Archive of SID
DOI: 10.22059/ijswr.2019.274080.668097 تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۰، شماره ۷، آذر ۱۳۹۸ (ص ۱۷۱۹-۱۷۰۱)

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 NORI[1], MAHMOOD ROSTAMINIA[2*], ALI KESHAVARZI[3], ASGHAR RAHMANI[4]

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

*Corresponding Author Email: m.rostaminya@ilam.ac.ir
www.SID.ir

Archive of SID

ارزیابی کمّی و پهنه‌بندی پراکنش مکانی شاخص کیفیت خاک در بخشی از اراضی خشک و نیمه‌خشک غرب ایران (مطالعه موردی: منطقه کَنِ 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 کمّی در اراضی کَنِ 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 مجموعه‌ی 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 تا۱۰۰سانتی‌متری 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 و 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

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 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

* نویسنده مسئول: m.rostaminya@ilam.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

شونده، کشاورزی با نهاده‌های بیشتر، تغییر کاربری و جنگل تراشی شده است (Emami *et al*., 2012; Wang *et al*., 2012).

در کشورهای در حال توسعه به علت آسیب‌پذیری خاک‌های کشاورزی از نظر زیست‌محیطی، توجه به کیفیت خاک دارای اهمیت اقتصادی می‌باشد (Wander *et al*., 2002). کیفیت خاک، ظرفیت خاک برای تولید در اکوسیستم و کاربری اراضی برای حفظ باروری بیولوژیکی، کیفیت محیط‌زیست و تقویت سلامتی گیاه و حیوان می‌باشد که ارزیابی دقیق آن برای مدیریت پایدار خاک ضروری است (Emami *et al*., 2010). کیفیت خاک به عنوان عاملی که ویژگی‌های ذاتی و مدیریت خاک بر آن مؤثر است در نظر گرفته شده و با تعیین شاخص‌های کیفیت خاک ارزیابی می‌گردد. شاخص‌های کیفیت خاک به‌صورت فرآیندها و ویژگی‌هایی از خاک تعریف می‌شوند که به تغییر کاربری خاک حساس باشند (Nosrati, 2013; Takoutsing *et al*., 2016). شاخص‌های کیفیت خاک شامل شاخص‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی می‌باشند. شاخص‌های فیزیکی کیفیت خاک با توجه به تأثیر مستقیم بر روی رشد گیاه و ویژگی‌های شیمیایی و زیستی خاک، از اهمیت ویژه‌ای در برآورد کیفیت خاک برخوردار هستند. از طرفی، شاخص‌های میکروبی به دلیل پرهزینه بودن اندازه‌گیری خواص میکروبی بندرت در مطالعات منطقه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند (Dose *et al*., 2015; Niemeyer *et al*., 2012). شاخص کیفیت خاک بر اساس مجموعه‌ی کل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک (TDS[1]) تعیین می‌گردد که تجزیه و تحلیل تعداد زیادی از ویژگی‌های خاک دشوار و زمان‌بر است. به همین دلیل پژوهشگران تعداد محدودتری از ویژگی‌های خاک را که نماینده بهتری از کیفیت خاک بوده‌اند، به عنوان مجموعه‌ی حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک (MDS[2]) پیشنهاد کرده‌اند. انتخاب این ویژگی‌ها برحسب بیشترین همبستگی با کل کیفیت خاک (شاخص کلی) و سهولت اندازه‌گیری آن‌ها صورت گرفته است (Imaz *et al*.,2010; Ngo-Mboba *et al*., 2015)در کاربری‌های کشاورزی و زیست‌محیطی، از دو مدل شاخص کیفیت تجمعی (IQI[3]) و شاخص کیفیت نمورو (NQI[4]) برای تعیین کیفیت خاک استفاده می‌شود. برای محاسبه شاخص کیفیت تجمعی، با استفاده از توابع امتیازدهی استاندارد، برای هر مشخصه یک امتیاز تعیین شده و از مجموع حاصل‌ضرب امتیاز هر مشخصه در ضریب وزنی آن، مقدار شاخص محاسبه می‌شود (Doran and Parkin, 1994). همچنین شاخص کیفیت نمورو بر اساس میانگین و حداقل امتیاز ویژگی‌ها محاسبه می‌شود و وزن ویژگی‌های خاک دخالتی 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 روش خطی از روش غیرخطی مناسب‌تر 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 معنی‌داری بین IQI و همچنین NQI در دو مجموعه TDS و MDS وجود داشت. هم‌چنین Azarneshan *et al.* (2018) به‌منظور تعیین بهترین روش ارزیابی کیفیت خاک در اراضی خشک و نیمه‌خشک دشت قزوین از شاخص کیفیت تجمعی و نمورو استفاده کردند. نتایج نشان داد برای محاسبه شاخص کیفیت خاک در قزوین مدل IQI_{TDS} مناسب‌تر عمل نمود و طبق این روش ۵۳/۵۶٪ اراضی دارای درجه کیفیت خیلی خوب بود. همچنین روش IQI_{TDS} بالاترین میزان همبستگی را با IQI_{MDS} (R^2=۷۷/۹) نشان داد. در تحقیقی اثر کاربری‌های زراعی، باغ سیب و جنگل بلوط بر ویژگی‌های شیمیایی برخی خاک‌ها در استان آذربایجان غربی مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌ها در کاربری‌های مختلف به صورت کاملاً تصادفی برداشته شد و برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک‌ها اندازه‌گیری و شاخص کیفیت خاک (SQI) در کاربری‌های مختلف تعیین گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که هرگونه مدیریت و نوع کاربری که باعث افزایش دست‌خوردگی 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 کمّی کیفیت خاک در کاربری‌های مختلف باغ، مرتع، زراعت آبی، زراعت دیم و اراضی رها شده در بخشی از اراضی جنوب شرق قزوین را انجام دادند. ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک در کاربری‌های مذکور با استفاده از دو شاخص کیفیت تجمعی و شاخص کیفیت نمورو ارزیابی شد. نتایج نشان داد که کاربری باغ و مرتع نسبت به کاربری‌های 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 شاخص‌های 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،

