

Quantitative Evaluation and Zoning of Spatial Distribution of Soil Quality Index in Some Parts of Arid and Semi-Arid Lands of Western Iran (Case Study: Kane Sorkh Region, Ilam Province)

NASIM NORI¹, MAHMOOD ROSTAMINIA^{2*}, ALI KESHAVERZI³, ASGHAR RAHMANI⁴

1. Ms.c Student Science and soil Engineering Department, College of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran
 2. Assistant professor, Department of Water and Soil Engineering, College of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran
 3. Assistant professor, Science and soil Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agriculture & Natural Resources, Tehran University, Karaj, Iran,
 4. Ph.D Student of Soil Resources Management, Science and soil Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agriculture & Natural Resources, Tehran University, Karaj, Iran
- (Received: Jan. 21, 2019- Revised: Apr. 8, 2019- Accepted: Apr. 9, 2019)

ABSTRACT

Knowledge of the soils capacity to utilize them in the form of different major uses in agricultural ecosystems and natural resources requires the accurate recognition of the physico-chemical and biological properties of the soil, ensuring the sustainable use of the lands. Therefore, this research was conducted to evaluate the soil quality using quantitative models in the Kane Sorkh lands of Mehran as a part of arid and semi-arid lands of Ilam province (Iran). Soil samples were taken from the depth of 0-30 cm and weighted average for the depths of 30-100 cm of the soil profile. Physicochemical properties were measured based on the standard methods. Using principal component analysis (PCA), among a total 16 soil characteristics (TDS), eight properties were selected based on the eigen values and the correlation coefficient as the least properties affecting soil quality (MDS). Then, soil quality assessment was performed using two models of integrated quality index (IQI), Nemoro Quality Index (NQI), and each in two sets of TDS and MDS. The results showed that the top layer (0-30 cm) have a moderate quality class and the sub layer (30-100 cm of the profiles) have poor quality with severe constraints. According to the results, the most important factors limiting soil quality were organic matter deficiency, high percentage of calcium carbonate, gypsum, gravel and soil salinity. Determination coefficients (R^2) for the top and sub-layer samples between the two TDS and MDS sets in both IQI and NQI models were 0.79 and 0.79, 0.95 and 0.94, respectively, indicating the reliability of using MDS set instead of TDS in both models. Therefore, the use of most effective soil properties in the soil quality assessment studies is not only time consuming but also it is cost-effective for sustainable monitoring of agricultural land use.

Keywords: Integrated Quality Index, Minimum Data Set, Nemoro Quality Index, Total Data Set

ارزیابی کمی و پهنه‌بندی پراکنش مکانی شاخص کیفیت خاک در بخشی از اراضی خشک و نیمه‌خشک غرب ایران (مطالعه موردی: منطقه کن سرخ، استان ایلام)

نسیم نوری^۱، محمود رستمی‌نیا^{۲*}، علی کشاورزی^۳ اصغر رحمانی^۴

۱. دانشجوی کارشناسی‌ارشد علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

۲. استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

۳. استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۴. دانشجوی دکتری مدیریت منابع خاک گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۱ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۱/۱۹ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۱/۲۰)

چکیده

آگاهی از ظرفیت خاک‌ها برای بهره‌برداری از آن‌ها در قالب انواع استفاده‌های اصلی در اکوسیستم‌های کشاورزی و منابع طبیعی مستلزم شناخت دقیق ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و زیستی خاک می‌باشد که تضمین کننده استفاده پایدار از اراضی می‌باشد. لذا این تحقیق به منظور ارزیابی کیفیت خاک با استفاده از مدل‌های کمی در اراضی کن سرخ شهرستان مهران به عنوان بخشی از اراضی خشک و نیمه‌خشک ایران در استان ایلام انجام شد. نمونه‌های خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری و متوسط وزنی عمق ۳۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متری خاک‌رخ برداشت گردید. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی بر اساس روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد. با استفاده از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)، از مجموع ۱۶ ویژگی خاک (TDS)، بر اساس میزان ارزش ویژه و ضریب همبستگی، ۸ ویژگی به عنوان حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک (MDS) انتخاب گردید. سپس با استفاده از دو مدل شاخص کیفیت تجمعی (IQI) و شاخص کیفیت نمورو (NQI) و هر کدام در دو مجموعه TDS و MDS ارزیابی کیفیت خاک انجام شد. نتایج نشان داد که خاک‌های منطقه در نمونه‌های سطحی دارای کلاس کیفیت متوسط و نمونه‌های متوسط وزنی عمق ۳۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متری خاک‌رخ‌ها دارای کیفیت ضعیف به همراه محدودیت شدید می‌باشند. طبق نتایج مهم‌ترین عوامل محدودکننده کیفیت خاک کمبود ماده آلی، درصد بالای کربنات کلسیم، گچ، سنگریزه و شوری خاک بود. ضریب تبیین (R^2) برای نمونه‌های سطحی و متوسط عمقی بین دو مجموعه TDS و MDS در دو مدل IQI و NQI به ترتیب ۰/۷۹، ۰/۷۹، ۰/۹۵ و ۰/۹۴ بود که نشان‌دهنده قابل اطمینان بودن استفاده از مجموعه MDS به جای TDS در هر دو مدل می‌باشد. بنابراین استفاده از مؤثرترین ویژگی‌های خاک در مطالعات ارزیابی کیفیت خاک ضمن کاهش زمان مطالعات خاک‌شناسی زمینه صرفه اقتصادی در بحث پایش و بهره‌برداری پایدار از اراضی کشاورزی را فراهم می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: شاخص کیفیت تجمعی، شاخص کیفیت نمورو، مجموعه کل داده‌ها، مجموعه حداقل داده‌ها

مقدمه

نیمه‌خشک دارد (Reberg- Horton *et al.*, 2012). ارزیابی کیفیت خاک می‌تواند یک رویکرد عملی برای تشخیص زودهنگام اثرات نامطلوب شیوه‌های مدیریتی باشد (Askari and Holden, 2015). درک کیفیت خاک برای شناسایی مناطق مشکل‌دار و ارزیابی مدیریت کشاورزی پایدار مهم است (Marzaioli *et al.*, 2010; Takoutsing *et al.*, 2016). امروزه امنیت منابع خاک با خطرات زیادی روبرو است. دلیل اصلی این امر رشد روز افزون جمعیت و افزایش نیازهای جوامع بشری می‌باشد که منجر به تشدید اقداماتی از جمله بهره‌برداری بی‌رویه از منابع طبیعی تجدید

سطح وسیعی از اراضی کشور در مناطق خشک، نیمه‌خشک و مدیترانه‌ای (۲۹/۵، ۲۰/۰۸، ۵ درصد) قرار گرفته است (khalili, 2005) که دارای خاک‌هایی با مواد آلی کم، تجمع کربنات کلسیم، گچ، املاح محلول، بافت متغیر و با فعالیت بیولوژیکی کم می‌باشد (Roozitalab *et al.*, 2018). شناسایی مناسب و صحیح خصوصیات مختلف فیزیکی و شیمیایی خاک نقش بسیار مهمی در تعیین درجه فرسایش‌پذیری، تخریب خاک و مدیریت طرح‌های کشاورزی و حفاظت خاک‌های مناطق خشک و

دخالته ندارد (Qin and Zhao, 2000; Han and Wu, 1994). Guo *et al.* (2017) کیفیت خاک را بر مبنای چهار روش شاخص کیفیت خاک تجمعی خطی و غیرخطی و شاخص کیفیت خاک نمورو خطی و غیرخطی در دو دسته TDS و MDS بررسی نمودند. نتایج نشان داد که در هر دو مدل شاخص کیفیت تجمعی و نمورو خطی از روش غیرخطی مناسب تر بوده است. Ramezani *et al.* (2016) ارزیابی کیفیت خاک را با استفاده از شاخص کیفیت تجمعی و نمورو در دو مجموعه TDS و MDS در بخشی از اراضی استان خوزستان انجام دادند. نتایج نشان داد که همبستگی مثبت و معنی داری بین IQI و همچنین NQI در دو مجموعه TDS و MDS وجود داشت. هم چنین (2018) Azarneshan *et al.* به منظور تعیین بهترین روش ارزیابی کیفیت خاک در اراضی خشک و نیمه خشک دشت قزوین از شاخص کیفیت تجمعی و نمورو استفاده کردند. نتایج نشان داد برای محاسبه شاخص کیفیت خاک در قزوین مدل IQI_{TDS} مناسب تر عمل نمود و طبق این روش $56/53\%$ اراضی دارای درجه کیفیت خیلی خوب بود. همچنین روش IQI_{TDS} بالاترین میزان همبستگی را با IQI_{MDS} ($R^2=77/9$) نشان داد. در تحقیقی اثر کاربری های زراعی، باغ سیب و جنگل بلوط بر ویژگی های شیمیایی برخی خاک ها در استان آذربایجان غربی مورد بررسی قرار گرفت. نمونه ها در کاربری های مختلف به صورت کاملاً تصادفی برداشته شد و برخی ویژگی های شیمیایی خاک ها اندازه گیری و شاخص کیفیت خاک (SQI) در کاربری های مختلف تعیین گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که هرگونه مدیریت و نوع کاربری که باعث افزایش دست خوردگی خاک گردد، کاهش کیفیت خاک و افزایش حساسیت اراضی به فرسایش را در پی دارد (Rasouli-Sadaghiani and Sheikhloo, 2016).

Gorji *et al.* (2018) ارزیابی کمی کیفیت خاک در کاربری های مختلف باغ، مرتع، زراعت آبی، زراعت دیم و اراضی رها شده در بخشی از اراضی جنوب شرق قزوین را انجام دادند. ویژگی های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک در کاربری های مذکور با استفاده از دو شاخص کیفیت تجمعی و شاخص کیفیت نمورو ارزیابی شد. نتایج نشان داد که کاربری باغ و مرتع نسبت به کاربری های زراعت آبی، زراعت دیم و اراضی رها شده دارای کیفیت خاک بیشتری هستند و هر دو شاخص این امر را به وضوح نشان دادند. بررسی تغییرات مکانی برخی شاخص های کیفیت فیزیکی خاک در منطقه فندقلوی اردبیل با استفاده از زمین آمار انجام شد. در این پژوهش تغییرات مکانی چند شاخص مهم کیفیت فیزیکی خاک شامل کربن آلی (OC)، شن، سیلت، رس،

شونده، کشاورزی با نهاده های بیشتر، تغییر کاربری و جنگل تراشی شده است (Emami *et al.*, 2012; Wang *et al.*, 2012). در کشورهای در حال توسعه به علت آسیب پذیری خاک های کشاورزی از نظر زیست محیطی، توجه به کیفیت خاک دارای اهمیت اقتصادی می باشد (Wander *et al.*, 2002). کیفیت خاک، ظرفیت خاک برای تولید در اکوسیستم و کاربری اراضی برای حفظ باروری بیولوژیکی، کیفیت محیط زیست و تقویت سلامتی گیاه و حیوان می باشد که ارزیابی دقیق آن برای مدیریت پایدار خاک ضروری است (Emami *et al.*, 2010). کیفیت خاک به عنوان عاملی که ویژگی های ذاتی و مدیریت خاک بر آن مؤثر است در نظر گرفته شده و با تعیین شاخص های کیفیت خاک ارزیابی می گردد. شاخص های کیفیت خاک به صورت فرآیندها و ویژگی هایی از خاک تعریف می شوند که به تغییر کاربری خاک حساس باشند (Nosrati, 2013; Takoutsing *et al.*, 2016). شاخص های کیفیت خاک شامل شاخص های فیزیکی، شیمیایی و زیستی می باشند. شاخص های فیزیکی کیفیت خاک با توجه به تأثیر مستقیم بر روی رشد گیاه و ویژگی های شیمیایی و زیستی خاک، از اهمیت ویژه ای در برآورد کیفیت خاک برخوردار هستند. از طرفی، شاخص های میکروبی به دلیل پرهزینه بودن اندازه گیری خواص میکروبی بندرت در مطالعات منطقه ای مورد استفاده قرار می گیرند (Dose *et al.*, 2015; Niemeyer *et al.*, 2012). شاخص کیفیت خاک بر اساس مجموعه ی کل ویژگی های مؤثر بر کیفیت خاک (TDS^1) تعیین می گردد که تجزیه و تحلیل تعداد زیادی از ویژگی های خاک دشوار و زمان بر است. به همین دلیل پژوهشگران تعداد محدودتری از ویژگی های خاک را که نماینده بهتری از کیفیت خاک بوده اند، به عنوان مجموعه ی حداقل ویژگی های مؤثر بر کیفیت خاک (MDS^2) پیشنهاد کرده اند. انتخاب این ویژگی ها برحسب بیشترین همبستگی با کل کیفیت خاک (شاخص کلی) و سهولت اندازه گیری آن ها صورت گرفته است (Imaz *et al.*, 2010; Ngo-Mboba *et al.*, 2015) در کاربری های کشاورزی و زیست محیطی، از دو مدل شاخص کیفیت تجمعی (IQI^3) و شاخص کیفیت نمورو (NQI^4) برای تعیین کیفیت خاک استفاده می شود. برای محاسبه شاخص کیفیت تجمعی، با استفاده از توابع امتیازدهی استاندارد، برای هر مشخصه یک امتیاز تعیین شده و از مجموع حاصل ضرب امتیاز هر مشخصه در ضریب وزنی آن، مقدار شاخص محاسبه می شود (Doran and Parkin, 1994). همچنین شاخص کیفیت نمورو بر اساس میانگین و حداقل امتیاز ویژگی ها محاسبه می شود و وزن ویژگی های خاک

