شاخص‌های کیفیت خاک پیشنهاد نموده‌اند (۴۵) و (۱۵). برخی از این پژوهشگران شاخص کیفیت خاک را بر اساس مجموعه کل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک تعیین کرده‌اند (۱۵ و ۲۴). و برخی دیگر تعداد محدودتری از ویژگی‌های خاک را که نماینده بهتری از کیفیت خاک بودند، به‌عنوان دسته حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک پیشنهاد کرده‌اند که بدین ترتیب تعداد ویژگی‌های موردنظر کاهش یافته و موجب سهولت کار و کاهش هزینه‌های ارزیابی کیفیت خاک می‌شود (۲، ۲۱ و ۴۶).

- 1- Total data set; TDS
- 2- Minimum data set; MDS
- 3- Integrated soil quality index; IQI
- 4- Nemer soil quality index; NQI

تا ۵۶ درجه و ۴۷ دقیقه و ۳۵ ثانیه طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). ارتفاع منطقه نسبت به سطح دریا حدود ۲۱۰۰ متر می‌باشد. میانگین بارندگی سالیانه در این منطقه، ۱۷۰ میلی‌متر بوده و رژیم بارش آن، مدیترانه‌ای است. متوسط دمای سالیانه و میانگین رطوبت نسبی سالانه در این منطقه به ترتیب ۱۵ درجه سلسیوس و ۳۷ درصد می‌باشند. رژیم حرارتی و رطوبتی خاک‌های منطقه به ترتیب زیریک و مزیک هستند.

مطالعات میدانی و آزمایشگاهی: در ابتدا به کمک نرم‌افزار Map source موقعیت ۱۰۰ نقطه نمونه‌برداری در قالب یک الگوی نمونه‌برداری شبکه‌ای منظم با فاصله تقریبی ۵۰ متر طراحی شد و سپس با استفاده از سامانه موقعیت‌یاب جهانی^۱، تمامی این نقاط در سطح مزرعه مکان‌یابی شدند (شکل ۱). سپس، از دو عمق ۰-۲۵ و ۲۵-۵۰ سانتی‌متری هر نقطه مشاهداتی، با استفاده از مته، نمونه‌برداری خاک صورت گرفت. پس از تعیین نقاط نمونه‌برداری خاک در مزرعه، در محل همان نقاط عملکرد گل محمدی هم اندازه‌گیری شد. بدین صورت که چهار بوته گل محمدی که دارای کم‌ترین فاصله با محل نمونه‌برداری خاک بودند علامت‌گذاری شد، میانگین عملکرد این بوته‌ها (گرم) به‌عنوان عملکرد گیاه در آن محل منظور شد. به‌منظور به‌دست آوردن عملکرد گل محمدی (فروردین و اردیبهشت ۱۳۹۶)، هر روز گل‌های باز شده را توزین و در پایان زمان برداشت با یکدیگر جمع و عملکرد نهایی گیاه به‌دست آمد. پس از جمع‌آوری و آماده‌سازی نمونه‌ها، ۱۶ ویژگی خاک انتخاب و اندازه‌گیری شد. انتخاب این ویژگی‌ها براساس بررسی منابع (جدول ۱) انجام شد.

نحوه به‌دست آوردن مجموعه داده‌ها: شاخص‌های کیفیت خاک با دو مجموعه کل داده‌ها (TDS) و

پیرس و همکاران (۱۹۸۵) را با افزودن پارامتر ماده آلی اصلاح نمودند (۴۱).

پژوهشگرانی در داخل کشور از جمله قائمی و همکاران (۲۰۱۳) و شهاب و همکاران (۲۰۱۱) و (۲۰۱۲) از شاخص کیفیت تجمعی و شاخص کیفیت نمر و استفاده نموده‌اند. شهاب و همکاران (۲۰۱۱) برای شاخص کیفیت تجمعی و شاخص کیفیت نمر و رابطه این دو مجموعه را بررسی نمودند و به ترتیب ضریب همبستگی ۰/۶۲ و ۰/۵۶ به‌دست آورده‌اند (۴۸)، اما قائمی و همکاران (۲۰۱۳) به ترتیب ضریب همبستگی ۰/۸۸ و ۰/۸۱ به‌دست آورده‌اند (۱۷). رحمانی‌پور و همکاران (۲۰۱۳) کیفیت خاک را با استفاده از شاخص کیفیت تجمعی و تغییرات مکانی آن در بخشی از نواحی کشاورزی استان قزوین ارزیابی نمودند و نتایج آن‌ها نشان داد که نقشه کیفیت خاک حاصل از شاخص کیفیت تجمعی با روند موجود در منطقه (شامل وضعیت شوری، تراکم مراکز صنعتی و ...) همخوانی دارد و بیش‌تر قسمت‌های منطقه مورد مطالعه با استفاده از این شاخص دارای کیفیت خاک متوسط می‌باشند (۴۳). با توجه به کارایی شاخص‌های کیفیت خاک در ارزیابی اثرات عملیات مدیریتی بر کیفیت خاک، این پژوهش با هدف بررسی کیفیت خاک با استفاده از دو مدل IQI و NQI در بخشی از اراضی تحت کشت گل محمدی شهرستان بردسیر واقع در استان کرمان انجام شد.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه: مزرعه گل محمدی مورد مطالعه در این پژوهش، در شهرستان بردسیر واقع در ۷۰ کیلومتری جنوب غربی کرمان قرار دارد. این مزرعه با وسعت ۳۰ هکتار در محدوده جغرافیایی ۲۹ درجه و ۵۰ دقیقه و ۴۴ ثانیه تا ۲۹ درجه و ۵۱ دقیقه و ۴ ثانیه عرض شمالی و ۵۶ درجه و ۴۷ دقیقه و ۳۰ ثانیه

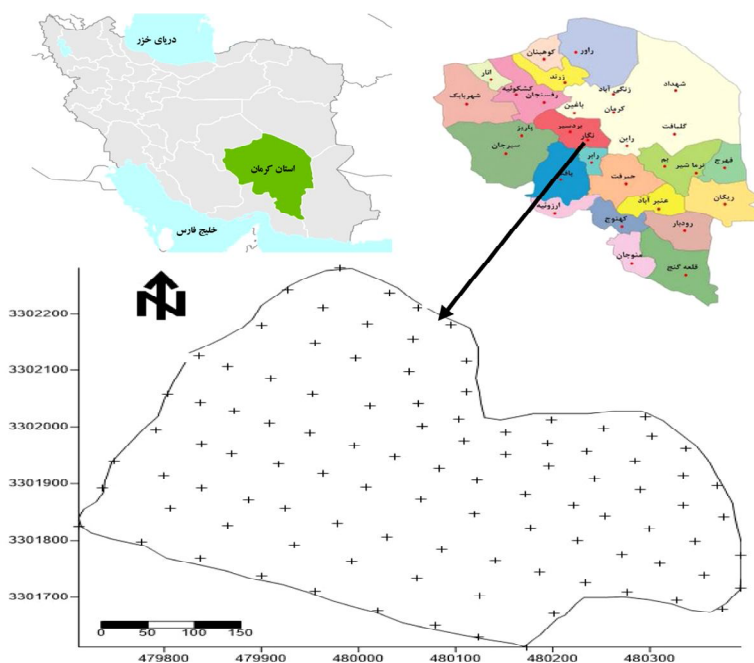
1- Global Positioning System; GPS

اصلی (PC) با ارزش ویژه بزرگتر از ۱ به عنوان MDS مورد بررسی قرار گرفتند (۳ و ۲۱). به دیگر سخن، درون هر مؤلفه اصلی، شاخص‌هایی که دارای بالاترین سهم بودند شناسایی شدند و به عنوان MDS انتخاب گردیدند.

نحوه وزندهی به ویژگی‌های انتخاب شده: جهت وزندهی ویژگی‌های مؤثر در هر دو مجموعه کل داده‌ها و دسته داده‌های حداقل، سهم هر ویژگی^۱ به روش تجزیه عاملی^۲ محاسبه شد (۵۰ و ۵۱). بدین منظور نسبت مقدار سهم هر ویژگی به مجموع مقادیر سهم کل ویژگی‌ها در هر مجموعه، به عنوان وزن هر ویژگی در نظر گرفته شد (۴۲). با توجه به این که شاخص کیفیت نمره (NQI)، کیفیت خاک را براساس نمره هر متغیر محاسبه می‌کند، روش وزندهی در مقدار عددی این شاخص تأثیری ندارد (۴۲).

مجموعه حداقل داده‌ها (MDS) محاسبه می‌شوند. در پژوهش حاضر، مجموعه کل داده‌ها (TDS) برای هر عمق نمونه‌برداری از ۱۶ ویژگی اندازه‌گیری شده تشکیل شده است.

همچنین، برای گزینش مجموعه حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک به علت قابلیت روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA) در انتخاب MDS (۱۵) از این روش استفاده شد. انجام آنالیزهای آماری مربوط به این روش با استفاده از نرم‌افزار آماری Minitab انجام گرفت. در واقع، روش PCA به منظور کاهش حجم داده‌ها، به صورت گزینش ویژگی‌هایی که بیشترین تأثیر را بر کیفیت خاک دارند، به صورت زیرمجموعه‌ای از کل ویژگی‌های مورد بررسی خاک استفاده شد (۴۲). بر اساس روشی که توسط اندریوس و همکاران (۲۰۰۲) و گوارتز و همکاران (۲۰۰۶) برای گزینش MDS پیشنهاد شده، مؤلفه‌های



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و الگوی توزیع نقاط نمونه‌برداری.

Figure 1. Location of the study area and distribution pattern of the sampling points.

- 1- Communalilty
- 2- Factor analysis

جدول ۱- ویژگی‌های انتخاب شده، روش اندازه‌گیری و منبع مورد استفاده.