1- Total Data Set
2- Minimum Data Set
3- Integrated Quality Index
4- Nemero Quality Index

www.SID.ir

Archive of SID

میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD)، هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s)، رطوبت اشباع (θs) 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 ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ 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 نمورو (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 کم خاک‌ورزی بر شاخص‌های کیفیت خاک در پنج سال متوالی در اراضی دیم کوهین قزوین را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که بدون خاک‌ورزی، کم خاک‌ورزی با دیسک و خاک‌ورزی حفاظتی با خاک‌ورزی مرکب به ترتیب در عمق 0-10 سانتی‌متری، ۳۲/۷۹، ۲۱/۸۷ و۱۹/۲۲درصد، در عمق 10-20 سانتی‌متری ۱۸/۹۴، ۱۵/۷۴ و۱۴/۷۶ درصد و در عمق 20-30 سانتی‌متری ۱۷/۳۲، ۱۱/۶۲ و ۱۶/۸۲درصد در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم باعث بهبود شاخص کیفیت تلفیقی خاک شدند .علاوه بر این شاخص کیفیت خاک نمورو 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 به‌منظور ارزیابی شاخص کیفیت خاک با استفاده از مدل‌های کمّی IQI و NQI و با هدف بررسی و مقایسه دو مجموعه‌ی کل داده‌ها (TDS) و مجموعه‌ی داده‌های حداقل (MDS) در لایه سطحی (عمق۰تا۳۰سانتی‌متری) و متوسط وزنی عمق ۳۰ تا۱۰۰ سانتی‌متری خاکرخ‌ها در اراضی خشک و نیمه‌خشک منطقه کَنِ سرخ شهرستان مهران واقع در استان ایلام انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

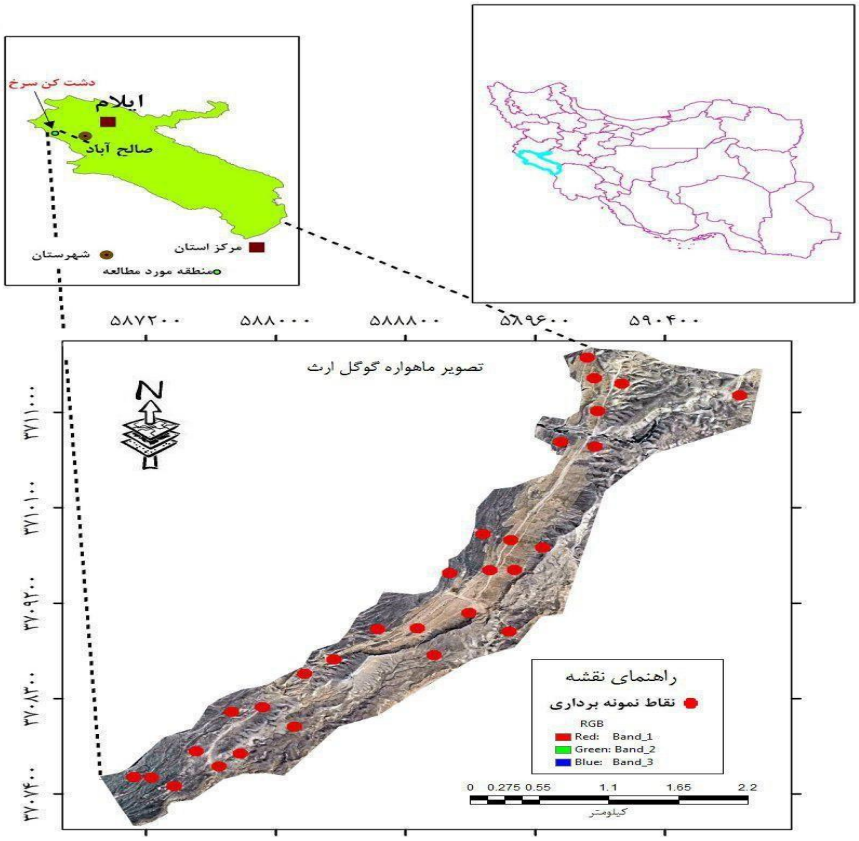
منطقه مورد مطالعه در ناحیه جنوب غربی کشور، در بخش صالح آباد شهرستان مهران، استان ایلام، در محدوده‌ای با عرض جغرافیایی ۳۳درجه و۳۲دقیقه و۲۶ ثانیه تا ۳۳درجه و۲۹دقیقه و۵۳ ثانیه شمالی و طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۵۶ دقیقه و ۱ ثانیه تا ۴۵ درجه و ۵۹ دقیقه و ۲ ثانیه شرقی و در فاصله ۵ کیلومتری مرز ایران و عراق واقع گردیده است (شکل ۱). متوسط ارتفاع منطقه کَنِ 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 خاکرخ‌های 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 به‌وسیله 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 آون 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.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

انتخاب، امتیازدهی و وزن دهی ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک

در این تحقیق از روش مجموعه کل داده‌ها (TDS) و مجموعه داده‌های حداقل (MDS) استفاده گردید. در روش TDS تمامی خصوصیات اندازه‌گیری شده (جمعاً ۱۶ ویژگی فیزیکی و شیمیایی) لحاظ شدند. در روش MDS به‌منظور شناسایی و انتخاب داده‌های جایگزین یکی از پرکاربردترین روش‌ها، روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA[1]) است که در نرم‌افزار SPSS قابل اجرا می‌باشد. روش PCA به منظور کاهش حجم داده‌ها، به صورت گزینش ویژگی‌هایی که بیشترین تأثیر را بر کیفیت دارند، به صورت زیرمجموعه‌ای از کل ویژگی‌های مورد بررسی خاک استفاده شد (Qi *et al.*, 2009).