مواد و روش‌ها

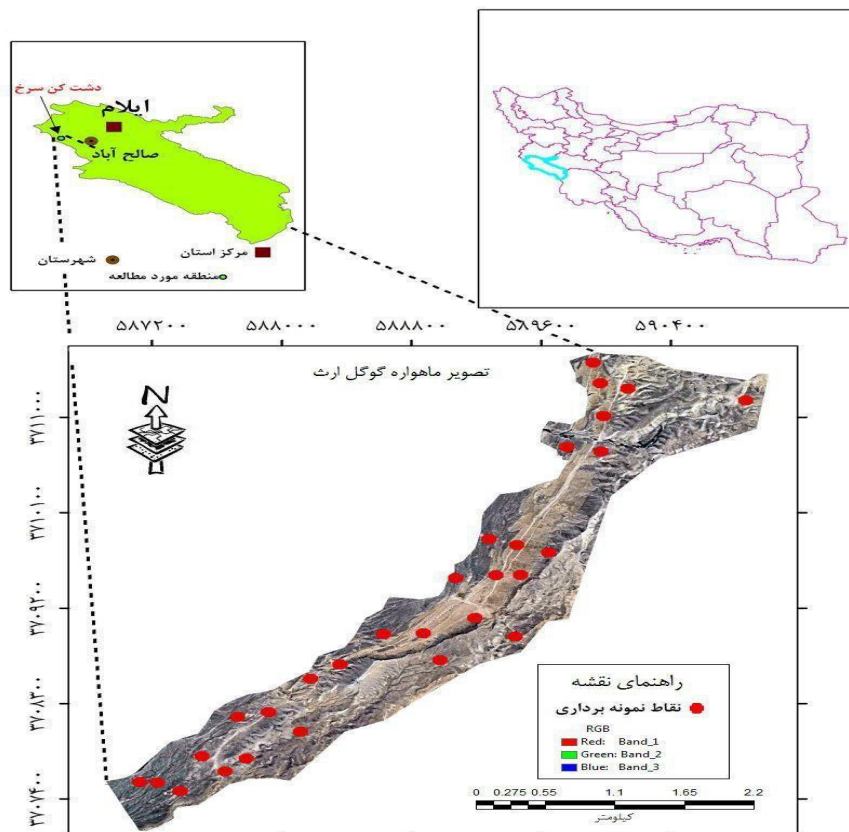
منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در ناحیه جنوب غربی کشور، در بخش صالح آباد شهرستان مهران، استان ایلام، در محدوده‌ای با عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۲ دقیقه و ۲۶ ثانیه تا ۳۳ درجه و ۲۹ دقیقه و ۵۳ ثانیه شمالی و طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۵۶ دقیقه و ۱ ثانیه تا ۴۵ درجه و ۵۹ دقیقه و ۲ ثانیه شرقی و در فاصله ۵ کیلومتری مرز ایران و عراق واقع گردیده است (شکل ۱). متوسط ارتفاع منطقه کن سرخ ۲۹۰ متر از سطح دریا، میانگین بارندگی سالیانه ۳۰۸ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه ۲۱/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. اقلیم منطقه مورد مطالعه گرم و خشک بوده و دارای رژیم حرارتی هایپرترمیک و رژیم رطوبتی یوستیک است. خاک‌های مورد مطالعه در دو رده اینسپتی‌سولز و انتی‌سولز همراه با مواد مادری گچی و آهکی قرار دارند (USDA- NRCS, 2014). کاربری غالب اراضی منطقه، مرتع می‌باشد.

نمونه‌برداری و تجزیه‌های آزمایشگاهی

پس از انجام مطالعات میدانی و تشریح خاک‌های حفر شده بر اساس راهنمای شناسایی خاک آمریکایی (۲۰۱۷) جمعاً تعداد ۱۱۵ نمونه از خاک سطحی (۰-۳۰ سانتی‌متری) و سایر افق‌های خاک‌رخ (تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متری) برداشت گردید. موقعیت هر یک از نمونه‌ها به وسیله دستگاه GPS ثبت شد. نمونه‌ها پس از جمع‌آوری و انتقال به آزمایشگاه، هوا خشک شده و از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شدند. تجزیه‌های فیزیکی شامل تعیین بافت خاک به روش هیدرومتر (Gee and Bauder, 1986)، درصد اشباع به روش اندازه‌گیری تغییر وزن نمونه‌ها در گل اشباع و پس از خشک شدن در آن در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد و جرم مخصوص ظاهری به روش کلوخه و پارافین (Brasher et al., 1966) اندازه‌گیری شد. تجزیه‌های شیمیایی شامل اندازه‌گیری pH گل اشباع به وسیله الکترود شیشه (McLean, 1982)، اندازه‌گیری قابلیت هدایت الکتریکی خاک در عصاره اشباع با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج در دمای آزمایشگاه و سپس تصحیح آن برای دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد (Rhoades, 1982)، درصد کربنات کلسیم با روش تیتراسیون برگشتی با استفاده از اسید کلریدریک یک نرمال و سود نیم‌نرمال (Nelson, 1982)، کربن آلی به روش سوزاندن تر با دی‌کرومات پتاسیم در مجاورت اسید سولفوریک غلیظ (Nelson and Sommers, 1982)، ازت کل به روش کج‌لدال، عناصر کم‌مصرف آهن و روی با روش DTPA (Lindsay and Norvell, 1978)، درصد گچ به روش (استون) و فسفر قابل جذب به روش اولسن (Olsen, 1954) اندازه‌گیری شد.

میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD)، هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s)، رطوبت اشباع (θ_s) و جرم مخصوص ظاهری (D_b) در سه کاربری مجاور هم اعم از جنگلی، زراعی و مرتعی بررسی گردید. نتایج این پژوهش نشان داد جرم مخصوص ظاهری، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، هدایت هیدرولیکی اشباع، رطوبت اشباع و کربن آلی خاک دارای ساختار مکانی قوی در منطقه مورد مطالعه بودند (Asghari et al., 2014). اثر جنگل تراشی در جهت‌ها و موقعیت‌های مختلف شیب بر تخریب خاک سطحی در بخشی از پارک جنگلی سراوان، واقع در جنوب شهرستان رشت مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌برداری از خاک از دو عمق ۰-۱۵ و ۱۵-۳۰ سانتی‌متری از مسیر جنگل تراشی شده و جنگل مجاور آن، از دو جهت و چهار موقعیت شیب انجام شد. برخی از شاخص‌های مهم فیزیکی و شیمیایی کیفیت خاک شامل جرم مخصوص ظاهری، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، توزیع اندازه ذرات، اسیدیته، ظرفیت تبادل کاتیونی، ماده آلی، کربنات کلسیم معادل، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل دسترس اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که میانگین شاخص کیفیت خاک نمره (NQI) در خاک سطحی اراضی جنگل تراشی شده نسبت به اراضی جنگلی ۶۷/۶ درصد کاهش یافته است. اختلاف شاخص‌های کیفیت خاک بین موقعیت‌های مختلف شیب در اراضی جنگل تراشی شده، مشهودتر از اراضی جنگلی است (Yaghmaeian Mahabadi et al., 2017). (Ghahramanpour et al., 2019) تأثیر سامانه‌های خاک‌ورزی حفاظتی و کم‌خاک‌ورزی بر شاخص‌های کیفیت خاک در پنج سال متوالی در اراضی دیم کوهین قزوین را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که بدون خاک‌ورزی، کم‌خاک‌ورزی با دیسک و خاک‌ورزی حفاظتی با خاک‌ورزی مرکب به ترتیب در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری، ۳۲/۷۹، ۲۱/۸۷ و ۱۹/۲۲ درصد، در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متری ۱۸/۹۴، ۱۵/۷۴ و ۱۴/۷۶ درصد و در عمق ۲۰-۳۰ سانتی‌متری ۱۷/۳۲، ۱۱/۶۲ و ۱۶/۸۲ درصد در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم باعث بهبود شاخص کیفیت تلفیقی خاک شدند. علاوه بر این شاخص کیفیت خاک نمره نیز در کلیه تیمارها نسبت به شاهد (خاک‌ورزی مرسوم) بهبود یافت. هم‌چنین با افزایش عمق خاک، کیفیت خاک و میزان تأثیر تیمارها بر آن روند کاهشی نشان داد. تحقیق حاضر به منظور ارزیابی شاخص کیفیت خاک با استفاده از مدل‌های کمی IQI و NQI و با هدف بررسی و مقایسه دو مجموعه‌ی کل داده‌ها (TDS) و مجموعه‌ی داده‌های حداقل (MDS) در لایه سطحی (عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری) و متوسط وزنی عمق ۳۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متری خاک‌رخ‌ها در اراضی خشک و نیمه‌خشک منطقه کن سرخ شهرستان مهران واقع در استان ایلام انجام شد.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

بالاترین وزن همبستگی قابل توجهی با سایر متغیرها داشته باشد، متغیر با بالاترین وزن می تواند به اندازه کافی نماینده سایر متغیرها باشد.

با توجه به اینکه ویژگی های مورد بررسی دارای واحدهای گوناگونی می باشند، برای اینکه بتوان آن ها را در قالب یک شاخص کلی بیان نمود، ویژگی ها را باید بی بعد در نظر گرفت (Amirinejad *et al.*, 2011). برای این منظور از توابع نمره دهی استاندارد استفاده شد. به این صورت که، متغیرها در سه دسته بیشتر- بهتر (خصوصیاتی که افزایش آن ها موجب بهبود کیفیت خاک می گردد مانند کربن آلی)، کمتر- بهتر (خصوصیاتی که افزایش آن ها موجب کاهش کیفیت خاک می گردد مانند جرم مخصوص ظاهری) و تابع سطح بهینه که در مورد خصوصیاتی از خاک است که افزایش یا کاهش آن ها تا حد معینی موجب بهبود کیفیت خاک می گردد و افزایش یا کاهش آن ها بیش از حد بهینه، موجب کاهش کیفیت خاک می گردد (مانند پ هاش خاک)، دسته بندی شدند. برای تعیین امتیاز متغیرها، ویژگی هایی که از نظر کیفیت خاک دارای مطلوب ترین مقدار بود، مقدار عضویت ۱

انتخاب، امتیازدهی و وزن دهی ویژگی های مؤثر بر کیفیت خاک در این تحقیق از روش مجموعه کل داده ها (TDS) و مجموعه داده های حداقل (MDS) استفاده گردید. در روش TDS تمامی خصوصیات اندازه گیری شده (جمعاً ۱۶ ویژگی فیزیکی و شیمیایی) لحاظ شدند. در روش MDS به منظور شناسایی و انتخاب داده های جایگزین یکی از پرکاربردترین روش ها، روش تجزیه به مؤلفه های اصلی (PCA) است که در نرم افزار SPSS قابل اجرا می باشد. روش PCA به منظور کاهش حجم داده ها، به صورت گزینش ویژگی هایی که بیشترین تأثیر را بر کیفیت دارند، به صورت زیرمجموعه ای از کل ویژگی های مورد بررسی خاک استفاده شد (Qi *et al.*, 2009).