Table 1. Selected characteristics, measurement method and used reference.

| منابع روش مورد استفاده | منابع استفاده‌کننده از این ویژگی‌ها | ویژگی |
|-------------------------|-------------------------------------|---|
| جی و باوذر، ۱۹۸۶ | (۴۴)، (۵) | سنگریزه (%) Coarse fragments |
| جی و باوذر، ۱۹۸۶ | (۴۹)، (۲۰)، (۵) | رس (%) Clay |
| جی و باوذر، ۱۹۸۶ | (۴۹)، (۲۰)، (۵) | سیلت (%) Silt |
| جی و باوذر، ۱۹۸۶ | (۴۹)، (۲۰)، (۵) | شن (%) Sand |
| نلسون و سامر، ۱۹۸۲ | (۴۹)، (۲۰)، (۵)، (۱۷) | کربن آلی (%) OC |
| پیچ و همکاران، ۱۹۸۲ | (۴۹)، (۲۰)، (۵) | کربنات کلسیم معادل (%) CCE |
| پیچ و همکاران، ۱۹۸۲ | (۴۴) | ظرفیت تبادل کاتیونی (cmol ⁺ kg ⁻¹) CEC |
| بریمر، ۱۹۸۲ | (۲۰)، (۵)، (۱۷) | نیتروژن کل (mg kg ⁻¹) N |
| الکنانی و همکاران، ۱۹۸۴ | (۲۰)، (۵)، (۱۷) | پتاسیم قابل دسترس (mg kg ⁻¹) K _{ava} |
| اولسن و سامر، ۱۹۸۲ | (۲۰)، (۵)، (۱۷) | فسفر قابل دسترس (mg kg ⁻¹) P _{ava} |
| لیندزی، ۱۹۷۸ | (۱۷) | مس (mg kg ⁻¹) Cu |
| لیندزی، ۱۹۷۸ | (۱۷) | منگنز (mg kg ⁻¹) Mn |
| لیندزی، ۱۹۷۸ | (۱۷) | روی (mg kg ⁻¹) Zn |
| لیندزی، ۱۹۷۸ | (۱۷) | آهن (mg kg ⁻¹) Fe |
| مکالین، ۱۹۸۲ | (۴۹)، (۲۰)، (۵)، (۱۷) | اسیدیته pH |
| مکالین، ۱۹۸۲ | (۴۹)، (۲۰)، (۵)، (۱۷) | هدایت الکتریکی (dS m ⁻¹) EC |

تابع "هرچه کم‌تر بهتر" برابر $2/5 +$ است. تابع هرچه بیش‌تر بهتر، برای خصوصیات از خاک به کار می‌رود که افزایش آن موجب بهبود کیفیت خاک می‌شود (مانند کربن آلی) و تابع هرچه کم‌تر بهتر، برای خصوصیات از خاک به کار می‌رود که افزایش آن موجب تنزل کیفیت خاک می‌شود (مانند درصد ذرات درشت خاک). بدین ترتیب، محدوده مقادیر هر ویژگی در هر دو مجموعه کل داده‌ها و دسته داده‌های حداقل با توابع استاندارد امتیازدهی شدند (۳).

محاسبه شاخص‌های کیفیت خاک: در مدل IQI کیفیت خاک بر اساس مجموع حاصلضرب مقادیر ویژگی‌های منتخب در وزن ویژگی‌ها در قالب یک رابطه خطی ساده محاسبه می‌شود، در حالی که در مدل NQI از مقادیر میانگین و حداقل ویژگی‌ها استفاده می‌گردد (۱۵). شاخص‌های کیفیت برای هر نمونه

شیوه نمره‌دهی به ویژگی‌های انتخاب‌شده: با توجه به این‌که ویژگی‌های مورد بررسی دارای واحدهای گوناگونی می‌باشند، برای این‌که بتوان آن‌ها را در قالب یک شاخص کلی بیان نمود، ویژگی‌ها را باید بی‌بعد در نظر گرفت. برای این منظور از توابع نمره‌دهی استفاده شد. نمره‌دهی به صورت غیرخطی و با استفاده از تابع سیگموئیدی برای تبدیل ویژگی‌های خاک به مقادیر صفر تا یک با استفاده از رابطه ۱ انجام گرفت:

$$S = a / (1 + (x / x_0)^b) \quad (1)$$

که در آن، S نمره ویژگی خاک، a بالاترین نمره‌ای که توسط تابع موردنظر به ویژگی تعلق می‌گیرد که برابر با عدد ۱ است. X مقدار ویژگی خاک و X₀ میانگین ویژگی مورد مطالعه و b شیب معادله است. این شیب برای تابع "هرچه بیش‌تر بهتر" برابر $2/5 -$ و برای

و n تعداد ویژگی‌های موردنظر برای محاسبه شاخص خاک (IQI) (رابطه ۲) و معادله شاخص کیفیت خاک (NQI) (رابطه ۳) محاسبه شدند (۴۲):

که در آن، W_i وزن تعلق‌گرفته به هر ویژگی خاک است که بیانگر میزان تأثیر آن در کیفیت خاک است، N_i مقدار نمره تعلق‌گرفته به هر ویژگی است که به روش امتیازدهی بستگی دارد و n تعداد ویژگی‌های موردنظر است.

$$IQI = \sum_{i=1}^n W_i N_i \quad (2)$$

به منظور ارزیابی کیفیت خاک منطقه از درجه‌بندی کیفیت خاک دپاز و همکاران (۲۰۰۶) استفاده شد (جدول ۲). بر این اساس، پنج درجه کیفیت خاک متناسب با رشد گیاه تعیین شده است که در این طبقه‌بندی، خاک‌های قرار گرفته در کلاس ۱، دارای پایین‌ترین درجه کیفیت و خاک‌های قرار گرفته در کلاس ۵، دارای بالاترین درجه کیفیت می‌باشند.

$$NQI = \sqrt{\frac{P_{ave}^2 + P_{min}^2}{2}} * \frac{n-1}{n} \quad (3)$$

که در آن، P_{ave} میانگین نمره تعلق‌یافته به ویژگی‌های انتخاب‌شده در هر نمونه خاک، P_{min} حداقل نمره موجود در بین ویژگی‌های انتخاب‌شده برای هر نمونه

جدول ۲- درجه‌بندی کلاس‌های کیفیت خاک براساس مدل‌های IQI و NQI در مجموعه‌های TDS و MDS (دپاز و همکاران، ۲۰۰۶).

Table 2. Grading of soil quality classes based on IQI and NQI models in TDS and MDS sets (De Paz et al, 2006).

| کلاس کیفیت خاک | | | | | مجموعه ویژگی‌ها Variables set | مدل کیفیت خاک Soil quality model |
|------------------------|-------------|-----------------|--------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| بسیار خوب very good | خوب good | متوسط medium | پایین low | بسیار پایین very low | | |
| >0.634 | 0.568-0.634 | 0.508-0.568 | 0.444-0.508 | < 0.444 | TDS | IQI |
| >0.530 | 0.467-0.530 | 0.391-0.467 | 0.313-0.391 | < 0.313 | MDS | |
| >0.460 | 0.402-0.460 | 0.337-0.402 | 0.286-0.337 | < 0.286 | TDS | NQI |
| >0.392 | 0.345-0.392 | 0.294-0.345 | 0.252-0.294 | < 0.252 | MDS | |

سرانجام شاخص‌های NQI_{MDS} ، IQI_{TDS} ، IQI_{MDS} و NQI_{TDS} برای کیفیت خاک با استفاده از رابطه‌های ۱ و ۲، در نمونه‌های مورد مطالعه تعیین شدند. هم‌چنین، به منظور بررسی تأثیرپذیری عملکرد محصول

گل‌محمدی از شاخص‌های کیفیت به دست آمده، میزان معنی‌داری ضریب همبستگی پیرسون عملکرد گل‌محمدی با شاخص‌های IQI_{TDS} ، IQI_{MDS} ، NQI_{TDS} و NQI_{MDS} بررسی شد.

آنالیزهای زمین‌آماري شاخص‌های کیفیت خاک: پس از محاسبه شاخص‌های کیفیت خاک برای هر نقطه، تجزیه و تحلیل‌های زمین‌آماري انجام و پراکنش مکانی آن‌ها تهیه شد. قبل از کاربرد تجزیه و تحلیل زمین‌آماري، ناهمسانگردی هر شاخص با استفاده از تغییرنمای رویه‌ای^۱ مورد بررسی قرار گرفت (۳۲). برای مقایسه دو کمیت در دو نقطه به مختصات مختلف، بررسی اختلاف آن‌ها طبیعی‌ترین روش مقایسه است. بر این اساس، برای تمام موقعیت‌ها توان دوم این اختلاف تحت عنوان تغییرنما به صورت رابطه زیر محاسبه گردید:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i+h) - Z(x_i)]^2 \quad (۴)$$

که در آن، $\gamma(h)$ مقدار تغییرنمای تجربی، $N(h)$ تعداد جفت‌های جداشده در فاصله گام h ، $Z(x_i)$ مقدار متغیر اندازه‌گیری‌شده در نقطه i و $Z(x_i+h)$ متغیر اندازه‌گیری‌شده در موقعیت مکانی $i+h$ هستند. تغییرنمای تمام متغیرها توسط برنامه رایانه‌ای VARIOWIN2 محاسبه و ترسیم شد. برای تغییرنمای ایده‌آل، سه پارامتر را می‌توان به صورت اثر قطعه‌ای^۲، حد آستانه (سقف) قطعه‌ای^۳ و دامنه تأثیر^۴ بیان کرد. اثر قطعه‌ای، واریانس مؤلفه غیرساختاری (تصادفی)؛ حد آستانه، بیانگر تقریبی از واریانس کل و دامنه، تعیین‌کننده فاصله‌ای است که در فراتر از آن هیچ‌گونه همبستگی مکانی بین مشاهدات یا نمونه‌ها وجود ندارد. درجه وابستگی مکانی متغیرها یا ویژگی‌ها از تقسیم واریانس اثر قطعه‌ای به واریانس کل (حد آستانه) ضرب در ۱۰۰ به دست می‌آید. اگر این نسبت کم‌تر از ۲۵ درصد باشد، متغیر دارای وابستگی مکانی

قوی است، اگر نسبت بین ۲۵ تا ۷۵ درصد باشد، متغیر وابستگی مکانی متوسط دارد و اگر نسبت بیش از ۷۵ درصد باشد، متغیر وابستگی مکانی ضعیفی دارد (۱۰).