بر اساس روش Andrews *et al.* (2002) و Govaerts *et al.* (2006)برای گزینش MDS، مؤلفه‌های اصلی (PC) با ارزش ویژه بزرگ‌تر از یک به عنوان MDS مورد بررسی قرار می‌گیرند. درون هر مؤلفه اصلی، شاخص‌هایی که دارای بالاترین سهم باشند به همراه شاخص‌هایی که دارای اختلاف کمتر از 10 درصد با آن‌ها باشند، شناسایی و به عنوان MDS انتخاب شدند. چنانچه متغیر بالاترین وزن همبستگی قابل توجهی با سایر متغیرها داشته باشد، متغیر با بالاترین وزن می‌تواند به اندازه کافی نماینده سایر متغیرها باشد.

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 (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 آن‌ها موجب بهبود کیفیت خاک می‌گردد مانند کربن آلی)، کمتر- بهتر (خصوصیاتی که افزایش آن‌ها موجب کاهش کیفیت خاک می‌گردد مانند جرم مخصوص ظاهری) و تابع سطح بهینه که در مورد خصوصیاتی از خاک است که افزایش یا کاهش آن‌ها تا حد معینی موجب بهبود کیفیت خاک می‌گردد و افزایش یا کاهش آن‌ها بیش از حد بهینه، موجب کاهش کیفیت خاک می‌گردد (مانند پهاش خاک)، دسته‌بندی شدند. برای تعیین امتیاز متغیرها، ویژگی‌هایی که از نظر کیفیت خاک دارای مطلوب‌ترین مقدار بود، مقدار عضویت ۱

1. Principle component analysis

www.SID.ir

Archive of SID

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 بین۰/۱ (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 حاصل‌ضرب وزن هر ویژگی در امتیاز آن ویژگی به دست می‌آید (Bi *et al*., 2013; Congreves *et al*., 2015).

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

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 نمورو (NQI)، بر اساس حداقل و میانگین هر ویژگی به دست می‌آید (Rahmanipour *et al*., 2014; Wang *et al*., 2014).

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

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.

هرکدام 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 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 زمین آمار 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.

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

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، آماده سازی، 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 زمین آماری کریجینگ، توابع پایه شعاعی و وزن‌دهی معکوس فاصله برای بررسی تغییرات مکانی پارامترها استفاده شد (Asghari *et al*., 2014).

روش کریجینگ

در روش‌های زمین آماری، تخمین بر اساس ساختار فضایی موجود در محیط موردنظر 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 زمین آماری به نام کریجینگ نام‌گذاری شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

کریجینگ روشی است برای تخمین بهینه خطی نااریب متغیرهای ناحیه‌ای در مناطق نمونه‌برداری نشده که با استفاده از خواص ساختاری نیم‌تغییرنما مورد استفاده قرار می‌گیرد و اصولاً کریجینگ نامی تعمیم یافته برای کل روش‌های آماری تخمین و برآورد متغیرهای ناحیه‌ای بوده و به عنوان یک تابع خطی از مجموعه مشاهدات توزیع شده واقع در همسایگی نقطه‌ای که می‌خواهیم تخمین بزنیم شناخته می‌شود. از مهم‌ترین ویژگی‌های کریجینگ آن است که به ازا هر تخمینی، خطای مرتبط با آن را نیز می‌توان محاسبه کرد. شرط استفاده از روش کریجینگ آن است که دارای توزیع نرمال باشد. در غیر این صورت باید از روش کریجینگ غیرخطی استفاده یا به نحوی توزیع متغیر نرمال گردد. محاسبه کریجینگ به صورت رابطه (۴) است.

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

در رابطه (۴)، $Z_{(x0)}$ مقدار تخمینی، λ_i وزن یا اهمیتی که به نمونه iام نسبت داده شده است و $Z_{(xi)}$ مقدار مشاهده‌ای نمونه iام است (Asghari *et al*., 2014).

روش وزن‌دهی عکس فاصله

در این روش برای پیش‌بینی مقدار مجهول متغیر یک موقعیت نمونه‌برداری نشده از مقادیر معلوم متغیر اندازه‌گیری شده در نقاط اطراف (نقاط همسایگی) استفاده می‌شود. این روش به صورت عکس فاصله به توان P بیان می‌گردد که توان نشان دهنده میزان اهمیت نقطه است، رابطه (۵) در این روش مورد استفاده قرار می‌گیرد.

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

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

توابع پایه شعاعی

روش‌های توابع پایه شعاعی، مجموعه‌ای از روش‌های درون‌یابی دقیق می‌باشند. یعنی سطح باید از هر مقدار نمونه اندازه‌گیری شده عبور کند، ۵ تابع پایه مختلف وجود دارد: thin plate spline، spline with tension، spline کاملاً منظم، توابع درجه nام و spline درجه nام معکوس. هر تابع پایه شکل متفاوتی دارد و سطح درون‌یابی متفاوتی را نتیجه می‌دهد.