بر اساس روش Govaerts *et al.* (2002) و Andrews *et al.* (2006) برای گزینش MDS، مؤلفه های اصلی (PC) با ارزش ویژه بزرگ تر از یک به عنوان MDS مورد بررسی قرار می گیرند. درون هر مؤلفه اصلی، شاخص هایی که دارای بالاترین سهم باشند به همراه شاخص هایی که دارای اختلاف کمتر از 10 درصد با آن ها باشند، شناسایی و به عنوان MDS انتخاب شدند. چنانچه متغیر

مورد بررسی قرار گرفت و در صورت نرمال نبودن توزیع داده‌ها، از تبدیل لگاریتمی و یا ریشه‌ی دوم استفاده شد.

روش‌های درون‌یابی مکانی

به منظور انجام درون‌یابی مکانی از نیم‌تغییرنما استفاده شد. نیم‌تغییرنما اساسی‌ترین ابزار در زمین‌آمار است که برای تشریح ارتباط مکانی یک متغیر به کار می‌رود. نیم‌تغییرنما کمیتی برداری است که درجه همبستگی مکانی و شباهت بین نقاط اندازه‌گیری شده را برحسب مربع تفاضل مقدار متغیر در دو نقطه و با توجه به جهت و فاصله آن‌ها نشان می‌دهد. معمولاً نیم‌تغییرنما را با علامت $\gamma(h)$ نمایش می‌دهند، معادله آن در رابطه (۳) ارائه شده است.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^h (Zxi - Z(xi + h))^2 \quad (\text{رابطه ۳})$$

که در آن $N(h)$ تعداد جفت نمونه‌های به کار رفته در محاسبه متغیر که در فاصله h از یکدیگر قرار دارند، $Z(xi)$ مقدار مشاهده شده متغیر مورد نظر و $Z(xi+h)$ مقدار مشاهده شده متغیر مورد نظر که به فاصله h از $Z(xi)$ قرار دارد (Asghari et al., 2014).

هر نیم‌تغییرنما از سه پارامتر اثر قطعه‌ای، شعاع تأثیر و حد آستانه تشکیل شده است. مقدار نیم‌تغییرنما به ازای $h=0$ را اثر قطعه‌ای می‌گویند که معمولاً ناشی از وجود مؤلفه‌های تصادفی در توزیع متغیر، خطاهای نمونه‌برداری، آماده‌سازی، آزمایشگاهی و آنالیز است. با افزایش h مقدار نیم‌تغییرنما تا فاصله معینی اضافه شده سپس به حد ثابتی می‌رسد که این فاصله را دامنه تأثیر و مقدار نیم‌تغییرنما که ثابت شده را حد آستانه گویند. دامنه تأثیر ویژگی‌های مختلف خاک، تابعی از مقیاس و فاصله نمونه‌برداری و موقعیت سیمای اراضی می‌باشد. معمول‌ترین مدل‌های تجربی نیم‌تغییرنما برای بررسی و مطالعه ویژگی‌های خاک، مدل کروی و نمایی می‌باشد. روش‌های مختلفی در برآورد متغیرهای مکانی وجود دارد که تفاوت عمده آن‌ها در محاسبه‌ی اوزانی است که به نقاط مشاهده شده متغیر واقع در همسایگی نقطه مورد تخمین می‌دهد. در این تحقیق از روش‌های زمین‌آماري کریجینگ، توابع پایه شعاعی و وزن‌دهی معکوس فاصله برای بررسی تغییرات مکانی پارامترها استفاده شد (Asghari et al., 2014).

روش کریجینگ

در روش‌های زمین‌آماري، تخمین بر اساس ساختار فضایی موجود در محیط مورد نظر صورت می‌گیرد که طی آن می‌توان مقدار یک کمیت در نقاطی با مختصات نامعلوم را با استفاده از مقدار همان کمیت در نقاط دیگری با مختصات معلوم به دست آورد. این تخمین‌گر زمین‌آماري به نام کریجینگ نام‌گذاری شده است.

و محدوده‌ای که کمترین کیفیت را داشت مقدار ۰/۱ به آن تعلق گرفت. بنابراین تابعی به دست آمد که با استفاده از آن، مقادیر ویژگی مورد نظر بین ۰/۱ (کمترین مطلوبیت برای کیفیت خاک) و ۱ (بیشترین مطلوبیت برای کیفیت خاک) متغیر بود (Li et al., 2013).

برای تعیین ضریب وزنی هر متغیر، از آنالیز فاکتورهای اصلی (Factor Analysis) با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۵ استفاده شد. با استفاده از آنالیز فاکتورهای اصلی، واریانس مشترک برای دو مجموعه TDS و MDS به دست آمد و از نسبت واریانس مشترک هر متغیر به مجموع واریانس مشترک کل متغیرها ضریب وزنی برای هر متغیر محاسبه گردید (Rezaei et al., 2006; Shahab et al., 2013).

محاسبه شاخص‌های کیفیت خاک

طبق رابطه (۱) شاخص کیفیت تجمعی (IQI)، از مجموع حاصل ضرب وزن هر ویژگی در امتیاز آن ویژگی به دست می‌آید (Bi et al., 2013; Congreves et al., 2015).

$$IQI = \sum_{i=1}^n W_i \times N_i \quad (\text{رابطه ۱})$$

در این معادله W_i وزن تعلق یافته به هر ویژگی خاک، N_i مقدار نمره یا امتیاز تعلق یافته به هر ویژگی و n تعداد ویژگی‌های استفاده شده می‌باشد. همچنین طبق رابطه (۲) شاخص کیفیت نمره (NQI)، بر اساس حداقل و میانگین هر ویژگی به دست می‌آید (Rahmanipour et al., 2014; Wang et al., 2014).

$$NQI = \sqrt{\frac{p_{ave}^2 + p_{min}^2}{2}} \times \frac{n-1}{n} \quad (\text{رابطه ۲})$$

در این رابطه، P_{ave} میانگین امتیاز تعلق یافته به ویژگی‌های انتخاب شده در هر نمونه خاک، P_{min} حداقل امتیاز موجود در بین ویژگی‌های انتخاب شده برای هر نمونه و n تعداد ویژگی‌های مورد نظر است.

هر کدام از این شاخص‌ها برای هر نمونه خاک با استفاده از دو مجموعه ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک شامل TDS و MDS تعیین شدند. در نتیجه برای هر نمونه از خاک چهار شاخص کلی کیفیت خاک شامل IQI_{TDS} ، IQI_{MDS} ، NQI_{TDS} و NQI_{MDS} به دست آمد.

توصیف آماری داده‌ها

قبل از هرگونه تجزیه و تحلیل آماری، منظم کردن داده‌ها و ارائه‌ی یک خلاصه‌ی آماری از توزیع داده‌ها ضروری است. در این پژوهش، پارامترهای آماری (شامل بیشینه، کمینه، میانگین، چولگی، کشیدگی، واریانس و ضریب تغییرات داده‌ها) با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۵ محاسبه و ارزیابی شدند. همچنین، توزیع داده‌ها به دو روش هیستوگرام و بررسی چولگی و کشیدگی

گردید.

$$RMSEE = \sqrt{1/n \sum_{i=1}^n (Z_{xi}^* - Z_{xi})^2} \quad (\text{رابطه ۶})$$

در رابطه (۶): Z_{xi}^* مقدار متغیر اندازه گیری شده، Z_{xi} مقدار متغیر برآورد شده توسط مدل و n تعداد مشاهدات صورت گرفته می باشد (Asghari et al., 2014).

درجات کیفیت خاک

به منظور طبقه بندی شاخص ها، از روش Qi et al. (2009) استفاده شد. در این روش کیفیت خاک به چهار کلاس درجه بندی می شود. خاک های درجه I مناسب برای رشد گیاه، خاک های درجه II مناسب برای رشد گیاه اما با مقدار کمی محدودیت، خاک های درجه III دارای محدودیت بیشتری نسبت به درجه II و خاک های درجه IV دارای محدودیت زیاد برای رشد گیاه هستند. نقشه توزیع مکانی درجه کیفیت خاک نیز با استفاده از نرم افزار ArcGIS تهیه گردید.

نتایج و بحث

برای انتخاب ویژگی های مؤثر فیزیکی شیمیایی مورد مطالعه از روش (PCA) استفاده شد. بر همین اساس، شش مؤلفه اصلی با ارزش ویژه بزرگ تر از یک که در مجموع ۸۲/۲۳ درصد از واریانس کل را تحت پوشش قرار می دادند، استخراج شد (جدول ۱). همان طور که در جدول (۱) مشاهده می شود از بین ۱۶ معیار مورد بررسی در TDS، هشت معیار کربن آلی، قابلیت هدایت الکتریکی، گچ، کربنات کلسیم، رس، شن، پ هاش خاک و جرم مخصوص ظاهری به عنوان MDS انتخاب شد. در این پژوهش مجموعه MDS، بر اساس شرایط و وضعیت خاک منطقه مورد مطالعه قابل قبول بود و شامل مجموعه ای از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی است (Shukla et al., 2006). (Yu et al., 2018) به منظور توسعه شاخص های کمی کیفیت خاک در مناطق نیمه خشک چین با استفاده از روش PCA، از بین ۱۳ ویژگی مورد مطالعه تنها سه ویژگی نسبت نیتروژن به فسفر، کربن آلی قابل استخراج با آب و کربن ناپایدار را به عنوان مجموعه MDS انتخاب کردند.

در PC_1 ، کربن آلی بالاترین وزن را داشت و پس از آن به ترتیب متغیرهای نیتروژن کل، ظرفیت تبادل کاتیونی، قابلیت هدایت الکتریکی و درصد گچ دارای وزن بالا بودند اما با توجه به اینکه CEC و N_t به صورت برآوردی از رس و کربن آلی در این تحقیق به دست آمده اند در حالی که EC و $CaSO_4$ در آزمایشگاه و تا حد امکان با دقت به دست آمده اند و نیز به علت همبستگی بالای کربن آلی با نیتروژن کل (۰/۷۹) و کربن آلی با

کریجینگ روشی است برای تخمین بهینه خطی ناریب متغیرهای ناحیه ای در مناطق نمونه برداری نشده که با استفاده از خواص ساختاری نیم تغییرنا مورد استفاده قرار می گیرد و اصولاً کریجینگ نامی تعمیم یافته برای کل روش های آماری تخمین و برآورد متغیرهای ناحیه ای بوده و به عنوان یک تابع خطی از مجموعه مشاهدات توزیع شده واقع در همسایگی نقطه ای که می خواهیم تخمین بز نیم شناخته می شود. از مهم ترین ویژگی های کریجینگ آن است که به از هر تخمینی، خطای مرتبط با آن را نیز می توان محاسبه کرد. شرط استفاده از روش کریجینگ آن است که دارای توزیع نرمال باشد. در غیر این صورت باید از روش کریجینگ غیر خطی استفاده یا به نحوی توزیع متغیر نرمال گردد. محاسبه کریجینگ به صورت رابطه (۴) است.

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (\text{رابطه ۴})$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$$

در رابطه (۴)، $Z(x_0)$ مقدار تخمینی، λ_i وزن یا اهمیتی که به نمونه نام نسبت داده شده است و $Z(x_i)$ مقدار مشاهده ای نمونه نام است (Asghari et al., 2014).

روش وزن دهی عکس فاصله

در این روش برای پیش بینی مقدار مجهول متغیر یک موقعیت نمونه برداری نشده از مقادیر معلوم متغیر اندازه گیری شده در نقاط اطراف (نقاط همسایگی) استفاده می شود. این روش به صورت عکس فاصله به توان P بیان می گردد که توان نشان دهنده میزان اهمیت نقطه است، رابطه (۵) در این روش مورد استفاده قرار می گیرد.

$$Z(X, Y) = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{d_i^p}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}} \quad (\text{رابطه ۵})$$

در رابطه (۵)، $Z(X, Y)$ مقدار متغیر نقطه مجهول، Z_i مقدار متغیر نقطه معلوم، P توان و d فاصله نقطه مجهول تا نقطه نام است.

توابع پایه شعاعی

روش های توابع پایه شعاعی، مجموعه ای از روش های درون یابی دقیق می باشند. یعنی سطح باید از هر مقدار نمونه اندازه گیری شده عبور کند، ۵ تابع پایه مختلف وجود دارد: thin plate spline، spline with tension، spline کاملاً منظم، توابع درجه نام و spline درجه نام معکوس. هر تابع پایه شکل متفاوتی دارد و سطح درون یابی متفاوتی را نتیجه می دهد.