در کنترل اعتبار پارامترهای کریجینگ، با استفاده از روش جک‌نایف می‌توان مناسب‌ترین شعاع جستجو و تعداد نقاط همسایه برای به حداقل رساندن خطای تخمین کریجینگ را به دست آورد. با توجه به مقادیر مشاهده‌شده و برآوردشده، اریب (ME) و دقت مشاهده‌شده (RMSE) در هر روش از رابطه‌های زیر محاسبه شد:

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [Z^*(x_i) - Z(x_i)] \quad (۵)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(Z^*(x_i) - Z(x_i))^2]} \quad (۶)$$

که در آن‌ها، Z^* مقدار برآوردشده در نقطه X_i ، Z مقدار مشاهده‌شده در نقطه X_i و n تعداد نقاط می‌باشد. خطای تخمین کریجینگ باید دارای میانگین صفر بوده و ریشه میانگین مجذور خطای تخمین باید تا حد امکان کوچک باشد. معمولاً هرچه مقدار این دو شاخص کم‌تر باشد دقت روش بیش‌تر است. بعد از کنترل اعتبار پارامترهای کریجینگ و به دست آوردن مناسب‌ترین پارامترها برای میان‌یابی متغیرها، اقدام به پهنه‌بندی و تهیه نقشه‌های کریجینگ شد. بدین منظور، میان‌یابی به روش کریجینگ بلوکی با استفاده از نرم‌افزار SURFER8 (Golden software, 2002) صورت گرفت (۹).

- 1- Surface variogram
- 2- Nugget
- 3- Sill
- 4- Range

نتایج و بحث

همان‌طور که قبلاً ذکر شد، مؤلفه‌های اصلی (PC) با ارزش ویژه بزرگ‌تر از یک، به‌عنوان MDS مورد بررسی قرار می‌گیرند و درون هر مؤلفه اصلی، شاخص‌هایی که دارای بالاترین سهم باشند شناسایی و به‌عنوان MDS انتخاب می‌شوند. بر این اساس و با توجه به نتایج جدول ۳، مشاهده می‌شود که شش مؤلفه اصلی با ارزش ویژه بالاتر از یک، ۷۳/۳ درصد تغییرات را برای عمق ۰-۲۵ سانتی‌متر توجیه می‌کنند. در این عمق، متغیرهای ماده آلی، شن، منگنز، کربنات کلسیم معادل، روی و مس به‌عنوان MDS انتخاب شدند. اما در عمق ۲۵-۵۰ سانتی‌متر، هفت مؤلفه اصلی با ارزش ویژه بالاتر از یک، ۷۰/۶ درصد تغییرات را توجیه می‌کنند (جدول ۴). در این عمق، متغیرهای شن، پتاسیم، کربنات کلسیم معادل، روی، فسفر، سنگریزه و منگنز به‌عنوان MDS انتخاب شدند.

همان‌طور که در جدول‌های ۳ و ۴ مشاهده می‌شود براساس آنالیز مؤلفه‌های اصلی متغیرهای درصد شن، درصد کربنات کلسیم معادل، عنصر منگنز و عنصر روی در هر دو عمق مورد مطالعه برای مجموعه حداقل داده‌ها برگزیده شدند. که نشان می‌دهد این متغیرها حتی در اعماق پایین‌تر خاک نیز دارای اهمیت در کیفیت خاک می‌باشند. نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد در مناطق با شرایط اقلیمی و مدیریتی گوناگون، حداقل مجموعه داده می‌تواند متفاوت باشد. برای مثال شوکلا و همکاران (۲۰۰۶) در بررسی کیفیت خاک تحت شرایط مدیریتی

مختلف، مواد آلی و میانگین وزنی خاکدانه‌ها را به‌عنوان MDS برای ارزیابی کیفیت خاک پیشنهاد کردند (۵۰). ایماز و همکاران (۲۰۱۰) مقدار کربن آلی خاک، فسفر قابل‌جذب، ظرفیت تبادل کاتیونی و محتوای شن خاک را به‌عنوان حداقل مجموعه داده در ارزیابی کیفیت خاک اراضی تحت کشت معرفی نمودند (۲۳).

گوارتز و همکاران (۲۰۰۶) نیز شاخص‌هایی همانند نسبت سیلت به رس، درصد خاک‌دانه‌های پایدار در آب، چگالی ظاهری خاک، نسبت جذب سطحی سدیم، ظرفیت تبادل کاتیونی، مواد آلی و غلظت نیتروژن خاک را به‌عنوان حداقل داده برای مطالعه کیفیت خاک معرفی نمودند (۲۱). نتایج یاو و همکاران (۲۰۱۳) در زمین‌هایی با مدیریت شخم متفاوت، نشان داد که کربن آلی خاک می‌تواند در بررسی کیفیت خاک نقش مهمی داشته باشد (۵۳).

نتایج حاصل از محاسبه وزن مجموعه کل ویژگی‌های مؤثر (TDS) در عمق ۰-۲۵ سانتی‌متر نشان داد که پارامترهای شن، سیلت، عناصر مس و روی نسبت به سایر ویژگی‌های دارای وزن بالاتری هستند (جدول ۵)؛ در حالی‌که در عمق ۲۵-۵۰ سانتی‌متر پارامترهای شن، منگنز و رس خاک نسبت به سایر ویژگی‌های دارای وزن بالاتری هستند (جدول ۶). سهم و وزن اختصاص یافته مشابه در برخی ویژگی‌ها احتمالاً نشان‌دهنده تأثیر یکسان این دو پارامتر در کیفیت خاک منطقه می‌باشد.

جدول ۳- نتایج تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) در عمق ۰ تا ۲۵ سانتی‌متر.

Table 3. Results of the principal components analysis (PCA) at 0 to 25 centimeters.

| PC ₆ | PC ₅ | PC ₄ | PC ₃ | PC ₂ | PC ₁ | مؤلفه‌های اصلی (PCs) |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---|
| 1.086 | 1.224 | 1.403 | 1.551 | 2.236 | 2.921 | ارزش ویژه (Eigen value) |
| 7.8 | 8.7 | 9.8 | 11.7 | 16.0 | 19.3 | درصد (Percentage) |
| 73.3 | 65.5 | 56.8 | 47.0 | 35.3 | 19.3 | درصد تجمعی (Cumulative percentage) |
| | | | | | | بردارهای ویژه (Eigen Vectors) |
| 0.104 | 0.471 | 0.388 | 0.127 | 0.029 | 0.15 | سنگریزه (%) Coarse fragments |
| 0.133 | 0.176 | -0.343 | 0.131 | 0.436 | 0.080 | رس (%) Clay |
| -0.331 | -0.224 | 0.197 | 0.038 | 0.508 | 0.081 | سیلت (%) Silt |
| 0.178 | 0.054 | 0.091 | 0.120 | -0.636 | -0.052 | شن (%) Sand |
| -0.016 | -0.037 | 0.025 | 0.164 | 0.053 | -0.426 | کربن آلی (%) OC |
| 0.004 | 0.137 | 0.513 | 0.261 | -0.009 | 0.028 | کربنات کلسیم معادل (%) CCE |
| -0.018 | 0.020 | 0.220 | 0.296 | 0.065 | -0.343 | ظرفیت تبادل کاتیونی (cmol ₊ kg ⁻¹) CEC |
| 0.141 | 0.227 | -0.002 | 0.095 | 0.123 | -0.385 | نیتروژن کل (mg kg ⁻¹) N |
| -0.283 | 0.095 | 0.037 | -0.164 | -0.040 | -0.402 | پتاسیم قابل دسترس (mg kg ⁻¹) K _{ava} |
| -0.217 | -0.045 | -0.013 | -0.523 | 0.045 | -0.225 | فسفر قابل دسترس (mg kg ⁻¹) P _{ava} |
| 0.615 | -0.135 | 0.310 | -0.190 | 0.252 | -0.060 | مس (mg kg ⁻¹) Cu |
| 0.148 | 0.141 | 0.273 | -0.535 | 0.187 | 0.083 | منگنز (mg kg ⁻¹) Mn |
| 0.436 | -0.542 | -0.093 | 0.168 | -0.036 | -0.175 | روی (mg kg ⁻¹) Zn |
| 0.020 | -0.147 | 0.099 | -0.304 | 0.017 | -0.289 | آهن (mg kg ⁻¹) Fe |
| 0.292 | 0.484 | -0.421 | -0.098 | 0.094 | -0.055 | اسیدیته pH |
| 0.078 | -0.152 | -0.069 | -0.076 | 0.111 | 0.416 | هدایت الکتریکی (dS m ⁻¹) EC |

ضریب Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy (KMO): ۰.۷۵

جدول ۴- نتایج تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) در عمق ۲۵ تا ۵۰ سانتی‌متر.