معیار ارزیابی روش‌های درون‌یابی مکانی

به منظور ارزیابی و انتخاب بهترین روش درون‌یابی از معیار (RMSEE)[1]ریشه میانگین مربعات خطا (رابطه ۶) استفاده گردید.

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

در رابطه (۶): Z^*_{xi} مقدار متغیر اندازه‌گیری شده، Z_{xi} مقدار متغیر برآورد شده توسط مدل و n تعداد مشاهدات صورت گرفته می‌باشد (Asghari *et al*., 2014).

درجات کیفیت خاک

به‌منظور طبقه‌بندی شاخص‌ها، از روش Qi *et al*. (2009) استفاده شد. در این روش کیفیت خاک به چهار کلاس درجه‌بندی می‌شود. خاک‌های درجه I مناسب برای رشد گیاه، خاک‌های درجه II مناسب برای رشد گیاه اما با مقدار کمی محدودیت، خاک‌های درجه III دارای محدودیت بیشتری نسبت به درجه II و خاک‌های درجه IV دارای محدودیت زیاد برای رشد گیاه هستند. نقشه توزیع مکانی درجه کیفیت خاک نیز با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS تهیه گردید.

نتایج و بحث

برای انتخاب ویژگی‌های مؤثر فیزیکوشیمیایی مورد مطالعه از روش (PCA) استفاده شد. بر همین اساس، شش مؤلفه اصلی با ارزش ویژه بزرگ‌تر از یک که در مجموع ۸۲/۲۳ درصد از واریانس کل را تحت پوشش قرار می‌دادند، استخراج شد (جدول ۱). همان‌طور که در جدول (۱) مشاهده می‌شود از بین ۱۶ معیار مورد بررسی در TDS، هشت معیار کربن آلی، قابلیت هدایت الکتریکی، گچ، کربنات کلسیم، رس، شن، پ‌هاش خاک و جرم مخصوص ظاهری به‌عنوان MDS انتخاب شد. در این پژوهش مجموعه MDS، بر اساس شرایط و وضعیت خاک منطقه مورد مطالعه قابل قبول بود و شامل مجموعه‌ای از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی است (Shukla *et al*., 2006). Yu *et al*. (2018) به‌منظور توسعه شاخص‌های کمّی کیفیت خاک در مناطق نیمه‌خشک 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 به‌عنوان 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 به‌صورت برآوردی از رس و کربن آلی در این تحقیق به دست آمده‌اند در حالی‌که که EC و $CaSO_4$ در آزمایشگاه و تا حد امکان با دقت به دست آمده‌اند و نیز به علت همبستگی بالای کربن آلی با نیتروژن کل (۰/۷۹) و کربن آلی با

1- Root Mean Square Error

www.SID.ir

Archive of SID

ظرفیت تبادل کاتیونی (۰/۷۶)، در PC_1 متغیرهای کربن آلی، EC و $CaSO_4$ به‌عنوان MDS انتخاب شدند. در PC_2، 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 PC_3، 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 PC_4 جرم مخصوص ظاهری دارای بالاترین وزن بود و به‌عنوان MDS انتخاب شد. در PC_5 نیز EC دارای بالاترین وزن بود ولی چون در PC_1 به‌عنوان MDS انتخاب شده و نیز به دلیل جلوگیری از تکرار در این PC هیچ متغیری به‌عنوان MDS انتخاب نشد.

برای نمونه‌های متوسط وزنی عمق۳۰ 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 PC_1، شن دارای بالاترین وزن بود و پس از آن بر اساس ۱۰٪ اختلاف وزن، متغیر سنگریزه بود که هر دو به‌عنوان MDS انتخاب شدند. در PC_2، گچ و پ-هاش خاک به‌عنوان MDS انتخاب شدند. در PC_3، 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.

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

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۲. نتایج تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی در نمونه‌های متوسط وزنی عمق ۳۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر (PCA)

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

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

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

www.SID.ir

Archive of SID

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

به‌منظور طبقه‌بندی کیفیت خاک منطقه مورد مطالعه، از روش Qi *et al*. (2009) استفاده شد. با توجه به جدول (۶)، IQI_{TDS}، NQI_{TDS} در نمونه‌های سطحی دارای درجه کیفیت III و در نمونه‌های متوسط وزنی عمق ۳۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر دارای درجه کیفیت IV هستند. همچنین IQI_{MDS}، NQI_{MDS} 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 خاکرخ‌ها 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	$N(x)=\begin{cases}1 & X<L\\ 1-0.9\frac{X-L}{U-L} & L\le X\le U\\ 0.1 & X>U\end{cases}$
قابلیت‌هدایت الکتریکی	کمتر، بهتر	۰/۲	۲	
کربنات کلسیم	کمتر، بهتر	۳	۵۵	
جرم مخصوص ظاهری	کمتر، بهتر	۱/۲۵	۱/۷	
گچ	کمتر، بهتر	۳	۲۵	
سنگریزه	کمتر، بهتر	۳	۵۵	
شن	بهینه	۴۰	۶۰	$f(x)=\begin{cases}0.1 & X<L\\ 0.9\frac{X-L}{U-L}+0.1 & L<X<U\\ 1 & U<X<L\\ 1-0.9\frac{X-L}{U-L} & L<X<U\\ 0.1 & X>U\end{cases}$
سیلت	بهینه	۱۰	۲۰	
رس	بهینه	۱۰	۲۰	
کربن آلی	بیشتر، بهتر	۰/۱	۳/۲	$M(x)=\begin{cases}0.1 & X<L\\ 0.9\frac{X-L}{U-L}+0.1 & L\le X\le U\\ 1 & X>U\end{cases}$
فسفر	بیشتر، بهتر	۵	۱۵	
آهن	بیشتر، بهتر	۲	۳۲	
روی	بیشتر، بهتر	۱/۵	۳	
نیتروژن کل	بیشتر، بهتر	۰/۰۳	۰/۱۲	
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)، F(x) و M(x) به ترتیب توابع امتیازدهی استاندارد برای حد بالا، پائین و بهینه که بین ۰/۱ تا ۱ تغییر می‌کنند.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵. مقادیر میانگین شاخص‌های کیفیت خاک در کل نمونه‌ها