معیار ارزیابی روش های درون یابی مکانی

به منظور ارزیابی و انتخاب بهترین روش درون یابی از معیار $RMSEE^1$ ریشه میانگین مربعات خطا (رابطه ۶) استفاده

بود که هر دو به‌عنوان MDS انتخاب شدند. در PC₂، گچ و پ-هاش خاک به‌عنوان MDS انتخاب شدند. در PC₃، متغیر نیتروژن کل با بالاترین وزن در مجموعه MDS قرار گرفت.

وزن‌دهی ویژگی‌ها

مقادیر سهم هر ویژگی (Communality) حاصل از آنالیز تجزیه عامل (FA) در دو مجموعه TDS و MDS برای منطقه مورد مطالعه در جدول (۳) ارائه شده است. میزان تأثیرگذاری هر ویژگی در مدل‌های کیفیت خاک به وزن اختصاص یافته به آن ویژگی بستگی دارد. به عبارتی ویژگی‌های دارای وزن بالاتر در مجموعه TDS یا MDS دارای تأثیر بیشتر بر مدل کیفیت خاک بوده و با کاهش وزن آن، این تأثیر کمتر می‌شود (Govaerts *et al.*, 2006). نتایج حاصل از محاسبه وزن در مجموعه TDS نشان داد که پارامترهای ظرفیت تبادل کاتیونی، کربن آلی، نیتروژن کل و شن دارای وزن بالاتری هستند. در حالی که آهن خاک دارای کمترین تأثیر در کیفیت خاک منطقه مورد مطالعه است. در مجموعه MDS، جرم مخصوص ظاهری دارای وزن بالاتری است. سهم و وزن اختصاص یافته مشابه در دو ویژگی کربنات کلسیم و پهاش خاک در مجموعه MDS احتمالاً نشان‌دهنده تأثیر یکسان این دو پارامتر در کیفیت خاک منطقه می‌باشد.

ظرفیت تبادل کاتیونی (۰/۷۶)، در PC₁ متغیرهای کربن آلی، EC و CaSO₄ به‌عنوان MDS انتخاب شدند. در PC₂، Sand بالاترین وزن را داشت و پس از آن متغیرهای درصد سیلت، کربنات کلسیم و رس بودند که به دلیل تأثیر بیشتر درصد کربنات کلسیم و رس بر کیفیت خاک در منطقه مورد مطالعه این دو متغیر به‌عنوان MDS انتخاب شدند. در PC₃، درصد سنگریزه دارای بالاترین وزن بود و پس از آن بر اساس ۱۰٪ اختلاف وزن، متغیر pH قرار داشت ولی چون ویژگی‌هایی مانند درصد سنگریزه (Shukla *et al.*, 2006) در مقیاس کوچک حائز اهمیت نیستند، در این PC، pH به‌عنوان MDS انتخاب شد. در PC₄ جرم مخصوص ظاهری دارای بالاترین وزن بود و به‌عنوان MDS انتخاب شد. در PC₅ نیز EC دارای بالاترین وزن بود ولی چون در PC₁ به‌عنوان MDS انتخاب شده و نیز به دلیل جلوگیری از تکرار در این PC هیچ متغیری به‌عنوان MDS انتخاب نشد.

برای نمونه‌های متوسط وزنی عمق ۳۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر خاکرخ‌ها نیز سه مؤلفه اصلی (PC) با ارزش ویژه بزرگ‌تر از ۱ مطابق جدول (۲) استخراج شد که ۷۷/۲۴ درصد از تغییرات را پوشش می‌دهند. طبق جدول (۲) در PC₁، شن دارای بالاترین وزن بود و پس از آن بر اساس ۱۰٪ اختلاف وزن، متغیر سنگریزه

جدول ۱. نتایج تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی در نمونه‌های سطحی ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر (PCA)

مؤلفه‌های اصلی PC	PC ₁	PC ₂	PC ₃	PC ₄	PC ₅	PC ₆
ارزش ویژه	۳/۰۴	۲/۳۲	۲/۱۳	۲/۳	۱/۸۸	۱/۶۴
درصد	۱۹/۰۵	۱۴/۴۹	۱۳/۳۳	۱۳/۳۳۰	۱۱/۷۳	۱۰/۲۹
درصد تجمعی	۱۹/۰۵	۳۳/۵۴	۴۶/۸۷	۶۰/۲۱	۷۱/۹۴	۸۲/۲۳
بردارهای ویژه						
رس	۰/۱۵	۰/۵۴	-۰/۳۶	-۰/۴۷	۰/۴۶	-۰/۲۳
شن	-۰/۰۴	-۰/۸۹	۰/۳۳	۰/۰۳۷	۰/۱۲۹	-۰/۲۰
سیلت	-۰/۰۴	۰/۷۱	۰/۱۶۶	۰/۲۵	-۰/۴۴	۰/۳۸
ظرفیت تبادل کاتیونی	۰/۸۱	۰/۲۴	-۰/۱۱	-۰/۲۶	۰/۴۲	۰/۱۰
قابلیت هدایت الکتریکی	-۰/۶۶	-۰/۱۹	-۰/۰۵۴	۰/۱۷	۰/۴۸	۰/۱۹
پهاش خاک	۰/۱۵	-۰/۳۸	-۰/۷۲	-۰/۲۹	-۰/۰۸	-۰/۱۳
نیتروژن کل	۰/۸۹	-۰/۱۴	۰/۱۲	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۲۸
کربنات کلسیم	-۰/۱۸	۰/۵۵	۰/۵۴	-۰/۰۶	۰/۲۴	۰/۲۶
آهن	۰/۲۸	۰/۴۵	۰/۱۸	-۰/۰۶	-۰/۲۵	-۰/۳۴
جرم مخصوص ظاهری	-۰/۱۸	۰/۰۲۸	۰/۱۹	-۰/۷۹	۰/۰۱	۰/۲۷
درصد اشباع	۰/۴۸	-۰/۳۳	-۰/۳۸	۰/۵۲	۰/۱۲	۰/۰۶
روی	۰/۳۹	۰/۴۹	۰/۳۹	۰/۲۶	-۰/۰۴	-۰/۲۹
سنگریزه	۰/۲۲	-۰/۲۴	۰/۷۳	-۰/۰۹	-۰/۰۵	-۰/۳۵
فسفر	-۰/۱۲	۰/۴۹	-۰/۲۹	۰/۳۴	۰/۴۱	-۰/۳۹
کربن آلی	۰/۸۹	۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۰۶	۰/۱۵	۰/۳۱
گچ	-۰/۶۴	۰/۰۷	۰/۱۹	۰/۲۷	۰/۴۰	۰/۱۷

جدول ۲. نتایج تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی در نمونه‌های متوسط وزنی عمق ۳۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر (PCA)

PC3	PC2	PC1	مؤلفه‌های اصلی PC
۱/۵۲	۲/۵۵	۵/۱۷	ارزش ویژه
۷۷/۲۵	۶۴/۵۳	۴۳/۱۳	درصد
۷۷/۲۵	۵۵/۸۹	۳۳/۴۲	درصد تجمعی
			بردارهای ویژه
۰/۲۰	۰/۱۴	-۰/۹۳	شن
۰/۱۵	۰/۲۹	-۰/۸۷	سنگریزه
-۰/۰۳	۰/۴۳	۰/۸۵	ظرفیت تبادل کاتیونی
-۰/۲۷	۰/۴۶	۰/۷۵	رس
-۰/۰۴	-۰/۲۵	۰/۷۵	سیلت
-۰/۴۱	-۰/۴۳	۰/۷۰	درصد اشباع
۰/۱۴	-۰/۸۶	-۰/۱۰	گچ
-۰/۴۱	-۰/۶۹	-۰/۰۶	پهش خاک
۰/۰۹	۰/۵۹	-۰/۵۲	کربنات کلسیم
-۰/۰۷	-۰/۴۱	۰/۲۳	قابلیت هدایت الکتریکی
۰/۷۲	۰/۱۶	۰/۶۵	نیترژن کل
۰/۷۰	۰/۲۰	۰/۶۶	کربن آلی

جدول ۳. واریانس مشترک و ضریب وزنی برای هر کدام از متغیرها در دو مجموعه TDS و MDS

MDS		TDS		متغیر
ضریب وزنی	واریانس مشترک	ضریب وزنی	واریانس مشترک	
۰/۱۲۹۴	۰/۸۲۳۵	۰/۰۷۲۹	۰/۹۶۰۱	شن
		۰/۰۷۱۳	۰/۹۳۸۵	سیلت
۰/۱۲۰۷	۰/۷۶۸۳	۰/۰۷۱۷	۰/۹۴۳۷	رس
		۰/۰۵۹۳	۰/۷۸۱۳	درصد اشباع
۰/۱۳۱۸	۰/۸۳۹۱	۰/۰۶۱۲	۰/۸۰۵۴	پهش خاک
۰/۱۱۸۰	۰/۷۵۱۲	۰/۰۵۹۱	۰/۷۷۷۸	قابلیت هدایت الکتریکی
۰/۰۹۹۴	۰/۶۳۲۷	۰/۰۷۴۰	۰/۹۷۴۷	کربن آلی
۰/۱۳۱۶	۰/۸۳۷۳	۰/۰۵۸۳	۰/۷۶۷۱	کربنات کلسیم
		۰/۰۵۹۳	۰/۷۸۱۴	فسفر
		۰/۰۳۸۳	۰/۵۰۴۳	آهن
	۰/۹۵۹۰	۰/۰۵۳۷	۰/۷۰۶۸	روی
۰/۱۵۰۷		۰/۰۵۸۴	۰/۷۶۸۷	جرم مخصوص ظاهری
		۰/۰۷۳۴	۰/۹۶۵۹	نیترژن کل
	۰/۷۵۰۴۹	۰/۰۷۴۴۶	۰/۹۸۲۱	ظرفیت تبادل کاتیونی
۰/۹۵۴۱		۰/۰۵۵۰	۰/۷۲۳۹	گچ
		۰/۰۵۸۸	۰/۵۴۲۷	سنگریزه

تعیین امتیاز ویژگی‌های خاک

برای تعیین امتیاز ویژگی‌های خاک از توابع امتیازدهی خطی استفاده شد. در ادامه حد بالا و پایین تمامی متغیرها مشخص و در نهایت متغیرهای مورد مطالعه در سه دسته بیشتر، بهتر، کمتر، بهتر و بهینه دسته‌بندی شدند (جدول ۴). از توابع خطی برای امتیازدهی داده‌ها توسط پژوهشگران در نواحی مختلف استفاده شده است (Liu et al., 2014; Swanepoel et al., 2014).

محاسبه شاخص کیفیت خاک

شاخص کیفیت تجمعی و نمورو با استفاده از روابط ۱ و ۲ برای داده‌های سطحی و متوسط عمقی خاک در دو مجموعه کل داده‌ها و مجموعه حداقل داده‌ها محاسبه و نتایج در جدول (۵) ارائه شده است.

درجه‌بندی کیفیت خاک

به منظور طبقه‌بندی کیفیت خاک منطقه مورد مطالعه، از روش Qi et al. (2009) استفاده شد. با توجه به جدول (۶)، IQITDS، NQITDS در نمونه‌های سطحی دارای درجه کیفیت III و در نمونه‌های متوسط وزنی عمق ۳۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر دارای درجه کیفیت IV هستند. همچنین IQIMDS، NQIMDS در نمونه‌های سطحی و عمقی هر دو دارای درجه کیفیت IV هستند. یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک

پائین بودن مقدار ماده آلی آن‌ها است. پایین بودن ماده آلی خاک سبب کاهش حاصلخیزی و کیفیت آن‌ها را به دنبال دارد. کربن آلی خاک به خاطر اثرات تعیین کننده بر خصوصیات فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیایی خاک مانند چرخه عناصر غذایی، رشد ریشه گیاه، شدت جریان گازها، پایداری خاکدانه‌ها، فعالیت میکروارگانیسم‌ها و غیره نقش تعیین کننده‌ای بر پایداری کیفیت خاک، تولید محصول و کیفیت محیط زیست دارد (Bi et al., 2013). کربنات معدنی غالب در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک، کربنات کلسیم است. حذف افق‌های سطحی با آهک کمتر در اثر فرسایش آشکار شده و باعث رخنمون افق‌های زیرین با آهک بیشتر شده است. در منطقه مورد مطالعه، اکثر خاک‌ها دارای تجمع کربنات کلسیم بودند. آهک بالا و آبشویی کم در مناطق خشک و نیمه‌خشک باعث افزایش pH در منطقه مورد مطالعه شده است. pH بالا (۷/۲۷-۸/۱۹) عامل اصلی محدودیت در جذب عناصر غذایی کم‌مصرف و فسفر می‌باشد که این عامل خود برای کیفیت خاک اثرات منفی به بار می‌آورد (Wang et al., 2014). در بین خصوصیات فیزیکوشیمیایی، کربن آلی کم، کربنات کلسیم زیاد، pH بالا و سنگریزه زیاد در نمونه‌های زیر سطحی، بیشترین محدودیت را برای کیفیت خاک در منطقه مورد مطالعه داشتند.