Table 4. Results of the principal components analysis (PCA) at 25 to 50 centimeters.

| PC ₇ | PC ₆ | PC ₅ | PC ₄ | PC ₃ | PC ₂ | PC ₁ | مؤلفه‌های اصلی (PCs) |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---|
| 1.029 | 1.137 | 1.195 | 1.217 | 1.318 | 1.867 | 2.710 | ارزش ویژه (Eigen value) |
| 6.8 | 7.5 | 7.9 | 8.6 | 9.2 | 12.7 | 17.9 | درصد (Percentage) |
| 70.6 | 63.8 | 56.3 | 48.4 | 39.8 | 30.6 | 17.9 | درصد تجمعی (Cumulative percentage) |
| | | | | | | | بردارهای ویژه (Eigen Vectors) |
| 0.201 | -0.546 | 0.011 | -0.258 | -0.118 | 0.279 | -0.109 | سنگریزه (%) Coarse fragments |
| -0.153 | 0.104 | -0.098 | -0.038 | -0.122 | -0.107 | -0.483 | رس (%) Clay |
| 0.141 | -0.044 | 0.062 | 0.051 | -0.118 | -0.327 | -0.405 | سیلت (%) Silt |
| 0.007 | -0.022 | 0.022 | 0.011 | 0.175 | 0.347 | 0.506 | شن (%) Sand |
| 0.133 | 0.035 | 0.098 | -0.291 | 0.005 | 0.325 | -0.331 | کربن آلی (%) OC |
| 0.107 | -0.141 | -0.163 | -0.401 | 0.501 | 0.026 | -0.124 | کربنات کلسیم معادل (%) CCE |
| -0.231 | -0.220 | -0.176 | 0.114 | -0.364 | 0.237 | -0.209 | ظرفیت تبادل کاتیونی (cmol ₊ kg ⁻¹) CEC |
| -0.058 | 0.393 | 0.087 | -0.127 | 0.054 | 0.368 | -0.162 | نیترژن کل (mg kg ⁻¹) N |
| 0.302 | -0.117 | 0.009 | 0.162 | -0.017 | 0.431 | -0.163 | پتاسیم قابل دسترس (mg kg ⁻¹) K _{ava} |
| -0.030 | -0.078 | 0.577 | 0.110 | 0.320 | -0.178 | -0.114 | فسفر قابل دسترس (mg kg ⁻¹) P _{ava} |
| 0.139 | 0.193 | -0.462 | 0.087 | 0.426 | 0.049 | -0.126 | مس (mg kg ⁻¹) Cu |
| -0.495 | -0.535 | -0.094 | -0.037 | 0.345 | -0.109 | -0.062 | منگنز (mg kg ⁻¹) Mn |
| -0.508 | 0.301 | -0.105 | -0.485 | -0.063 | 0.042 | 0.010 | روی (mg kg ⁻¹) Zn |
| -0.441 | -0.059 | 0.002 | 0.400 | -0.026 | 0.324 | -0.030 | آهن (mg kg ⁻¹) Fe |
| 0.020 | 0.093 | -0.320 | 0.448 | 0.259 | 0.032 | -0.195 | اسیدیته pH |
| 0.145 | -0.135 | -0.493 | -0.107 | -0.257 | -0.215 | 0.204 | هدایت الکتریکی (dS m ⁻¹) EC |

ضریب (KMO) Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy: ۰/۳۷۴

جدول ۵- وزن و سهم ویژگی‌های خاک در مجموعه TDS و MDS در عمق ۰ تا ۲۵ سانتی‌متر.

Table 5. Weight and communality of soil characteristics in TDS and MDS sets at 0 to 25 centimeters.

| MDS | | TDS | | ویژگی Variable |
|--------|-------|--------|-------|---|
| Weight | COM | Weight | COM | |
| --- | --- | 0.056 | 0.587 | سنگریزه (%) Coarse fragments |
| --- | --- | 0.066 | 0.693 | رس (%) Clay |
| --- | --- | 0.080 | 0.834 | سیلت (%) Silt |
| 0.113 | 0.422 | 0.094 | 0.984 | شن (%) Sand |
| 0.141 | 0.526 | 0.056 | 0.581 | کربن آلی (%) OC |
| 0.231 | 0.862 | 0.048 | 0.499 | کربنات کلسیم معادل (%) CCE |
| --- | --- | 0.054 | 0.558 | ظرفیت تبادل کاتیونی (cmol ₊ kg ⁻¹) CEC |
| --- | --- | 0.054 | 0.566 | نیتروژن کل (mg kg ⁻¹) N |
| --- | --- | 0.059 | 0.618 | پتاسیم قابل دسترس (mg kg ⁻¹) K _{ava} |
| --- | --- | 0.061 | 0.631 | فسفر قابل دسترس (mg kg ⁻¹) P _{ava} |
| 0.193 | 0.719 | 0.075 | 0.777 | مس (mg kg ⁻¹) Cu |
| 0.149 | 0.557 | 0.067 | 0.696 | منگنز (mg kg ⁻¹) Mn |
| 0.172 | 0.640 | 0.069 | 0.715 | روی (mg kg ⁻¹) Zn |
| --- | --- | 0.041 | 0.429 | آهن (mg kg ⁻¹) Fe |
| --- | --- | 0.064 | 0.671 | اسیدیته pH |
| --- | --- | 0.056 | 0.583 | هدایت الکتریکی (dS m ⁻¹) EC |

COM: سهم ویژگی، Weight: وزن ویژگی

جدول ۶- وزن و سهم ویژگی‌های کیفیت خاک در مجموعه TDS و MDS در عمق ۲۵ تا ۵۰ سانتی‌متر.

Table 6. Weight and communality of soil characteristics in TDS and MDS sets at 25 to 50 centimeters.

| MDS | | TDS | | ویژگی |
|--------|-------|--------|-------|---|
| Weight | COM | Weight | COM | Variable |
| 0.173 | 0.633 | 0.063 | 0.659 | سنگریزه (%) Coarse fragments |
| --- | --- | 0.069 | 0.721 | رس (%) Clay |
| --- | --- | 0.066 | 0.693 | سیلت (%) Silt |
| 0.099 | 0.362 | 0.092 | 0.960 | شن (%) Sand |
| --- | --- | 0.060 | 0.623 | کربن آلی (%) OC |
| 0.136 | 0.497 | 0.061 | 0.631 | کربنات کلسیم معادل (%) CCE |
| --- | --- | 0.054 | 0.561 | ظرفیت تبادل کاتیونی (cmol ₊ kg ⁻¹) CEC |
| --- | --- | 0.051 | 0.536 | نیتروژن کل (mg kg ⁻¹) N |
| 0.166 | 0.607 | 0.054 | 0.564 | پتاسیم قابل دسترس (mg kg ⁻¹) K _{ava} |
| 0.153 | 0.561 | 0.062 | 0.650 | فسفر قابل دسترس (mg kg ⁻¹) P _{ava} |
| --- | --- | 0.059 | 0.614 | مس (mg kg ⁻¹) Cu |
| 0.146 | 0.535 | 0.074 | 0.775 | منگنز (mg kg ⁻¹) Mn |
| 0.127 | 0.463 | 0.065 | 0.678 | روی (mg kg ⁻¹) Zn |
| --- | --- | 0.058 | 0.605 | آهن (mg kg ⁻¹) Fe |
| --- | --- | 0.054 | 0.565 | اسیدیته pH |
| --- | --- | 0.061 | 0.634 | هدایت الکتریکی (dS m ⁻¹) EC |

COM: سهم ویژگی، Weight: وزن ویژگی

از دسته حداقل داده‌های مؤثر بر کیفیت خاک با اطمینان قابل قبولی می‌توان کیفیت خاک را ارزیابی نمود (۱۷). همچنین نتایج پژوهش شهاب و همکاران (۲۰۱۱) در جنوب مشهد نشان می‌دهد که هر چند با استفاده از مجموعه کل داده‌ها، تعیین شاخص‌های کیفیت خاک نتایج دقیق‌تری دارد، اما با استفاده از دسته حداقل داده‌ها نیز می‌توان شاخص‌های کیفیت خاک منطقه مورد مطالعه را با دقت قابل قبولی تعیین کرد و از این راه حجم و هزینه کار را کاهش داد (۴۹). به‌طورکلی، در نظر گرفتن دسته داده‌های حداقل نسبت به مجموعه کل داده‌ها موجب صرفه‌جویی در

نتایج جدول ۷ نشان می‌دهد که مقادیر عددی شاخص‌های کیفیت تجمعی و نمره در دو مجموعه کل داده‌ها و مجموعه حداقل داده‌ها، بسیار نزدیک می‌باشند. دوران و پارکین (۱۹۹۴) شاخص کیفیت تجمعی در مجموعه کل داده‌ها را به‌عنوان جامع‌ترین و بهترین ترکیب برای ارزیابی کیفیت خاک معرفی نمودند، اما با این وجود استفاده از داده‌های حداقل موجب کاهش حجم کار و هزینه‌های مربوط به آن همراه با دقت مناسب می‌شود.

در این راستا قائمی و همکاران (۲۰۱۳) نتیجه گرفتند که با استفاده از مدل‌های کیفیت خاک حاصل

دو مدل کیفیت خاک در محدوده خاک‌های با کیفیت پایین قرار دارند. عملیات مدیریتی در سیستم‌های مرسوم با کاربرد مقادیر زیاد کود و حشره‌کش‌ها، کاهش استفاده از اصلاح‌کننده‌های آلی، شخم، آبیاری مکرر و برداشت مکانیزه همراه است (۳ و ۲۲). این امر موجب کاهش کیفیت خاک در اراضی با عملیات کشت متراکم می‌گردد (۳). بنابراین اجرای برخی از راهکارهای مدیریتی مناسب مانند کاربرد پسماندهای آلی، کاهش عملیات خاک‌ورزی و تناوب محصول می‌تواند تا حدی پایداری و کیفیت خاک را بهبود بخشد. به طوری که استفاده از بقایای گیاهی با اثر مستقیم بر تجمع کربن و نیتروژن، موجب افزایش نیتروژن کل و ماده آلی خاک می‌شود (۲۲).