شاخص‌های کیفیت خاک	IQI_{TDS}	IQI_{MDS}	NQI_{TDS}	NQI_{MDS}
نمونه‌های سطحی	۰/۵۷۶	۰/۴۸۲	۰/۳۸۳	۰/۳۳۹
نمونه‌های متوسط عمقی	۰/۴۱۹	۰/۳۰۷	۰/۳۰۴	۰/۲۵۱

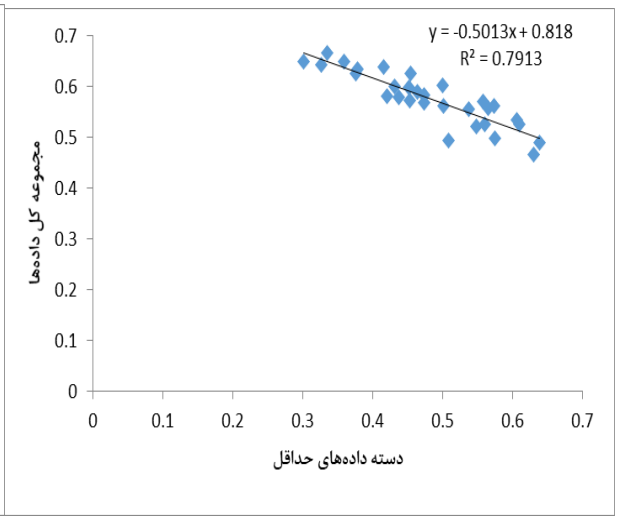
جدول ۶. درجه‌بندی کیفیت خاک در مدل‌های IQI و NQI در دو مجموعه TDS و MDS، Qi *et al.* (2009)

نوع مدل	روش	درجه کیفیت خاک I	II	III	IV
IQI	TDS	۰/۷۶≤IQI_{TDS}	۰/۶۶≤IQI_{TDS}<۰/۷۶	۰/۵۶≤ IQI_{TDS}<۰/۶۶	IQI_{TDS}<۰/۵۶
	MDS	۰/۷۸≤IQI_{MDS}	۰/۶۸≤IQI_{MDS}<۰/۷۸	۰/۵۸≤ IQI_{MDS}<۰/۶۸	IQI_{MDS}<۰/۵۸
NQI	TDS	۰/۵۵≤NQI_{TDS}	۰/۴۵≤NQI_{TDS}<۰/۵۵	۰/۳۵≤ NQI_{TDS}<۰/۴۵	NQI_{TDS}< ۰/۳۵
	MDS	۰/۸۰≤NQI_{MDS}	۰/۷۰≤NQI_{MDS}<۰/۸۰	۰/۶۰≤ NQI_{MDS}<۰/۷۰	NQI_{MDS}< ۰/۶۰

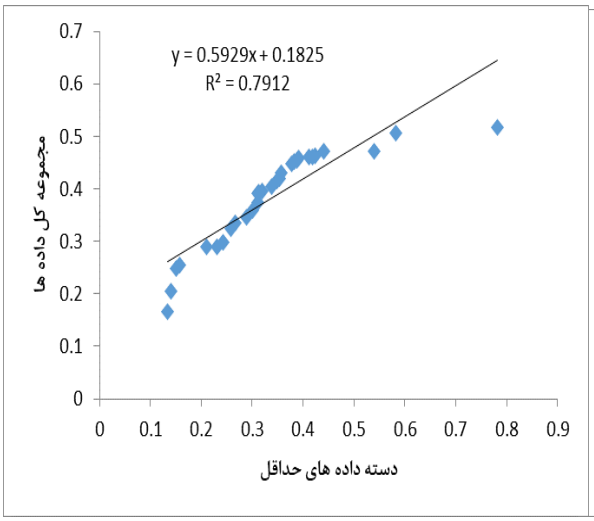
نتایج بررسی همبستگی و رگرسیون کل داده‌ها با مجموعه حداقل

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 IQI_{MDS} -IQI_{TDS} (۰/۷۹) و NQI_{MDS} - NQI_{TDS} (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 کیفیت نمورو 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 به‌جای مجموعه کل داده‌ها از مجموعه داده‌های حداقل استفاده کرد. با این حال مدل TDS به دلیل استفاده از همه‌ی داده‌ها از دقت بالاتری برخوردار است ولی چون در مدل MDS از تعداد محدودتری از ویژگی‌های خاک استفاده می‌شود، از نظر اقتصادی به‌صرفه‌تر است.