جدول ۴. توابع امتیازدهی و پارامترهای آن برای متغیرهای کیفیت خاک

متغیر	نوع تابع	حد پائین	حد بالا	تابع امتیازدهی استاندارد
پهاش خاک	کمتر، بهتر	۷/۰۵	۸/۵	$N(x) = \begin{cases} 1 & X < L \\ 1 - 0.9 \frac{X-L}{U-L} & L \leq X \leq U \\ 0.1 & X > U \end{cases}$
قابلیت هدایت الکتریکی	کمتر، بهتر	۰/۲	۲	
کربنات کلسیم	کمتر، بهتر	۳	۵۵	
جرم مخصوص ظاهری	کمتر، بهتر	۱/۲۵	۱/۷	$f(x) = \begin{cases} 0.1 & X < L \\ 0.9 \frac{X-L}{U-L} + 0.1 & L < X < U \\ 1 & U < X < L \\ 1 - 0.9 \frac{X-L}{U-L} & L < X < U \\ 0.1 & X > U \end{cases}$
گچ	کمتر، بهتر	۳	۲۵	
سنگریزه	کمتر، بهتر	۳	۵۵	
شن	بهینه	۴۰	۶۰	$M(x) = \begin{cases} 0.1 & X < L \\ 0.9 \frac{X-L}{U-L} + 0.1 & L \leq X \leq U \\ 1 & X > U \end{cases}$
سیلت	بهینه	۱۰	۲۰	
رس	بهینه	۱۰	۲۰	
کربن آلی	بیشتر، بهتر	۰/۱	۳/۲	$M(x) = \begin{cases} 0.1 & X < L \\ 0.9 \frac{X-L}{U-L} + 0.1 & L \leq X \leq U \\ 1 & X > U \end{cases}$
فسفر	بیشتر، بهتر	۵	۱۵	
آهن	بیشتر، بهتر	۲	۳۲	$M(x) = \begin{cases} 0.1 & X < L \\ 0.9 \frac{X-L}{U-L} + 0.1 & L \leq X \leq U \\ 1 & X > U \end{cases}$
روی	بیشتر، بهتر	۱/۵	۳	
نیتروژن کل	بیشتر، بهتر	۰/۰۳	۰/۱۲	$M(x) = \begin{cases} 0.1 & X < L \\ 0.9 \frac{X-L}{U-L} + 0.1 & L \leq X \leq U \\ 1 & X > U \end{cases}$
ظرفیت تبادل کاتیونی	بیشتر، بهتر	۲/۳۴	۱۷/۹۷	
درصد اشباع	بیشتر، بهتر	۱۰	۲۵	

X مقدار مشاهده‌ای مشخصه، L حد آستانه پائین، U حد آستانه بالا، N(x) و F(x) به ترتیب توابع امتیازدهی استاندارد برای حد بالا، پائین و بهینه که بین ۰/۱ تا ۱ تغییر می‌کنند.

جدول ۵. مقادیر میانگین شاخص‌های کیفیت خاک در کل نمونه‌ها

شاخص‌های کیفیت خاک	IQITDS	IQIMDS	NQITDS	NQIMDS
نمونه‌های سطحی	۰/۵۷۶	۰/۴۸۲	۰/۳۸۳	۰/۳۳۹
نمونه‌های متوسط عمقی	۰/۴۱۹	۰/۳۰۷	۰/۳۰۴	۰/۲۵۱

جدول ۶. درجه بندی کیفیت خاک در مدل‌های IQI و NQI در دو مجموعه MDS و TDS (Qi et al., 2009)

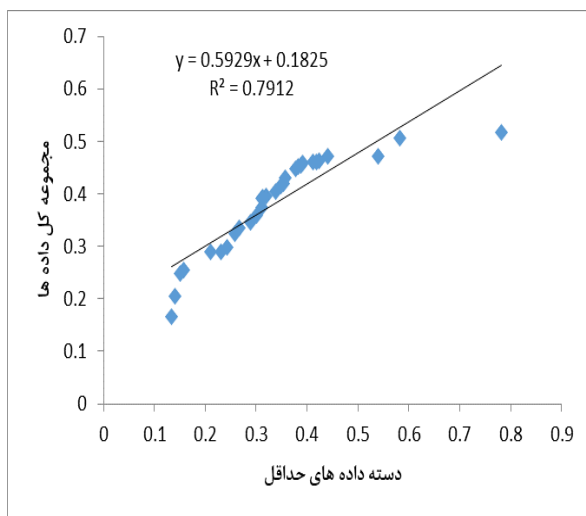
نوع مدل	روش	درجه کیفیت خاک			
		I	II	III	IV
IQI	TDS	$0.176 \leq IQITDS$	$0.166 \leq IQITDS < 0.176$	$0.156 \leq IQITDS < 0.166$	$IQITDS < 0.156$
	MDS	$0.178 \leq IQIMDS$	$0.168 \leq IQIMDS < 0.178$	$0.158 \leq IQIMDS < 0.168$	$IQIMDS < 0.158$
NQI	TDS	$0.155 \leq NQITDS$	$0.145 \leq NQITDS < 0.155$	$0.135 \leq NQITDS < 0.145$	$NQITDS < 0.135$
	MDS	$0.180 \leq NQIMDS$	$0.170 \leq NQIMDS < 0.180$	$0.160 \leq NQIMDS < 0.170$	$NQIMDS < 0.160$

کیفیت نمره در دسته داده‌های کل و حداقل ضریب تبیین ۰/۷۴ را به دست آورد. همچنین (Ghaemi et al., 2013) به ترتیب ضریب تبیین ۰/۸۸ و ۰/۸۱ و (Gorji et al., 2016) ضریب تبیین ۰/۹۵ و ۰/۸۸ را به دست آوردند.

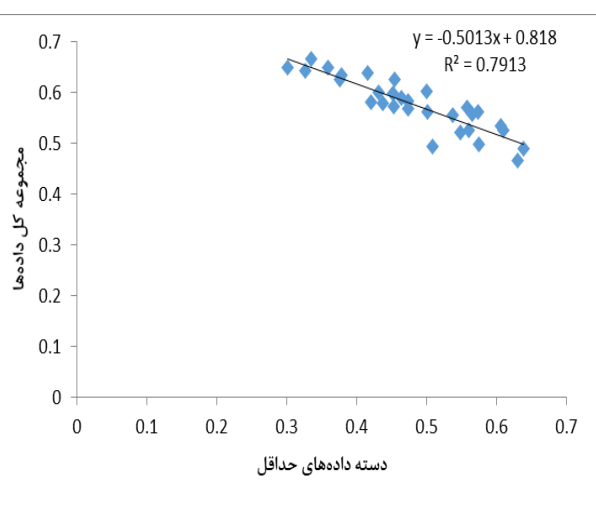
بنابراین نتایج مطالعات مختلف نشان می‌دهد که رابطه خوبی بین دو مجموعه TDS و MDS وجود دارد و می‌توان به جای مجموعه کل داده‌ها از مجموعه داده‌های حداقل استفاده کرد. با این حال مدل TDS به دلیل استفاده از همه داده‌ها از دقت بالاتری برخوردار است ولی چون در مدل MDS از تعداد محدودتری از ویژگی‌های خاک استفاده می‌شود، از نظر اقتصادی به صرفه تر است.

نتایج بررسی همبستگی و رگرسیون کل داده‌ها با مجموعه حداقل

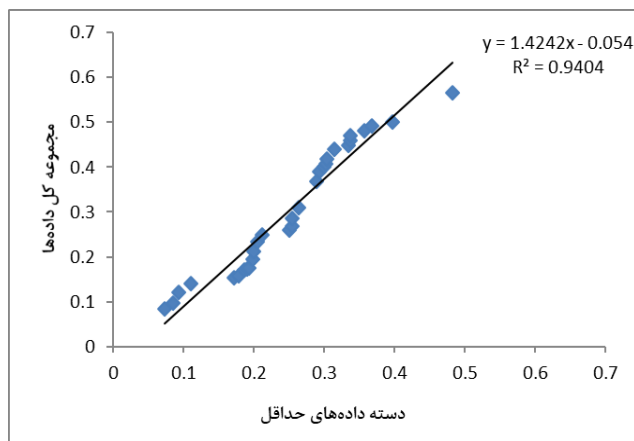
رابطه خطی شاخص‌های کیفیت خاک بین دو مجموعه TDS و MDS برای کل نمونه‌های مورد بررسی منطقه مورد مطالعه در نمونه‌های سطحی (شکل‌های ۲ و ۳) و برای نمونه‌های متوسط عمقی (شکل‌های ۴ و ۵) نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود ضریب تبیین (R^2) در نمونه‌های سطحی بین مدل‌های $IQITDS - IQIMDS$ (۰/۷۹) و $NQITDS - NQIMDS$ (۰/۷۹۱۲) برابر است. همچنین در نمونه‌های زیرسطحی این ضریب (R^2) به ترتیب ۰/۹۵ و ۰/۹۴ بود و این نشان می‌دهد که با اطمینان می‌توان از دسته داده‌های حداقل به جای مجموعه کل داده‌ها استفاده کرد. (Nabiollahi et al., 2017) برای شاخص



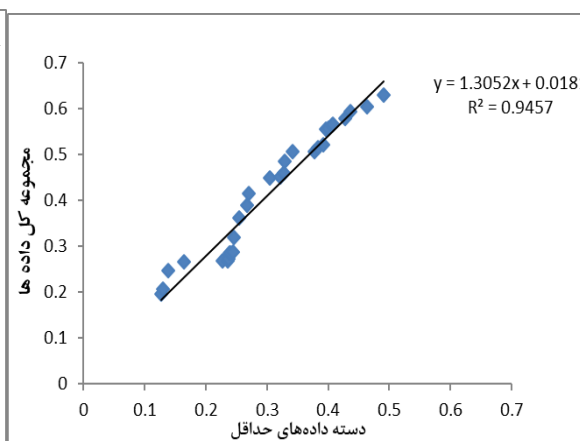
شکل ۳. رابطه خطی $NQITDS - NQIMDS$ در نمونه‌های سطحی



شکل ۲. رابطه خطی $IQITDS - IQIMDS$ در نمونه‌های سطحی



شکل ۴. رابطه خطی $NQI_{TDS}-NQI_{MDS}$ در نمونه‌های متوسط عمقی



شکل ۳. رابطه خطی $IQI_{TDS}-IQI_{MDS}$ در نمونه‌های متوسط عمقی

توصیف آماری

بر اساس نتایج جدول (۷) شاخص‌های کیفیت مورد بررسی در تمام دو عمق دارای چولگی و افراستگی بین اعداد ۳- تا ۳ است و بر این اساس متغیرهای مورد بررسی دارای توزیع نرمال و از داده‌های اصلی برای مدل‌سازی زمین آماری و تهیه نقشه برخوردار می‌باشند.

پهنه‌بندی شاخص‌های کیفیت استفاده گردید. شاخص‌های کیفیت مورد بررسی در دو عمق به استثنای شاخص NQI داده‌های کل و حداقل داده برای عمق ۳۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر و شاخص NQI حداقل داده‌های در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر، دامنه ۱۵ تا ۳۵ درصد قرار گرفته و از ضریب تغییرپذیری متوسط برخوردار می‌باشند.