جدول ۸ رابطه خطی بین شاخص‌های IQI و NQI در دو مجموعه کل داده‌ها و مجموعه حداقل داده‌ها را نشان می‌دهد. نتایج این جدول نشان می‌دهد که در عمق ۰ تا ۲۵ سانتی‌متر، مدل IQI و در عمق ۲۵ تا ۵۰ سانتی‌متر، مدل NQI کارایی بهتری برای ارزیابی کیفیت خاک منطقه مورد مطالعه دارد.

هزینه و زمان مورد نیاز برای تعیین کیفیت خاک می‌شود.

در حالت مقایسه بین دو روش "شاخص تجمعی کیفیت خاک" و "شاخص کیفیت خاک نمره" می‌توان مشاهده نمود که مقدار عددی شاخص کیفیت خاک نمره در هر دو مجموعه کل داده‌ها و دسته داده‌های حداقل، نسبت به شاخص تجمعی کیفیت خاک کم‌تر است و به طور معمول، مقدار عددی آن کم‌تر از ۰/۵ می‌باشد. البته این امر طبیعی به نظر می‌رسد و نتایج پژوهش‌های زیادی این وضعیت را تأیید می‌کنند. شهاب و همکاران (۲۰۱۳)، کی و همکاران (۲۰۰۹)، رحمانی‌پور و همکاران (۲۰۱۴) و بسیاری از پژوهشگران دیگر نیز به این نتیجه رسیدند که مقدار شاخص کیفیت خاک نمره در تمام شرایط نسبت به شاخص تجمعی کیفیت خاک کم‌تر است (۴۲، ۴۳ و ۴۸).

نتایج ژانگ و همکاران (۲۰۰۴) نشان داد که به دلیل عدم یکنواختی خاک، یک منطقه به نواحی با درجات متفاوت کیفیت خاک می‌تواند تقسیم شود (۵۵). بنابراین خاک‌های مزرعه مورد مطالعه بر مبنای

جدول ۷- مقادیر میانگین شاخص‌های کیفیت خاک.

Table 7. Average values of soil quality indices.

| NQI _{TDS} | NQI _{MDS} | IQI _{TDS} | IQI _{MDS} | عمق مورد مطالعه (cm) |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------|
| | | | | Depth study |
| 0.35 | 0.33 | 0.49 | 0.49 | 0 - 25 |
| 0.36 | 0.36 | 0.49 | 0.50 | 25 - 50 |

جدول ۸- همبستگی شاخص‌های کیفیت خاک با استفاده از دو مجموعه ویژگی‌ها (MDS و TDS).

Table 8. Correlations of soil quality indices by using two sets of characteristics (TDS and MDS).

| مدل NQI | مدل IQI | عمق مورد مطالعه (cm) |
|---------|---------|----------------------|
| | | Depth study |
| 0.79* | 0.85* | 0 - 25 |
| 0.77* | 0.75* | 25 - 50 |

* معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد

* Significant at 95% confidence level.

و همکاران (۲۰۱۳) به ترتیب ضریب تبیین ۰/۸۸ و ۰/۸۱ را به دست آوردند (۴۲ و ۱۷)، در حالی که نتایج آذر نشان و همکاران (۲۰۱۴) در زمین‌های کشاورزی قزوین، به ترتیب ضریب تبیین ۰/۳۴ و ۰/۲۳ را نشان می‌دهد (۵). بنابراین یافته‌های بیش‌تر این پژوهشگران نشان می‌دهد که اولاً رابطه خوبی بین این دو مجموعه داده وجود دارد و می‌توان به جای مجموعه کل داده‌ها از داده‌های حداقل برای ارزیابی کیفیت خاک استفاده نمود. دوم این‌که شاخص کیفیت تجمعی نسبت به شاخص کیفیت نمره، ارزیابی دقیق‌تری از کیفیت خاک دارد، زیرا این شاخص برای ویژگی‌های مورد بررسی، علاوه بر امتیازدهی، وزن ویژگی‌ها را نیز در نظر می‌گیرد؛ در حالی که در شاخص کیفیت نمره تنها بر اساس مقادیر میانگین و حداقل امتیاز ویژگی‌ها محاسبه می‌شود (۴۲).

ضرایب تبیین متفاوت بین شاخص‌های کیفیت خاک با عملکرد گل محمدی بیانگر میزان تأثیر آن شاخص بر عملکرد محصول می‌باشد (جدول ۹).

ضریب تبیین حاصل از رابطه خطی این شاخص‌ها بین دو مجموعه MDS و TDS نیز قابلیت مجموعه MDS در ارزیابی کیفیت خاک منطقه را تأیید می‌کند. کی و همکاران (۲۰۰۹) وجود $R^2=0/625$ بین IQI_{TDS} و IQI_{MDS} و $R^2=0/57$ بین NQI_{TDS} و NQI_{MDS} در مقیاس منطقه‌ای با ۴۳۱ نمونه خاک را گزارش کردند (۴۲). بنابراین با استفاده از مدل‌های کیفیت خاک حاصل از مجموعه حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک با اطمینان قابل‌قبولی می‌توان کیفیت خاک منطقه مورد مطالعه را ارزیابی نمود؛ به طوری که در نظر گرفتن مجموعه MDS نسبت به مجموعه TDS موجب صرفه‌جویی در هزینه و زمان مورد نیاز برای تعیین کیفیت خاک می‌شود.

شهاب و همکاران (۲۰۱۳) در زمین‌های کشاورزی و مرتعی جنوب مشهد، برای شاخص کیفیت تجمعی و شاخص کیفیت نمره رابطه این دو مجموعه را بررسی نمودند و به ترتیب ضریب تبیین ۰/۶۲ و ۰/۵۶ به دست آوردند (۴۹). هم‌چنین، کی و همکاران (۲۰۰۹) به ترتیب ضریب تبیین ۰/۶۵ و ۰/۵۷ و قائمی

جدول ۹- همبستگی عملکرد محصول و شاخص‌های کیفیت خاک.

Table 9. Correlation between crop yield and soil quality indices.

| شاخص کیفیت NQI | | | | شاخص کیفیت IQI | | | |
|---------------------|-------------|--------------------|-------------|---------------------|-------------|--------------------|-------------|
| NQI Quality Index | | | | IQI Quality Index | | | |
| عمق ۲۵-۵۰ سانتی‌متر | | عمق ۰-۲۵ سانتی‌متر | | عمق ۲۵-۵۰ سانتی‌متر | | عمق ۰-۲۵ سانتی‌متر | |
| Depth 25 to 50 cm | | Depth 0 to 25 cm | | Depth 25 to 50 cm | | Depth 0 to 25 cm | |
| NQI_{MDS} | NQI_{TDS} | NQI_{MDS} | NQI_{TDS} | IQI_{MDS} | IQI_{TDS} | IQI_{MDS} | IQI_{TDS} |
| 0.31* | 0.50* | 0.29* | 0.51* | 0.15* | 0.55* | 0.37* | 0.51* |

* معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد

* Significant at 95% confidence level.

همبستگی عملکرد با مجموعه کل داده‌ها نسبت به داده‌های حداقل بیش‌تر می‌باشد. این روابط نشان می‌دهند که وضعیت کیفیت خاک می‌تواند منعکس‌کننده پتانسیل عملکرد محصول باشد (۵۰).

نتایج جدول ۹ نشان می‌دهد که شاخص‌های IQI_{TDS} و NQI_{TDS} در هر دو عمق نمونه‌برداری، همبستگی بالاتری با عملکرد گل محمدی نسبت به شاخص‌های IQI_{MDS} و NQI_{MDS} دارند. بنابراین

عملکرد گل محمدی داشتند. بنابراین با توجه به نتایج، شاخص‌های کیفیت خاک IQI_{TDS} و NQI_{TDS} در توصیف تغییرپذیری عملکرد گل محمدی در مقیاس مزرعه‌ای، نقش بیش‌تری را ایفا کرده و تأثیر حاصل از آن‌ها بر میزان عملکرد با تغییر عملیات مدیریتی در ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک شدیدتر می‌باشد. لی و همکاران (۲۰۱۳) تغییرپذیری در مقدار عملکرد محصول را به تغییرات عناصر غذایی و کربن آلی خاک نسبت داده‌اند (۲۶). به‌طورکلی، عامل اصلی تفاوت در میزان تغییرپذیری عملکرد محصول در مزرعه به تغییرات زیاد کیفیت خاک بستگی دارد و تحت تأثیر عملیات مدیریتی می‌باشد. شوکلا و همکاران (۲۰۰۶) و وانگ و همکاران (۲۰۰۹) بیان نمودند که بررسی رابطه بین کیفیت خاک و عملکرد محصول می‌تواند ویژگی‌های محدودکننده خاک را در تولید محصول مشخص کند (۵۰ و ۵۲).

تغییرپذیری مکانی شاخص‌های کیفیت خاک: اگرچه نتایج حاصل از رابطه عملکرد گل محمدی با شاخص‌های کیفیت خاک، همبستگی مطلوبی را آشکار ساختند؛ اما در این روابط، تنوع مکانی کیفیت خاک و متغیرهای مؤثر بر عملکرد در نظر گرفته نشده است. برای این منظور، آنالیز زمین‌آماری و پهنه‌بندی شاخص‌های کیفیت خاک انجام شد که نتایج آن در جدول ۱۰ و نقشه‌های کریجینگ در شکل ۲ آورده شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود روند توزیع مکانی نقشه کریجینگ عملکرد گل محمدی نیز مشابه با برخی نقشه‌های کریجینگ حاصل از شاخص‌های کیفیت خاک می‌باشد که البته مقادیر همبستگی بین عملکرد و شاخص‌های کیفیت خاک (جدول ۹) و همچنین همبستگی نقشه‌های کریجینگ عملکرد گل محمدی و شاخص‌های کیفیت خاک (جدول ۱۱) نیز این یافته را تأیید می‌کنند.