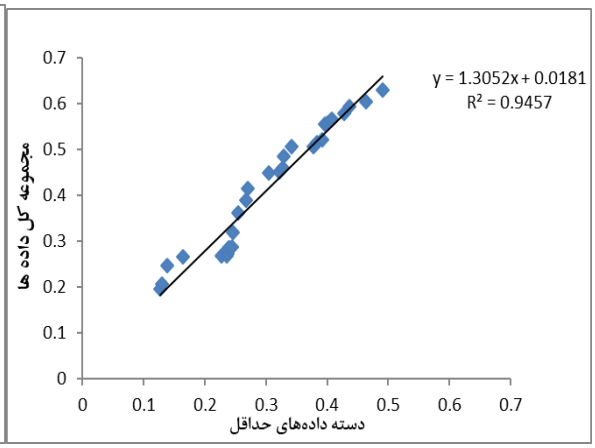
شکل ۲. رابطه خطی IQI_{TDS}-IQI_{MDS} در نمونه‌های سطحی



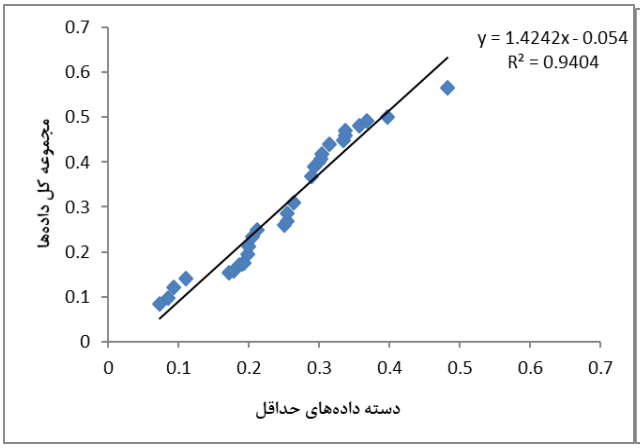
شکل ۳. رابطه خطی NQI_{TDS}-NQI_{MDS} در نمونه‌های سطحی

www.SID.ir

Archive of SID



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



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

توصیف آماری

بر اساس نتایج جدول (۷) شاخص‌های کیفیت مورد بررسی در تمام دو عمق دارای چولگی و افراشتگی 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 پهنه‌بندی شاخص‌های کیفیت استفاده گردید. شاخص‌های کیفیت مورد بررسی در دو عمق به استثنای شاخص NQI داده‌های کل و حداقل داده برای عمق ۳۰ تا۱۰۰ سانتی‌متر و شاخص NQI حداقل داده‌های در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر، در دامنه ۱۵ تا ۳۵ درصد قرار گرفته و از ضریب تغییرپذیری متوسط برخوردار می‌باشند.

جدول ۷. نتایج پارامترهای آماری و بررسی توزیع نرمال داده‌ها

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

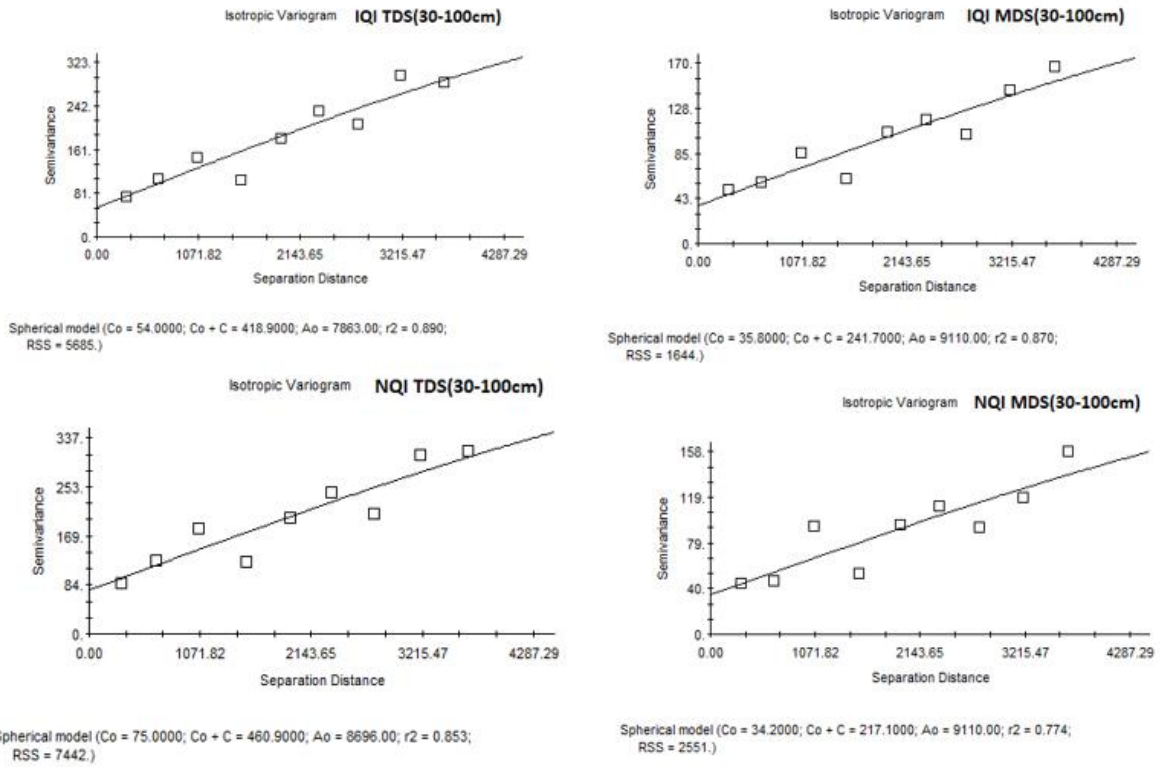
نتایج بهینه‌سازی مدل‌های برازش داده شده بر شاخص‌های کیفیت خاک مورد بررسی در شکل‌های (۵) و (۶) برای دو عمق و دو روش به کار رفته در این تحقیق ارائه گردیده است. بر اساس تحلیل واریوگرافی در نرم‌افزار+GS نسخه۹ و پارامترهای r2 و RSS برای شاخص‌های کیفیت خاک در دو عمق مورد بررسی، مدل کروی دارای بالاترین میزان 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 تا۵۰ درصد دارای ساختار خودهمبستگی مکانی متوسط با دامنه تأثیر ۳۳۶۷ 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، به‌طوری‌که شاخص IQI_{TDS} با میزان ۱۲/۸ با دامنه تأثیر ۷۸۶۳ متر دارای ساختار مکانی قوی و IQI_{MDS} با نسبت ۱۴/۵دارای ساختار مکانی قوی و دامنه تأثیر۹۱۱۰ متر و شاخص NQI_{TDS} با نسبت ۱۶/۶ و دامنه تأثیر ۸۵۹۶ و NQI_{MDS}