جدول ۷. نتایج پارامترهای آماری و بررسی توزیع نرمال داده‌ها

NQI_{MDS} (30-100cm)	NQI_{TDS} (30-100cm)	IQI_{MDS} (30-100cm)	IQI_{TDS} (30-100cm)	NQI_{MDS} (0-30cm)	NQI_{TDS} (0-30cm)	IQI_{MDS} (0-30cm)	IQI_{TDS} (0-30cm)	شاخص ویژگی
۲۵/۱۵	۳۰/۴۱	۳۰/۷۹	۴۱/۹۹	۳۳/۹۱	۳۸/۳۵	۴۸/۲۴	۵۷/۶۲	میانگین
۹/۶۹	۱۴/۲۳	۱۰/۱۴	۱۳/۶۲	۱۳/۶۲	۹/۰۸	۹/۳۶	۵/۲۷	انحراف معیار
-۰/۱۰	-۱/۳۴	-۰/۸۷	-۱/۴۷	۲/۸۰	-۰/۲۳	-۰/۸۴	-۰/۶۶	افراستگی
۰/۰۸	۰/۱۲	-۰/۱۲	-۰/۱۴	۱/۱۳	-۰/۷۲	-۰/۱۵	-۰/۲۲	چولگی
۷/۳۸	۸/۴۵	۱۲/۷۱	۱۹/۶۶	۱۳/۴۱	۱۶/۶۴	۳۰/۲۰	۴۶/۶۲	حداقل
۴۸/۲۸	۵۶/۶۴	۴۹/۱۴	۶۳/۰۰	۷۸/۱۱	۵۱/۸۰	۶۳/۸۸	۶۶/۵۸	حداکثر
۳۸/۵۳	۴۶/۸۰	۳۲/۹۵	۳۲/۴۲	۴۰/۱۵	۲۳/۶۶	۱۹/۴۰	۹/۱۵	درصد ضریب تغییرات

متر می‌باشد.

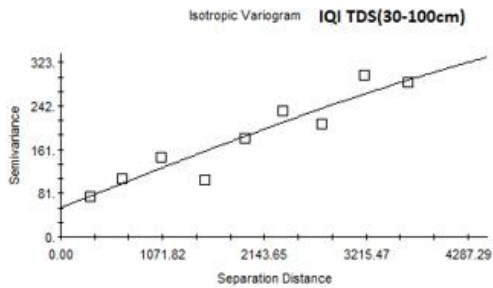
شاخص کیفیت خاک NQI_{TDS} با میزان ۷ درصد دارای قوی‌ترین ساختار مکانی با دامنه تأثیر ۹۱۱۰ متر بوده و شاخص NSQ_{MDS} برای حداقل داده‌ها با میزان ۲۰/۳ درصد و دامنه تأثیر ۹۰۱۵ متر نیز از ساختار خودهمبستگی مکانی قوی برخوردار است. بر اساس نتایج ارائه شده در شکل (۶) داده‌های عمق ۳۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر دارای نسبت اثر قطعه‌ای به جمع اثر قطعه‌ای و آستانه واریوگرام کمتر از ۲۵ درصد در دو دسته داده‌های کل و حداقل داده‌ها می‌باشد، به طوری که شاخص IQI_{TDS} با میزان ۱۲/۸ با دامنه تأثیر ۷۸۶۳ متر دارای ساختار مکانی قوی و IQI_{MDS} با نسبت ۱۴/۵ دارای ساختار مکانی قوی و دامنه تأثیر ۹۱۱۰ متر و شاخص NQI_{TDS} با نسبت ۱۶/۶ و دامنه تأثیر ۸۵۹۶ و NQI_{MDS}

نتایج بهینه‌سازی مدل‌های برازش داده شده بر شاخص‌های کیفیت خاک مورد بررسی در شکل‌های (۵) و (۶) برای دو عمق و دو روش به کار رفته در این تحقیق ارائه گردیده است. بر اساس تحلیل واریوگرافی در نرم‌افزار $GS+$ نسخه ۹ و پارامترهای r_2 و RSS برای شاخص‌های کیفیت خاک در دو عمق مورد بررسی، مدل کروی دارای بالاترین میزان دقت می‌باشد. بر مبنای نسبت اثر قطعه‌ای به جمع اثر قطعه‌ای و آستانه واریوگرام، شاخص IQI_{TDS} در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر با میزان ۱۶/۴ و کمتر بودن از حد استاندارد ۲۵ درصد دارای ساختار خودهمبستگی مکانی قوی با دامنه تأثیر ۸۴۳۷ متری و شاخص IQI برای دسته داده‌های حداقل با میزان ۴۹/۶ درصد در دامنه ۲۵ تا ۵۰ درصد دارای ساختار خودهمبستگی مکانی متوسط با دامنه تأثیر ۳۳۶۷

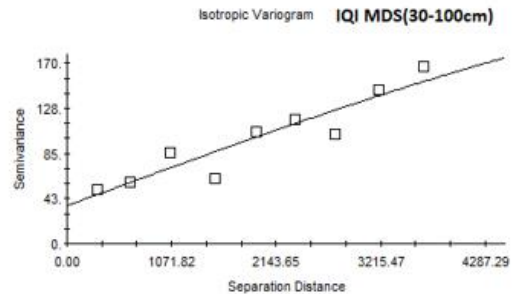
نوری و همکاران: ارزیابی کمی و پهنه بندی پراکنش مکانی ... ۱۷۱۳

و برای دو شاخص کیفیت خاک نسبت به توابع کریجینگ معمولی و روش معکوس وزن دهی دارد.

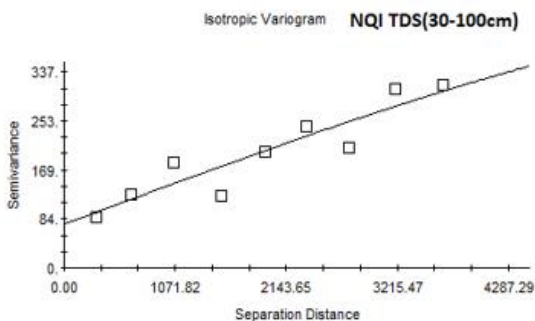
با نسبت ۱۵/۷ و دامنه تأثیر ۹۱۱۰ متر نیز دارای ساختار مکانی قوی می‌باشند. نتایج جدول (۸) و آماره RMSE در ارزیابی متقاطع نشان از برتری مدل توابع پایه شعاعی در تمامی اعماق



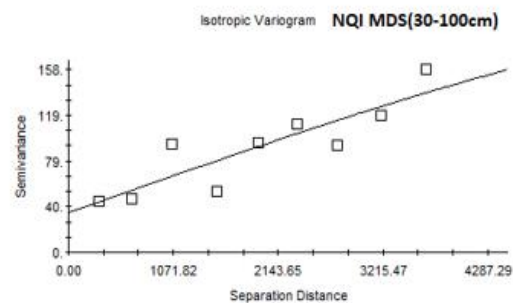
Spherical model ($C_0 = 54.0000$; $C_0 + C = 418.9000$; $A_0 = 7863.00$; $r_2 = 0.890$; $RSS = 5685.$)



Spherical model ($C_0 = 35.8000$; $C_0 + C = 241.7000$; $A_0 = 9110.00$; $r_2 = 0.870$; $RSS = 1644.$)

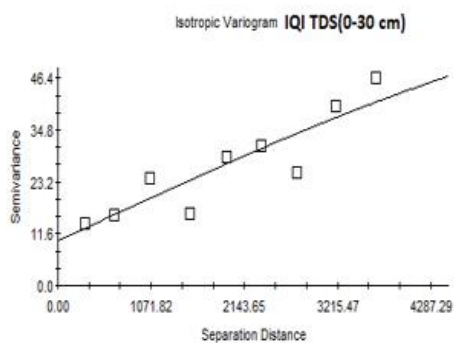


Spherical model ($C_0 = 75.0000$; $C_0 + C = 460.9000$; $A_0 = 8696.00$; $r_2 = 0.853$; $RSS = 7442.$)

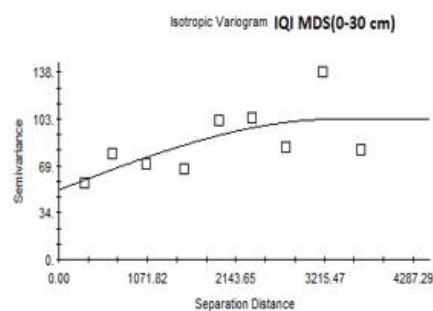


Spherical model ($C_0 = 34.2000$; $C_0 + C = 217.1000$; $A_0 = 9110.00$; $r_2 = 0.774$; $RSS = 2551.$)

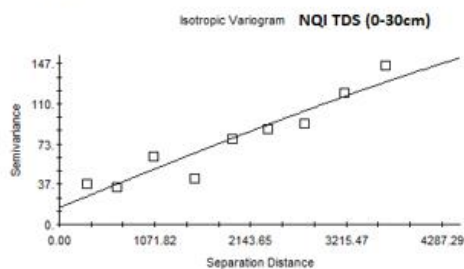
شکل ۵. برازش بهینه‌ترین مدل ریاضیاتی بر واریوگرام تجربی داده‌های دو شاخص کیفیت خاک در عمق ۳۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر



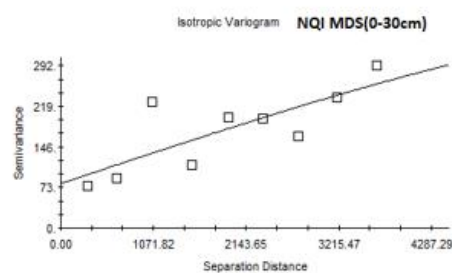
Spherical model ($C_0 = 10.0000$; $C_0 + C = 61.0000$; $A_0 = 8437.00$; $r_2 = 0.811$; $RSS = 189.$)



Spherical model ($C_0 = 51.2000$; $C_0 + C = 103.2000$; $A_0 = 3367.00$; $r_2 = 0.445$; $RSS = 2700.$)



Spherical model ($C_0 = 15.3000$; $C_0 + C = 216.1000$; $A_0 = 9110.00$; $r_2 = 0.898$; $RSS = 1187.$)



Spherical model ($C_0 = 79.9000$; $C_0 + C = 391.7000$; $A_0 = 9015.00$; $r_2 = 0.621$; $RSS = 15908.$)

شکل ۶. برازش بهینه‌ترین مدل ریاضیاتی بر واریوگرام تجربی داده‌های دو شاخص کیفیت خاک در عمق ۳۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر

جدول ۸. نتایج ارزیابی آماری مدل‌های مورد استفاده در پهنه‌بندی شاخص‌های کیفیت خاک

شاخص کیفیت خاک		وزن دهی معکوس فاصله		توابع پایه شعاعی		کریجینگ معمولی	
توان بهینه شده	Cross validation RMSE	پارامتر کرنل	Cross validation RMSE	مدل پهنه‌سازی شده	Cross validation RMSE	مدل	Cross validation RMSE
۸	۰/۰۴۴	۰/۰۰۷	۰/۰۳۶	کروی	۰/۰۴۴		
۳	۰/۰۹۲	۰/۰۱۳	۰/۰۸۶	کروی	۰/۰۸۷		
۷	۰/۰۷۶	۰/۰۰۷	۰/۰۵۹	کروی	۰/۰۷۲		
۱۱	۰/۱۲۷	۰/۰۰۶	۰/۰۹	کروی	۰/۱۲۶		
۸	۰/۱۱	۰/۰۰۷	۰/۰۸۵	کروی	۰/۰۹۷		
۸	۰/۰۸۹	۰/۰۰۷	۰/۰۷۴	کروی	۰/۰۸۶		
۹	۰/۱۲	۰/۰۰۷	۰/۰۹۱	کروی	۰/۱۰۷		
۱۰	۰/۰۸۹	۰/۰۰۷	۰/۰۷۲	کروی	۰/۰۸۵		

درصد و مساحت کلاس‌های کیفیت خاک

بیشترین درصد مربوط به کلاس کیفیت IV (کیفیت ضعیف) بود (جدول ۹ و شکل‌های ۷، ۸، ۹ و ۱۰). در نمونه‌های متوسط عمقی خاکرخ‌ها، بیشترین درصد مربوط به کلاس کیفیت IV در هر دو مدل IQI و NQI در مجموعه‌های TDS و MDS بود (جدول ۱۰ و شکل‌های ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۴).