چن و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک، نقش مهمی در تولید محصول دارند؛ اگرچه شدت تأثیر این ویژگی‌ها بر مقدار عملکرد محصول می‌تواند متفاوت باشد (۱۲). مندل و همکاران (۲۰۰۸) بیان نمودند که عملکرد محصول می‌تواند به‌عنوان یکی از ویژگی‌های مهم کیفیت خاک در نظر گرفته شود؛ زیرا عملکرد به‌عنوان یک معیار زیستی می‌تواند منعکس‌کننده اثرات متقابل ویژگی‌های خاک باشد (۳۰). لی و همکاران (۲۰۱۳) رابطه رگرسیونی بین عملکرد برنج و شاخص کیفیت خاک را در ۱۱۴ نمونه مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که شاخص کیفیت خاک، تنها ۴۱ درصد از تغییرپذیری عملکرد را می‌تواند پیش‌بینی کرد (۲۶). چن و همکاران (۲۰۱۳) برای ارزیابی کیفیت خاک اراضی زیر کشت سویا در شمال‌شرقی چین یک شاخص کیفیت خاک را بر اساس مجموعه MDS محاسبه نمودند. آن‌ها از روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA) برای انتخاب MDS و کاهش تعداد داده‌ها استفاده کردند. همچنین شاخص کیفیت خاک مورد مطالعه، همبستگی معنی‌داری ($R^2=0/66$) با عملکرد سویا نشان داد (۱۲). نتایج تجزیه رگرسیونی بین عملکرد محصول و شاخص کیفیت خاک توسط دی‌هوس و همکاران (۲۰۱۴) نشان داد که شاخص کیفیت خاک برای محصولات سیب‌زمینی، چغندر علوفه‌ای و ذرت علوفه‌ای به ترتیب ۵۰، ۴۰ و ۲۶ درصد از تغییرپذیری عملکرد را پیش‌بینی کرد (۱۴).

اگرچه مجموعه MDS دارای تعداد ویژگی‌های مورد بررسی بسیار کم‌تری نسبت به مجموعه TDS است و به لحاظ وقت و هزینه بسیار به‌صرفه‌تر از مجموعه TDS می‌باشد، اما در این مطالعه شاخص‌های IQI_{TDS} و NQI_{TDS} به دلیل همبستگی بالاتر با عملکرد محصول، برای ارزیابی کیفیت خاک پیشنهاد می‌شوند؛ چرا که تمام پارامترهای خاک را در نظر گرفته و همچنین همبستگی معنی‌دار بالاتری با

مرتضی بهمنی و همکاران

می‌شود. الیور و رابرتسون (۲۰۱۳) نشان دادند که در داخل یک مزرعه تغییرات عملکرد از محلی به محلی دیگر بسیار شدید بوده و به شدت تحت تأثیر تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک می‌باشند (۳۵).

بر این اساس مناطق با کیفیت نامطلوب، عملکرد پایین‌تری در مقایسه با نواحی با کیفیت بالاتر دارند. بنابراین در نظر گرفتن الگوی تغییرپذیری عملکرد محصول و کیفیت خاک به‌طور هم‌زمان به افزایش کارایی راهکارهای مدیریتی در مقیاس مزرعه‌ای منتهی

جدول ۱۰- پارامترهای مدل‌های تغییرنمای شاخص‌های کیفیت خاک در منطقه مورد مطالعه.

Table 10. Parameters of semi variogram models of the soil quality indices in the study area.

| ریشه میانگین مجذور خطا (RMSE) | میانگین خطا (ME) | کلاس وابستگی مکانی Spatial correlation Class | وابستگی مکانی (%) Spatial correlation ratio | دامنه تأثیر (متر) Range | سقف Sill | اثر قطعه‌ای Nugget | مدل Model | متغیر Variable |
|-------------------------------|------------------|--|---|-------------------------|----------|--------------------|------------------|------------------------------|
| 0.057 | 0.001 | متوسط | 33 | 143.05 | 0.002 | 0.001 | کروی (Spherical) | IQI _{TDS} |
| 0.069 | 0.00 | متوسط | 28 | 126.18 | 0.005 | 0.002 | کروی (Spherical) | IQI _{MDS} عمق ۰-۲۵ |
| 0.054 | 0.001 | متوسط | 33 | 136.76 | 0.002 | 0.001 | کروی (Spherical) | NQI _{TDS} |
| 0.056 | 0.001 | متوسط | 33 | 151.8 | 0.002 | 0.001 | کروی (Spherical) | NQI _{TDS} |
| 0.047 | 0.00 | متوسط | 50 | 119.33 | 0.001 | 0.001 | کروی (Spherical) | IQI _{TDS} |
| 0.056 | 0.001 | متوسط | 33 | 131.94 | 0.002 | 0.001 | کروی (Spherical) | IQI _{MDS} عمق ۲۵-۵۰ |
| 0.050 | 0.00 | متوسط | 50 | 112.35 | 0.001 | 0.001 | کروی (Spherical) | NQI _{TDS} |
| 0.046 | 0.001 | متوسط | 50 | 144.05 | 0.001 | 0.001 | کروی (Spherical) | NQI _{TDS} |
| 144.43 | 0.06 | قوی | 20 | 122.16 | 17833.6 | 4560 | کروی (Spherical) | عملکرد |

جدول ۱۱- همبستگی نقشه‌های کریجینگ عملکرد گل محمدی و شاخص‌های کیفیت خاک.

Table 11. Correlation between kriging maps of Rose yield and soil quality indices.

| ضریب همبستگی Correlation Coefficient | شاخص کیفیت Quality Index | عمق مطالعاتی (cm) Depth study |
|--------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| 0.47* | IQI _{TDS} | عمق ۰-۲۵ |
| 0.34* | IQI _{MDS} | |
| 0.43* | NQI _{TDS} | |
| 0.20* | NQI _{TDS} | |
| 0.52* | IQI _{TDS} | عمق ۲۵-۵۰ |
| 0.15* | IQI _{MDS} | |
| 0.51* | NQI _{TDS} | |
| 0.20* | NQI _{TDS} | |

* معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد

* Significant at 95% confidence level.

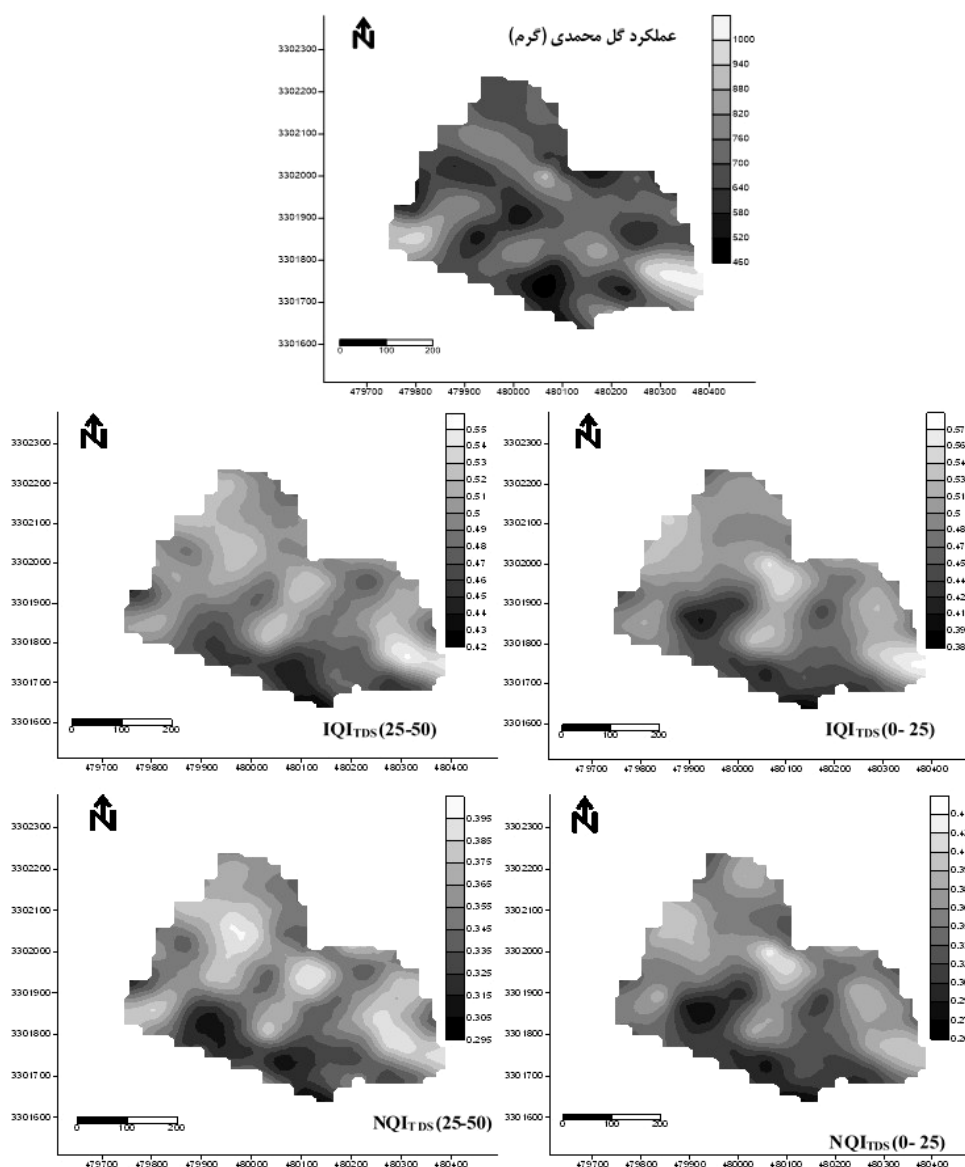
مدیریت صحیح و کارا در مقیاس مزرعه‌ای، نیازمند پایش مکانی و زمانی عملکرد و عوامل کنترل‌کننده آن می‌باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که مدل‌های کیفیت خاک برای ارزیابی کمی کیفیت اراضی کشاورزی از کارایی بالایی برخوردار هستند. ترکیب روش‌های مختلف گزینش ویژگی‌های مؤثر با شاخص‌های کیفیت خاک نیز تأثیر چندانی در نتایج ارزیابی کیفیت خاک نداشت. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد هرچند استفاده از مجموعه TDS در تعیین شاخص‌های کیفیت خاک نتایج دقیق‌تری دارد، اما با استفاده از مجموعه MDS نیز می‌توان شاخص‌های کیفیت خاک مزارع گل‌محمدی در این منطقه را با دقت قابل‌قبولی تعیین کرد که این کار موجب کاهش حجم مطالعات و هزینه آن‌ها می‌شود. با این وجود، چنان‌چه هدف از ارزیابی کیفیت خاک، رسیدن به عملکرد مطلوب گل‌محمدی باشد، استفاده از شاخص IQI_{TDS} به دلیل همبستگی بیش‌تر این شاخص با عملکرد گل‌محمدی، کارایی بهتری دارد. در هر حال، برای رسیدن به حداکثر عملکرد، بهتر است که خاک مزارع گل‌محمدی، به‌ویژه از نظر مهم‌ترین ویژگی‌های خاکی معرفی شده از طریق روش PCA، مورد بررسی قرار گیرد و مدیریت زراعی مزرعه بر اساس نتایج حاصل از این بررسی اعمال شود.