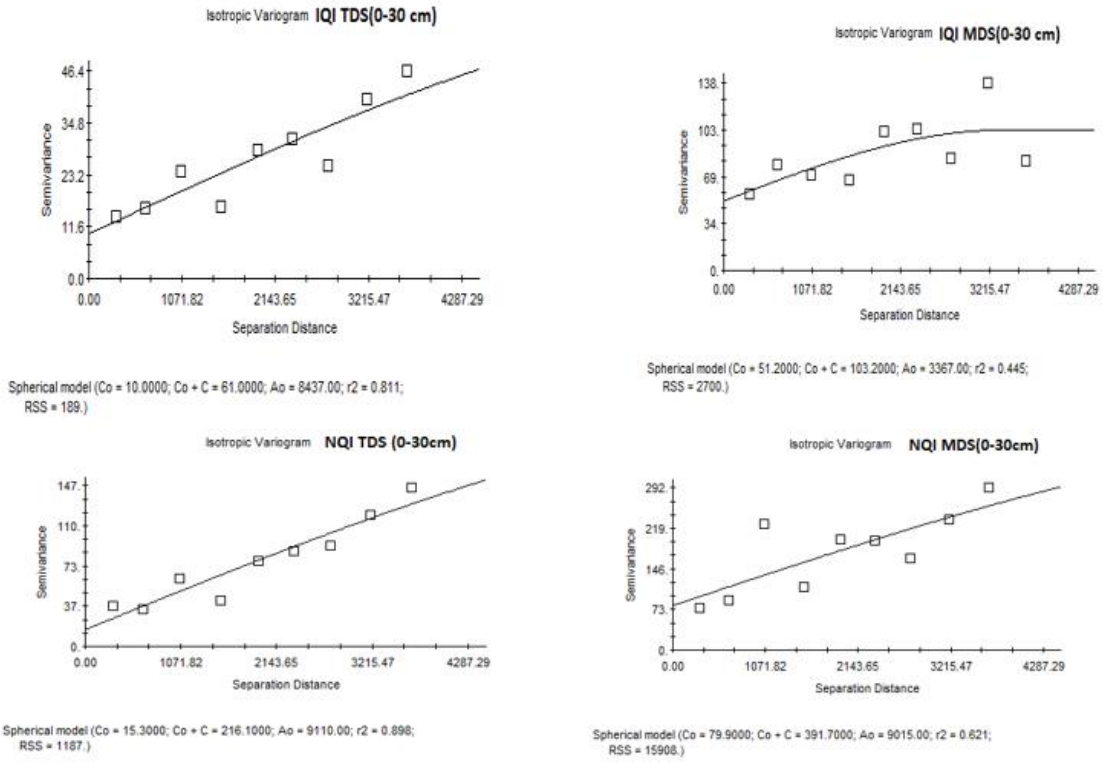
www.SID.ir

Archive of SID

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



شکل ۵. برازش بهینه‌ترین مدل ریاضیاتی بر واریوگرام تجربی داده‌های دو شاخص کیفیت خاک در عمق۰ تا۳۰ سانتی‌متر



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

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۸. نتایج ارزیابی آماری مدل‌های مورد استفاده در پهنه‌بندی شاخص‌های کیفیت خاک

شاخص کیفیت خاک	وزن‌دهی معکوس فاصله		توابع پایه شعاعی		کریجینگ معمولی	
	توان بهینه شده	Cross validation RMSE	پارامتر کرنل	Cross validation RMSE	مدل بهینه‌سازی شده	Cross validation RMSE
IQITDS(0-30cm)	۸	۰/۰۴۴	۰/۰۰۷	۰/۰۳۶	کروی	۰/۰۴۴
IQIMDS(0-30 cm)	۳	۰/۰۹۲	۰/۰۱۳	۰/۰۸۶	کروی	۰/۰۸۷
NQITDS(0-30 cm)	۷	۰/۰۷۶	۰/۰۰۷	۰/۰۵۹	کروی	۰/۰۷۲
NQIMDS(0-30 cm)	۱۱	۰/۱۲۷	۰/۰۰۶	۰/۰۹	کروی	۰/۱۲۶
IQITDS(30-100 cm)	۸	۰/۱۱	۰/۰۰۷	۰/۰۸۵	کروی	۰/۰۹۷
IQIMDS(30-100 cm)	۸	۰/۰۸۹	۰/۰۰۷	۰/۰۷۴	کروی	۰/۰۸۶
NQITDS(30-100 cm)	۹	۰/۱۲	۰/۰۰۷	۰/۰۹۱	کروی	۰/۱۰۷
NQIMDS(30-100 cm)	۱۰	۰/۰۸۹	۰/۰۰۷	۰/۰۷۲	کروی	۰/۰۸۵

درصد و مساحت کلاس‌های کیفیت خاک

برای تعیین مساحت و درصد مساحت هر یک از کلاس‌های درجه کیفیت خاک از نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد (جداول ۹ و ۱۰). همان‌طور که مشاهده می‌شود در نمونه‌های سطحی در مدل IQI_{TDS} و NQI_{TDS} بیشترین درصد مربوط به کلاس کیفیت III (کیفیت متوسط) بود. همچنین در مدل IQI_{MDS} و NQI_{MDS} 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).