برای تعیین مساحت و درصد مساحت هر یک از کلاس‌های درجه کیفیت خاک از نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد (جدول ۹ و ۱۰). همان‌طور که مشاهده می‌شود در نمونه‌های سطحی در مدل IQITDS و NQITDS بیشترین درصد مربوط به کلاس کیفیت III (کیفیت متوسط) بود. همچنین در مدل IQIMDS و NQIMDS

جدول ۹. مساحت و درصد درجه کیفیت خاک در روش‌های TDS و MDS در مدل‌های مختلف در نمونه‌های سطحی (۰ تا ۳۰ سانتی‌متر)

روش شاخص	درجه	IQI		NQI	
		مساحت	درصد	مساحت	درصد
TDS	I	۰	۰	۰	۰
	II	۳۱/۳۳	۸	۱۱۷/۸۲	۲۹/۹۹
	III	۲۵۷/۹۷	۶۵/۸۷	۱۶۵/۶۳	۴۲/۱۶
	IV	۱۰۲/۳۰	۲۶/۱۲	۱۰۹/۳۲	۲۷/۸۳
MDS	I	۰	۰	۰	۰
	II	۰	۰	۳۵/۵۱	۹/۰۴
	III	۲۱/۶۵	۵/۵۱	۹/۴	۲/۳۹
	IV	۳۷۱/۲۰	۹۴/۴۸	۳۴۷/۸۱	۸۸/۵۶

جدول ۱۰. مساحت و درصد درجه کیفیت خاک در روش‌های TDS و MDS در مدل‌های مختلف در عمق ۳۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر

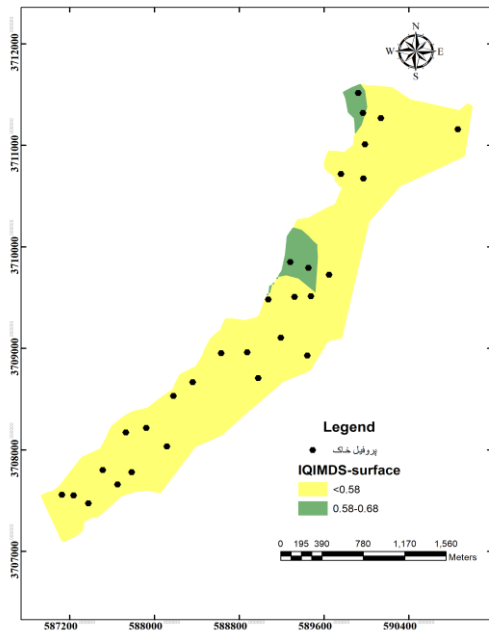
روش شاخص	درجه	IQI		NQI	
		مساحت	درصد	مساحت	درصد
TDS	I	۰	۰	۳۱/۵۶	۸/۰۳
	II	۰	۰	۴۸/۳۰	۱۲/۳۰
	III	۷۹/۳۴	۲۰/۲۶	۸۹/۰۷	۲۲/۶۸
	IV	۳۱۲/۲۵	۷۹/۷۳	۲۲۳/۶۴	۵۶/۹۶
MDS	I	۰	۰	۰	۰
	II	۰	۰	۰	۰
	III	۰	۰	۰	۰
	IV	۳۹۲/۹۴	۱۰۰	۳۹۲/۹۲	۱۰۰

مربوط به کلاس درجه IV (ضعیف) به ترتیب با ۹۴/۴۸٪ و ۸۸/۵۶٪ بود. همچنین در نمونه‌های متوسط عمقی شاخص‌های IQ_{TDS} و NQ_{TDS} ، کلاس کیفیت ضعیف (IV) به ترتیب با ۷۹/۷۳٪ و ۵۶/۹۶٪ غالب بودند و در روش MDS کلاس کیفیت ضعیف با ۱۰۰٪ پوشش شامل کل منطقه‌ی مورد مطالعه می‌شود.

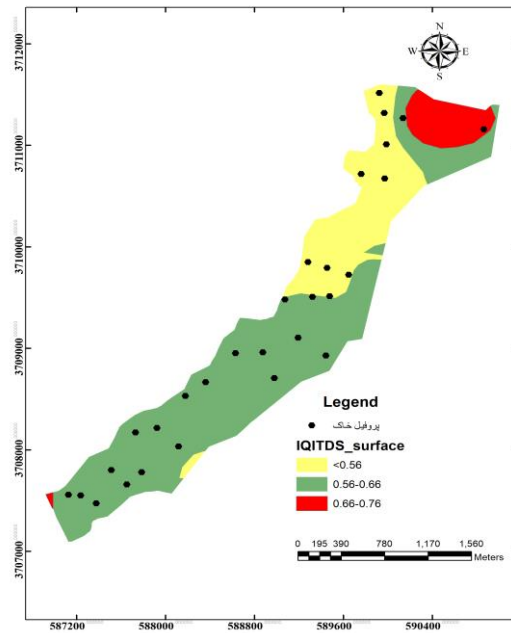
مقایسه توزیع کلاس‌های کیفیت خاک در شاخص‌های تجمعی و

نمورو در دو مجموعه TDS و MDS

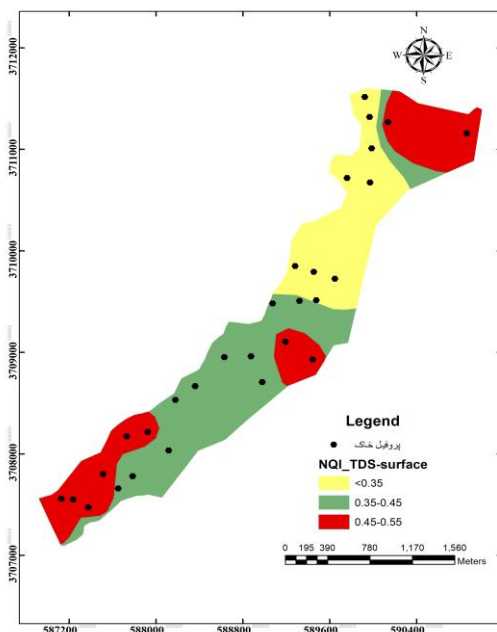
بر اساس مدل IQ_{TDS} و NQ_{TDS} در نمونه‌های سطحی بیشترین کلاس کیفیت خاک متعلق به کلاس درجه III (متوسط) به ترتیب با ۶۵/۸۷٪ و ۴۲/۱۶٪ و در روش MDS بیشترین کلاس کیفیت



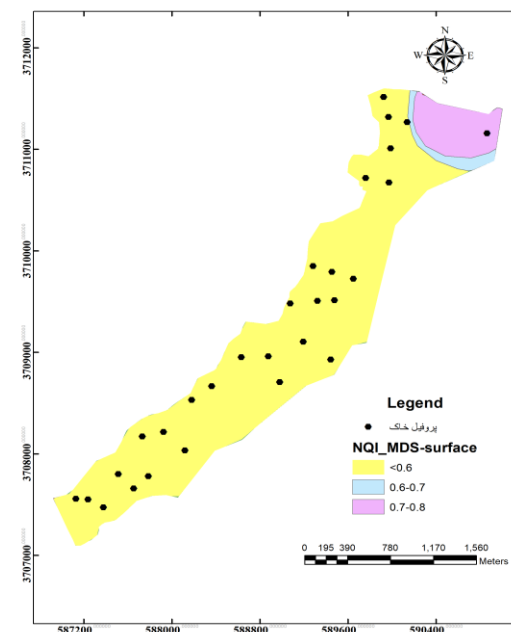
شکل ۸. IQ_{TDS} نمونه‌های سطحی



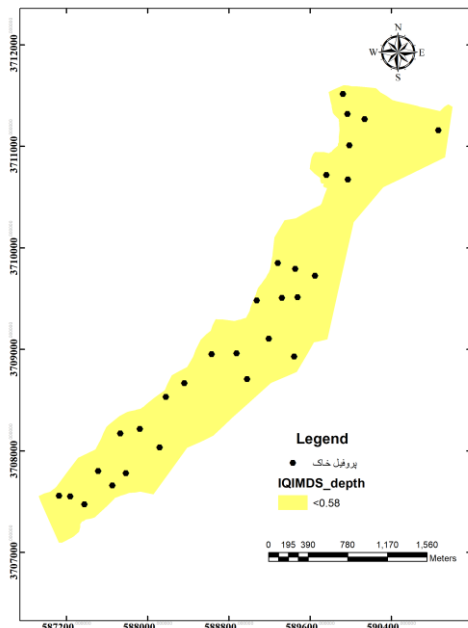
شکل ۷. IQ_{MDS} نمونه‌های سطحی



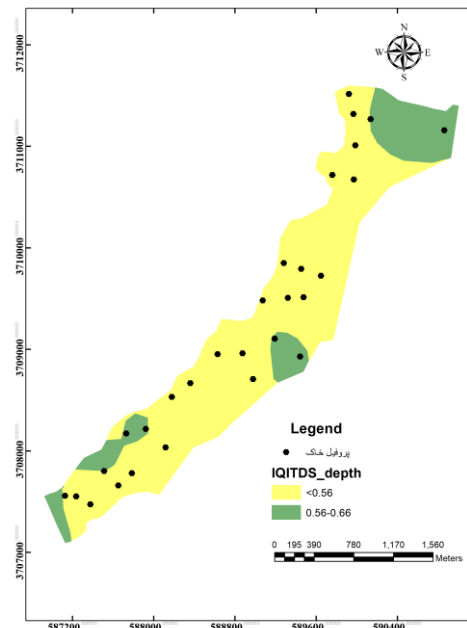
شکل ۱۰. NQ_{MDS} نمونه‌های سطحی



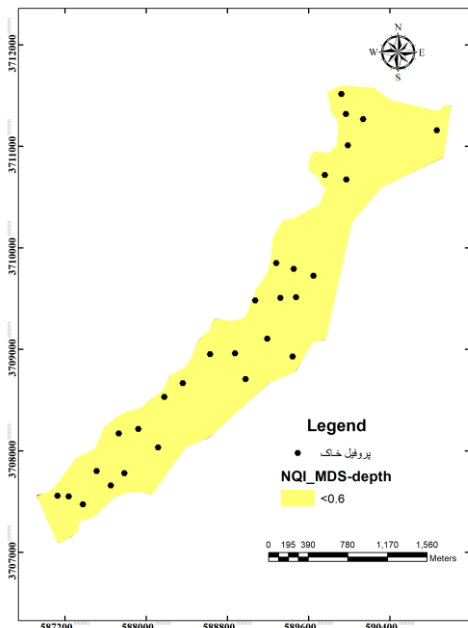
شکل ۹. NQ_{TDS} نمونه‌های سطحی



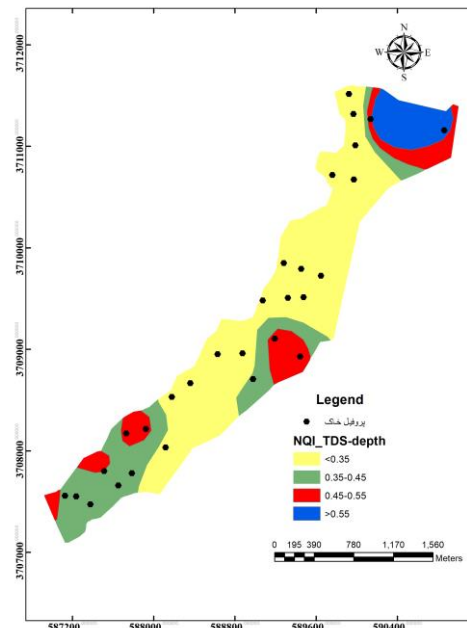
شکل ۱۲. IQI_{TDS} در نمونه‌های متوسط عمقی



شکل ۱۱. IQI_{MDS} در نمونه‌های متوسط عمقی



شکل ۱۴. NQI_{TDS} در نمونه‌های متوسط عمقی



شکل ۱۳. NQI_{MDS} در نمونه‌های متوسط عمقی

می‌شوند. محاسبه شاخص‌های کیفیت خاک IQI و NQI در مجموعه‌های TDS و MDS نشان داد که خاک‌های منطقه مورد مطالعه در نمونه‌های سطحی دارای کیفیت متوسط و در نمونه‌های متوسط عمقی دارای کیفیت کم با محدودیت زیاد هستند. بنابراین تصمیم‌گیری در راستای اجرای برنامه‌های مدیریتی مناسب برای افزایش کیفیت خاک در منطقه لازم

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که مدل‌های کیفیت خاک برای ارزیابی کمی کیفیت خاک در منطقه مورد مطالعه از کارایی بالایی برخوردار هستند. از جمله مزیت مدل‌های IQI و NQI این است که چون اطلاعات را بر مبنای روش‌های ریاضی با هم ترکیب می‌نمایند در نتیجه منجر به افزایش اطمینان در نتایج نهایی

در نظر گرفته می‌شود. ضریب تبیین بین دو مجموعه TDS و MDS برای نمونه‌های سطحی و متوسط عمقی به ترتیب ۰/۷۹ و ۰/۹۵ درصد و در مدل NQI به ترتیب، ۰/۷۹ و ۰/۹۴ درصد بود. این ضرایب نشان می‌دهند که با اطمینان ۰/۷۹ درصد در مدل IQI و ۰/۹۴ درصد در مدل NQI می‌توان از مجموعه‌ی MDS به جای مجموعه TDS استفاده نمود که این کار علاوه بر صرفه‌جویی در زمان موجب کاهش هزینه در انجام مطالعات می‌شود. در واقع کاربرد روش MDS، اثر تکرارپذیری حاصل از ویژگی‌های با همبستگی مشابه را کاهش می‌دهد و می‌تواند اطلاعات موجود در سایر پارامترها را به عنوان مجموعه منتخب نشان دهد.