عملکرد گل‌محمدی با ضریب تغییرات ۲۲ درصد بیانگر تغییرپذیری متوسط این متغیر است (نتایج آورده نشده است). اگرچه این آماره توصیفی تنها شدت تغییرات را نشان داده و اطلاعاتی در رابطه با الگوی توزیع عملکرد در مزرعه و نیز تأثیر عوامل مؤثر بر عملکرد را آشکار نمی‌سازد. ولی نقشه‌های توزیع مکانی عملکرد محصول (شکل ۲) عدم یکنواختی تغییرات عملکرد را در مزرعه نشان می‌دهند که بیانگر عدم یکنواختی توزیع ویژگی‌های خاک و متعاقباً کیفیت خاک می‌باشد. بنابراین مدیریت یکنواخت در این شرایط با تنوع مکانی، از نظر اقتصادی ناکارآمد بوده و به کاهش کیفیت خاک و مشکلات زیست‌محیطی منجر می‌شود (۳۳ و ۳۵). پاز و همکاران (۲۰۰۱) بیان نمودند که در مقیاس مزرعه‌ای تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک و سایر متغیرهای کنترل‌کننده رشد و عملکرد بسیار زیاد بوده و گاه در فواصل چند متری اختلافات شدیدی مشاهده می‌شود (۳۹). از این‌رو، نمایش پیوسته‌ای از تغییرات مکانی عملکرد، اجرای مدیریت متغیر را در مقیاس مکانی و بر اساس نواحی همگن امکان‌پذیر می‌سازد که با نتایج اورتگا و سانتیانز (۲۰۰۷) مطابقت دارد (۳۷).

بتچلور و همکاران (۲۰۰۲) با بررسی عملکرد سویا و ذرت در آمریکا نشان دادند که عملکرد دارای تغییرات درون‌مزرعه‌ای می‌باشد که در سال‌های مختلف، متفاوت است (۶). روئل و پالنت (۲۰۰۴) نیز در مطالعه‌ای چهار ساله تغییرات مکانی عملکرد برنج را در مزارع کالیفرنیا بررسی کرده و بیان داشتند که الگوی تغییرات عملکرد علاوه بر مکان در طی زمان نیز متفاوت می‌باشد (۴۷). بنابراین در کشاورزی دقیق،



شکل ۲- نقشه‌های کریجینگ عملکرد گل محمدی و شاخص‌های کیفیت خاک در منطقه مورد مطالعه.

Figure 2. Kriging maps of the Rose yield and soil quality indices in the study area.

منابع

1. Al-Kanani, T., Mackenzi, A.F., and Ross, G.J. 1984. Potassium status of some Quebec soils: K release by nitric acid and sodium tetraphenylboron as related to particle size and mineralogy. *Can. J. Soil Sci.* 64: 99-106.
2. Andrews, S.S., Karlen, D.L., and Mitchell, J.P. 2002a. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 90: 25-45.
3. 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. 2002b. On-farm assessment of soil quality in California's central valley. *Agron. J.* 94: 12-23.
4. Aparicio, V., and Costa, J.L. 2007. Soil quality indicators under continuous cropping systems in the Argentinean pampas. *Soil Tillage Research.* 96: 155-165.

5. Azarneshan, S., Khormali, F., Sarmadian, F., Kiani, F., and Eftekhari, K. 2014. Soil Quality Evaluation of Semi-arid and Arid Lands in Qazvin Plain, Iran. *J. Water Soil. 32: 2.* 359-374. (In Persian)
6. Batchelor, W.D., Basso, B., and Paz, J.O. 2002. Examples of strategies to analyse spatial and temporal yield using crop models. *Europ. J. Agron. 18:* 141-158.
7. Bone, J., Barraclough, D., Eggleton, P., Head, M., Jones, D., and Voulvoulis, N. 2012. Prioritising soil quality assessment through the screening of sites: the use of publicly collected data. *Land Degradation and Development, 25: 3.* 251-266.
8. Brady, N.C., and Weil, R.R. 2002. *The nature and properties of soils, 14th ed.* Prentice Hall, New Jersey. P 311-354.
9. Bremner, J.M., and Mulvaney, C.S. 1982. Total nitrogen. P 595-624. In: A.L. Page (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Agronomy. No. 9, Part 2: Chemical and Microbiological Properties, 2nd ed.*, American Society of Agronomy Madison, Wisconsin, USA.
10. Cambardella, C.A., Moorman, T.B., Parkin, T.B., Karlen, D.L., Turco, R.F., and Konopka, A.E. 1994. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils, *Soil Sci. Soc. Amer. J. 58:* 1501-1511.
11. Carter, M.R., Gregorich, E.G., Anderson, D.W., Doran, J.W., Janzen, H.H., and Pierce, F.J. 1997. Concepts of soil quality and their significance. P 247-276. In: E.G. Gregorich, and M.R. Carter, (eds), *Soil quality for crop production and ecosystem health.*
12. Chen, Y.D., Wang, H.Y., Zhou, J.M., Xing, L., Zhu, B.S., Zhao, Y.C., and Chen, X.Q. 2013. Minimum Data Set for Assessing Soil Quality in Farmland of Northeast China. *Pedosphere. 23: 5.* 564-576.
13. DeAraújo, A.G., and Saraiva, A.M. 2003. Fuzzy modelling of soil compaction by agricultural machine traffic, *Proceedings of the 4th Conference of the European Federation for Information Technology in Agriculture, Food and Environment (EFITA).* 5-9. July 2003. Debrecen. Hungary.
14. D'Hose, T., Cougnon, M., Vliegheer, A.D., Vandecasteele, B., Viaene, N., Cornelis, W., Bockstaele, E.V., and Reheul, D. 2014. The positive relationship between soil quality and crop production: a case study on the effect of farm compost application. *Applied Soil Ecology, 75:* 189-198.
15. Doran, J.W., and Parkin, T.B. 1994. Defining and assessing soil quality. P 1-21. In J.W. Doran, D.C. Coleman, D.F. Bezdicek, and B.A. Stewart (eds.). *Defining soil quality for a sustainable environment.* Soil Science Society of America Special Publication no. 35, Madison, WI.
16. De Paz, J.M., Sanchez, J., and Visconti, F. 2006. Combined use of GIS and environmental indicators for assessment of chemical physical and biological soil degradation in a Spanish Mediterranean region. *J. Environ. Manage. 79:* 150-162.
17. Ghaemi, M., Astarai, A.R., Sanaei Nezhad, S.H., Nasiri Mahalati, M., and Emami, H. 2013. Evaluating Chemical Quality of Several soil cultivation wheat-corn using of soil quality Models at some Parts of Southeast Mashhad area. *Soil Research. 27: 4.* 463-473. (In Persian)
18. Gee, W., and Bauder, J.W. 1986. Particle size analysis. P 383-411. In: A. Klute (ed.), *Method of soil analysis. Part 1.* Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin.
19. Golden Software. 2002. *Surfer for Windows. Version 8,* Golden Software Inc., Golden Co., USA.
20. Gorji, M., Kakeh, J., and Ali Mohammadi, A. 2017. Quantitative assessment of soil quality in different landuses in part of southern East of Qazvin. *Iran. J. Soil Water Res. 45: 4:* 775-784. (In Persian)
21. 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.
22. Huang, B., Sun, W.X., Zhao, Y.C., Zhu, J., Yang, R.Q., Zou, Z., Ding, F., and Su, J.P. 2007. Temporal and spatial of soil organic

- matter and total nitrogen in an agricultural ecosystem as affected by farming practices. *Geoderma*. 139: 336-345.
23. Imaz, M.J., Virto, I., Bescansa, P., Enrique, A., Fernandez-Ugalde, O., and Karlen, D.L. 2010. Soil quality indicator response to tillage and residue management on semi-arid Mediterranean cropland. *Soil and Tillage Research*. 107: 17-25.
 24. Karlen, D.L., Gardner, J.C., and Rosek, M.J. 1998. A soil quality framework for evaluating the impact of CRP. *J. Prod. Agric*. 11: 56-60.
 25. Karlen, D.L., Andrews, S.S., and Doran, J.W. 2001. Soil quality: Current concepts and applications. *Advances in Agronomy*. 74: 1-40.
 26. Li, P., Zhang, T., Wang, X., and Yu, D. 2013. Development of biological soil quality indicator system for subtropical China. *Soil and Tillage Research*. 126: 112-118.
 27. Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 42: 421-428.
 28. Liu, Z.J., Wei, Z., Shen, J.B., Li, S.T., Liang, G.Q., Wang, X.B., and Chao, A. 2014. Soil Quality Assessment of Acid Sulfate Paddy Soils with Different Productivities in Guangdong Province, China. *J. Integr. Agric.* 13: 1. 177-186.
 29. Liu, Y., Wang, H., Zhang, H., and Liber, K. 2016. A comprehensive support vector machine-based classification model for soil quality assessment. *Soil and Tillage Research*. 155: 19-26.
 30. Mandal, U.K., Warrington, D.N., Bhardwaj, A.K., BarTal, A., Kautsky, L., Minz, D., and Levy, G.J. 2008. Evaluating impact of irrigation water quality on a calcareous clay soil using principal component analysis. *Geoderma*, 144: 189-197.
 31. Mausbach, M.J., and Seybold, C.A. 1998. Assessment of soil quality. P 33-43. In: L. Rattan (ed.). *Soil quality and agricultural sustainability*. Sleeping Bear Press, Chelsea.
 32. Mohammadi, J. 2006. *Pedometer (Spatial Statistics)*, Second volume, published by Pelk, 240p. (In Persian)
 33. Moral, F.J., Terrón, J.M., and Marques da Silva, J.R. 2010. Delineation of management zones using mobile measurements of soil apparent electrical conductivity and multivariate geostatistical techniques. *Soil and Tillage Research*. 106: 335-343.
 34. Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter, P 539-579. In: A.L. Page (ed.) *Methods of Soil Analysis Part 2*. 2nd ed. Agronomy. Monogr 9. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI.
 35. Oliver, Y.M., and Robertson, M.J. 2013. Quantifying the spatial pattern of the yield gap within a farm in a low rainfall Mediterranean climate. *Field Crops Research*. 150: 29-41.
 36. Olsen, S.R., and Sommers, L.E. 1982. Phosphorus. P 403-430. In: A.L. Page (ed.), *Methods of soil analysis, Agron. No. 9, Part 2: Chemical and Microbiological Properties*, 2nd ed., American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
 37. Ortega, R.A., and Santibáñez, O.A. 2007. Determination of management zones in corn (*Zea mays* L.) based on soil fertility. *Computers and Electronics in Agriculture*. 58. 49-59.
 38. Page, A., Miller, R., and Keeney, D. 1982. *Methods of Soil Analysis*. 2th ed. Part 2: Chemical and biological properties. Soil Science Society of America. incorporated. publisher. 1143p.
 39. Paz, J.O., Batchelor, W.D., Tylka, G.L., and Hartzler, R.G. 2001. A modeling approach to quantifying the effects of spatial soybean yield limiting factors. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. 44: 5. 1329-1344.
 40. Pierce, F.J., Larson, W.E., and Dowdy, R.H. 1985. Soil loss tolerance: maintenance of long-term soil productivity. *J. Soil Water Cons.* 39: 136-138.
 41. Popp, J., Hoag, D., and Ascough, J.I. 2002. Targeting soil conservation policies for sustainability: new empirical evidence. *J. Soil Water Cons.* 57: 66-74.

42. Qi, Y., Jeremy, L.D., Huang, B., Zhao, Y., Sun, W., and Gu, Z. 2009. Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China. *Geoderma*, 149: 325-334.
43. Rahmanipour, F., Marzaiolib, R., Bahrami, H.A., Fereidouni, Z., and Rahimi Bandarabadi, S. 2014. Assessment of soil quality indices in agricultural lands of Qazvin Province, Iran. *Ecological Indicator*. 40: 19-26.
44. Ramezani, F., Jafari, S., and Salavati, A. 2015. Study the Soil Quality Changes Indicators Using Nemoro and Integrated Quality Index Models in Some Khuzestan's Soils. *J. Water Soil*. 29: 6. 1629-1639. (In Persian)
45. Reynolds, W.D., Drury, C.F., Tan, C.S., Fox, C.A., and Yang, X.M. 2009. Use of indicators and pore volume-function characteristics to quantify soil physical quality. *Geoderma*, 152: 3-4. 252-263.
46. Rezaei, S.A., Gilkes, R.J., and Andrews, S.S. 2006. A minimum data set for assessing soil quality in rangelands. *Geoderma*. 136: 229-234.
47. Roel, A., and Plant, R.E. 2004. Spatiotemporal analysis of rice yield Variability in two California fields. *Agron. J*. 96: 77-90.
48. Seybold, C.A., Dick, R.P., and Pierce, F.J. 2001. USDA soil quality test kit: Approaches for comparative assessments. *Soil Survey Horizons*. 42: 43-52.
49. Shahab, H., Emami, H., Haghnia, G.H., and Karimi, A. 2013. Pore size distribution as a soil physical quality index for agricultural and pasture soils in northeastern Iran. *Pedosphere*. 23: 312-320.
50. Shukla, M.K., Lal, R., and Ebinger, M. 2006. Determining soil quality indicators by factor analysis. *Soil Tillage Research*. 87: 194-204.
51. Sun, B., Zhou, S.L., and Zhao, Q.G. 2003. Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical China. *Geoderma*. 115: 85-99.
52. Wang, Y., Zhang, X., and Huang, C. 2009. Spatial variability of soil total nitrogen and soil total phosphorus under different landuses in a small watershed on the Loess Plateau, China. *Geoderma*. 150: 141-149.
53. Yao, R.J., Yang, J.S., Zhao, X.F., Li, X.M., and Liu, M.X. 2013. Determining minimum data set for soil quality assessment of typical salt-affected farmland in the coastal reclamation area. *Soil and Tillage Research*. 128: 137-148.
54. Zalidis, G., Stamatiadis, S., Takavakoglou, V., Eskridge, K., and Misopolinos, N. 2002. Impacts of agricultural practices on soil and water quality in the Mediterranean region and proposed assessment methodology. *Agric. Ecosyst. Environ. J*. 88: 2. 137-146.
55. Zhang, B., Zhang, Y., Chen, D., White, R.E., and Li, Y. 2004. A quantitative evaluation system of soil productivity for intensive agriculture in China. *Geoderma*, 123: 319-331.



Assessing and mapping of Integrated and Nemerlo soil quality indices and their relationship with rose yield (A case study: Bardsir, Kerman province)

***M. Bahmani¹, J. Mohammadi², I. Esfandiarpour Boroujeni³ and H.R. Motaghian⁴**

¹Ph.D. Student, Dept. of Soil Science, Shahrekord University, ²Professor, Dept. of Soil Science, Shahrekord University, ³Associate Prof., Dept. of Soil Science, Vali-e-Asr University of Rafsanjan,

⁴Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Shahrekord University

Received: 09.10.2018; Accepted: 01.29.2019

Abstract

Background and Objectives: The assessment of soil quality for agricultural land is essential for the economic successes and sustainability of the environment in developing countries. Currently, many types of methods with different factors are used to evaluate soil quality. Soil quality evaluation is an indicator of sustainable agriculture and optimized application of utilization of natural resources. Moreover, the Bardsir city is one of the most important regions of Rose (*Rosa Damasceneae* Mill) in Kerman province and Iran. In this research, soil quality were evaluated in a part of the cultivated land of Rose using integrated soil quality index (IQI) and Nemerlo soil quality index (NQI) in combination with two of data sets, total data set (TDS) and minimum data set (MDS) for 0-25 and 25-50 cm depth.

Materials and Methods: In this research, a farm with an area of 30 hectares was selected in Bardsir city, Kerman province. Then, 100 locations were sampled to determine soil characteristics (0-25 and 25-50 cm), then in each location, the yield was determined. Among the total characteristics of soil quality, the most important of characteristics were determined Using principal component analysis (PCA). The results showed that in the topsoil and subsoil, minimum data set were organic matter, sand, Mn, calcium carbonate equivalent, Zn, Cu and sand, K, calcium carbonate equivalent, Zn, P, fragments and Mn, respectively.

Results: The results showed that at the 0-25 cm, the correlation between IQI_{TDS} and IQI_{MDS} and between NQI_{TDS} and NQI_{MDS} were 0.85 and 0.79, respectively. Also, at the depth of 25-50 cm, the correlation between IQI_{TDS} and IQI_{MDS} and between NQI_{TDS} and NQI_{MDS} were 0.75 and 0.77, respectively. The geostatistical analysis of soil quality indices showed that all of the studied soil parameters and Rose yield have spherical model and strong to medium spatial structure. The range of variograms is varied from 119.33 m for IQI_{TDS} in the subsoil to 151.8 m for NQI_{TDS} in the topsoil. Besides, the range of variogram for Rose yield was 122.16 m. The correlation between kriging maps of Rose yield and soil quality indices showed that the highest correlation was found between the yield and the IQI_{TDS} index at both studied depths. The results of correlation between soil quality indices and Rose yield showed that the IQI_{TDS} index has a higher correlation with yield than other indices.

Conclusion: These results demonstrated that the IQI index, especially in the TDS set, has a better performance for assessing the soil quality in the study area. Because of the relatively good correlation between this set and MDS, the TDS set is better to determine soil quality indices; this result may be attributed to use MDS to determine the soil quality indices with proper accuracy. However, if the purpose of soil quality assessment is to achieve the optimal yield, the use of IQI_{TDS} index, due to its greater correlation with the Rose yield, has a better performance.

Keywords: Mapping, Minimum data set, Principal Component Analyze, Total data set, Yield

* Corresponding Author; Email: bahmanimorteza@yahoo.com