REFERENCES

- Amirinejad, A. A., Kamble, K., Aggarwal, P., Chakraborty, D., Pradhan, S. and Mittal, R. B. (2011). Assessment and mapping of spatial variation of soil physical health in a farm. *Geoderma*, 160(3-4), 292-303.
- Andrews, S. S., Mitchell, J. P., Mancinelli, R., Karlen, D. L., Hartz, T. K., Horwath, W. R., and Munk, D. S. (2002). On-farm assessment of soil quality in California's central valley. *Agronomy Journal*, 94(1), 12-23.
- Asghari, Sh., Dizajghorbani Aghdam S. and Esmali Ouri A. (2014). Investigation te Spatial Variability of some Soil Physical Quality Indices in Fandoghlu Region of Ardabil Using Geostatistics. *Journal of Water and Soil*, 28(6), 1271-1283. (In Farsi).
- Askari, M.S. and Holden, N.M. (2015). Quantitative soil quality indexing of temperate arable management systems. *Soil and Tillage Research*, 150, 57-67.
- Azarneshan, S., Khormali, F., Sarmadian, F., Kiani, F. and Eftekhari, K. (2018). Soil quality evaluation of semi-arid and arid lands in Qazvin plain, Iran. *Journal of Water and Soil*, 32(2). 359-374. (In Farsi).
- Bi, C. J., Chen, Z. L., Wang, J. and Zhou, D. (2013). Quantitative assessment of soil health under different planting patterns and soil types. *Pedosphere*, 23(2), 194-204.
- Brasher, B. R., Franzmeier, D. P., Valassis, V. and Davidson, S. E. (1966). Use of saran resin to coat natural soil clods for bulk-density and water-retention measurements. *Soil Science*, 101(2), 108-115.
- Congreves, K. A., Hayes, A., Verhallen, E. A. and Van Eerd, L. L. (2015). Long-term impact of tillage and crop rotation on soil health at four temperate agroecosystems. *Soil and Tillage Research*, 152, 17-28.
- Doran, J.W. and Parkin, T.B. (1994). Defining and assessing soil quality. *Defining soil quality for a sustainable environment*, (definingsoilqua), 1-21.
- Dose, H. L., Fortuna, A. M., Cihacek, L. J., Norland, J., DeSutter, T. M., Clay, D. E. and Bell, J. (2015). Biological indicators provide short term soil health assessment during sodic soil reclamation. *Ecological indicators*, 58, 244-253.
- Emami, H., Neyshabouri, M. R. and Shorafa, M. (2012). Relationships between some soil quality indicators in different agricultural soils from Varamin, Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 14(4), 951-959.
- Emami, H., Shorafa, M., Neishabouri, M. A and Liaghat, A. M. (2010). Estimation of soil physical properties index using soil time properties of soil in some salt and calcareous soils. *Iranian Jornah of Soil and Water Research*. 39(1). 39-46. (In Farsi).
- Gee, G. W. and Bauder, J. W. (1986). Particle-size analysis 1 (No. methods of soil 1, pp. 383-411). *Soil Science Society of America, American Society of Agronomy*.
- 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 Farsi).
- Ghahramanpour, R., Gorji, M., Pourbabaee, A. and Farahbakhsh, M. (2019). Investigating the Effects of Conservation and Reduced Tillage Systems on Soil Quality Indices. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 49(6), 1355-1364. (In Farsi).
- Gorji, M., Kakeh, J. and Alimohammadi, A. (2016). Quantitative assessment of soil quality in different uses in part of southern eastern Qazvin Land, Iran. *Soil and Water Research*, 47(4), 775-784. (In Farsi).
- Gorji, M., Kakeh, J. and Alimohammadi, A. (2018). Quantitative soil quality assessment in different land uses at some Parts of south eastern of Qazvin. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 48(5), 941-950. (In Farsi).
- 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(2), 163-

می‌باشد. کمبود کربن آلی، بالا بودن کربنات کلسیم، بالا بودن pH، بالا بودن EC، گچ و سنگریزه (در نمونه‌های زیر سطحی) از جمله عوامل کاهش کیفیت در منطقه مورد مطالعه بودند. با وجود اینکه در این تحقیق نتایج مشابهی از هر دو مدل ارزیابی کیفیت خاک به دست آمد، اما مدل IQITDS عملکرد مناسب‌تری ارائه نمود، به عبارتی شاخص IQI در مجموعه TDS دارای دقت و حساسیت بیشتری برای ارزیابی کیفیت خاک بود که این امر را می‌توان به ویژگی‌های مؤثر بیشتر در محاسبه این شاخص نسبت داد. هم‌چنین در شاخص IQI هم‌وزن ویژگی‌ها و هم امتیاز آن‌ها اثرگذار است در صورتی که در شاخص NQI تنها امتیاز ویژگی‌ها

- 174.
- Guo, L., Sun, Z., Ouyang, Z., Han, D. and Li, F. (2017). A comparison of soil quality evaluation methods for Fluvisol along the lower Yellow River. *Catena*, 152, 135-143.
- Han, W. J. and Wu, Q. T. (1994). A primary approach on the quantitative assessment of soil quality. *Chin. J. Soil Sci*, 25, 245-247.
- 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(1), 17-25.
- Khalili, A. (2005). Climate of Iran. In: Banaei *et al* (eds) The soils of Iran. New achievements in perception, management and use (in Persian). *Soil and Water Research Institute of Iran*, Tehran, Iran, pp. 24-71. (In Farsi).
- 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, pp.112-118.
- Lindsay, W. L. and Norvell, W. A. (1978). Development of a DTPA Soil Test for Zinc, Iron, Manganese, and Copper 1. *Soil science society of America journal*, 42(3), 421-428.
- Liu, Z., Zhou, W., Shen, J., Li, S., He, P. and Liang, G. (2014). Soil quality assessment of Albic soils with different productivities for eastern China. *Soil and Tillage Research*, 140, 74-81.
- Marzaioli, R., d'Ascoli, R., De Pascale, R. A. and Rutigliano, F. A. (2010). Soil quality in a Mediterranean area of Southern Italy as related to different land use types. *Applied Soil Ecology*, 44(3), 205-212.
- McLean, E. O. (1982). Soil pH and lime requirement. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*, (methodsofsoilan2), 199-224.
- Nabiollahi, K., Taghizadeh-Mehrjardi, R., Kerry, R. and Moradian, S. (2017). Assessment of soil quality indices for salt-affected agricultural land in Kurdistan Province, Iran. *Ecological Indicators*, 83, 482-494.
- Nelson, D. W. and Sommers, L. (1982). Total carbon, organic carbon, and organic matter 1. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*, (methodsofsoilan2), 539-579.
- Nelson, R. E. (1982). Carbonate and gypsum. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*, (methodsofsoilan2), 181-197.
- Ngo-Mbogba, M., Yemefack, M. and Nyeck, B. (2015). Assessing soil quality under different land cover types within shifting agriculture in South Cameroon. *Soil and Tillage Research*, 150, 124-131.
- Niemeyer, J. C., Lolata, G. B., de Carvalho, G. M., Da Silva, E. M., Sousa, J. P. and Nogueira, M. A. (2012). Microbial indicators of soil health as tools for ecological risk assessment of a metal contaminated site in Brazil. *Applied Soil Ecology*, 59, 96-105.
- Nosrati, K. (2013). Assessing soil quality indicator under different land use and soil erosion using multivariate statistical techniques. *Environmental monitoring and assessment*, 185(4), 2895-2907.
- Olsen, S. R. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. United States Department Of Agriculture; Washington.
- Qi, Y., Darilek, J. L., Huang, B., Zhao, Y., Sun, W. and Gu, Z. (2009). Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China. *Geoderma*, 149(3-4), 325-334.
- Qin, M. Z. and Zhao, J. (2000). Strategies for sustainable use and characteristics of soil quality changes in urban-rural marginal area. *Acta geographica sinica-chinese edition*, 55(5), 545-554.
- Rahmanipour, F., Marzaioli, R., Bahrami, H.A., Fereidouni, Z. and Bandarabadi, S.R. (2014). Assessment of soil quality indices in agricultural lands of Qazvin Province, Iran. *Ecological Indicators*, 40, 19-26.
- Ramezani, F., Jafari, S., Salavati, A., and Khalilimoghaddam, B. (2016). Study the Soil Quality Changes Indicators Using Nemoro and Integrated Quality Index Models in Some Khuzestan's Soils. *Majallah-i āb va Khāk*, 29(6), 1629-1639. (In Farsi).
- Rasouli-Sadaghiani, M. and Sheikhlou, F. (2016). Effects of Agronomic, Orchard and Forest Land Uses on Soil Quality Index (SQI) in West Azerbaijan Province. *Water and Soil Science*, 26(2-1), 141-153. (In Farsi).
- Reberg-Horton, S. C., Grossman, J. M., Kornecki, T. S., Meijer, A. D., Price, A. J., Place, G. T. and Webster, T. M. (2012). Utilizing cover crop mulches to reduce tillage in organic systems in the southeastern USA. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 27(1), 41-48.
- Rezaei, S. A., Gilkes, R. J. and Andrews, S. S. (2006). A minimum data set for assessing soil quality in rangelands. *Geoderma*, 136(1-2), 229-234.
- Rhoades, J. D. (1982). Cation Exchange Capacity 1. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*, (methodsofsoilan2), 149-157.
- Roostitalab, M.H., Siadat, H. and Farshad, A. (2018). *The Soils of Iran*. Springer International Publishing. 257pp.
- 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(3), pp.312-320.
- Shukla, M. K., Lal, R., and Ebinger, M. (2006). Determining soil quality indicators by factor analysis. *Soil and Tillage Research*, 87(2), 194-204.
- Soil Survey Staff. (2014). *Keys to soil taxonomy*. 12th edn. USDA- NRCS, Washington, DC.
- Swanepoel, P. A., Du Preez, C. C., Botha, P. R.,

- Snyman, H. A. and Habig, J. (2014). Soil quality characteristics of kikuyu-ryegrass pastures in South Africa. *Geoderma*, 232, 589-599.
- Takoutsing, B., Weber, J., Aynekulu, E., Martín, J. A. R., Shepherd, K., Sila, A. and Diby, L. (2016). Assessment of soil health indicators for sustainable production of maize in smallholder farming systems in the highlands of Cameroon. *Geoderma*, 276, 64-73.
- 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. *Agron*, 94: 23-32.
- Wang, C., Zhu, D., Jiang, W., Zhao, X., Wang, H., Yu, C. and Yi, F. (2014). Soil Quality Evaluation and Technology Research on Improving Land Capability--A Case Study on Huanghuaihai: Plain in Shandong Province. *Agricultural Science and Technology*, 15(11).
- Wang, Q., Liu, J., Wang, Y., Guan, J., Liu, Q. and Lv, D. A. (2012). Land use effects on soil quality along a native wetland to cropland chronosequence. *European journal of soil biology*, 53, 114-120.
- Yaghmaeian Mahabadi, N., Khosroabadi, M. and Asadi, H. (2017). Effect of Forest Clearing and Topography on Some Soil Physicochemical Properties Effective on Soil Quality in Saravan Region, Guilan, *Iranian journal of soil research*. 31(2), 277-290. (In Farsi).
- Yu, P., Liu, S., Zhang, L., Li, Q. and Zhou, D. (2018). Selecting the minimum data set and quantitative soil quality indexing of alkaline soils under different land uses in northeastern China. *Science of the Total Environment*, 616, 564-57.