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

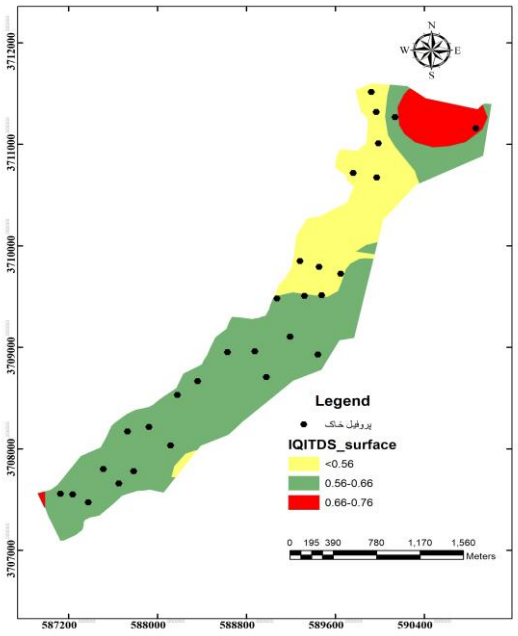
روش شاخص	درجه	IQI		NQI	
		مساحت	درصد	مساحت	درصد
TDS	I	۰	۰	۳۱/۵۶	۸/۰۳
	II	۰	۰	۴۸/۳۰	۱۲/۳۰
	III	۷۹/۳۴	۲۰/۲۶	۸۹/۰۷	۲۲/۶۸
	IV	۳۱۲/۲۵	۷۹/۷۳	۲۲۳/۶۴	۵۶/۹۶
MDS	I	۰	۰	۰	۰
	II	۰	۰	۰	۰
	III	۰	۰	۰	۰
	IV	۳۹۲/۹۴	۱۰۰	۳۹۲/۹۲	۱۰۰

www.SID.ir

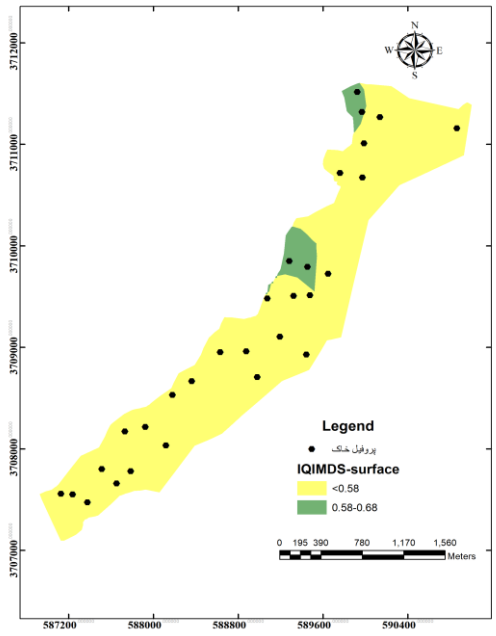
Archive of SID

مقایسه توزیع کلاس‌های کیفیت خاک در شاخص‌های تجمعی و نمورو در دو مجموعه TDS و MDS

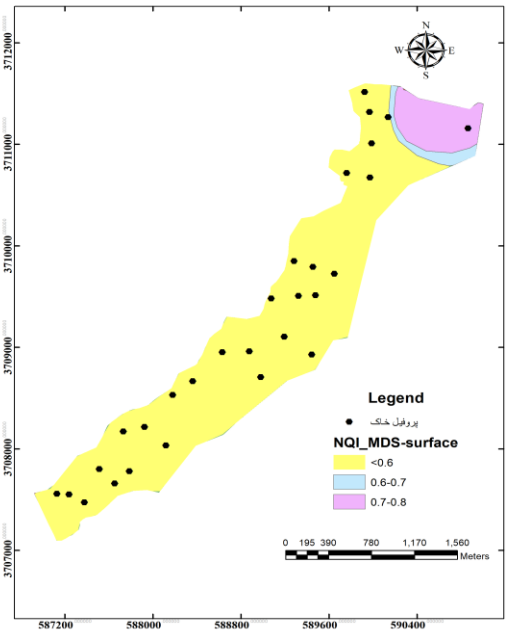
بر اساس مدل IQI_{TDS} و NQI_{TDS} در نمونه‌های سطحی بیشترین کلاس کیفیت خاک متعلق به کلاس درجه III (متوسط) به ترتیب با ۶۵/۸۷٪ و ۴۲/۱۶٪ و در روش MDS بیشترین کلاس کیفیت مربوط به کلاس درجه IV (ضعیف) به ترتیب با ۹۴/۴۸٪ و ۸۸/۵۶٪ بود. همچنین در نمونه‌های متوسط عمقی شاخص‌های IQI_{TDS} و NQI_{TDS}، کلاس کیفیت 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.



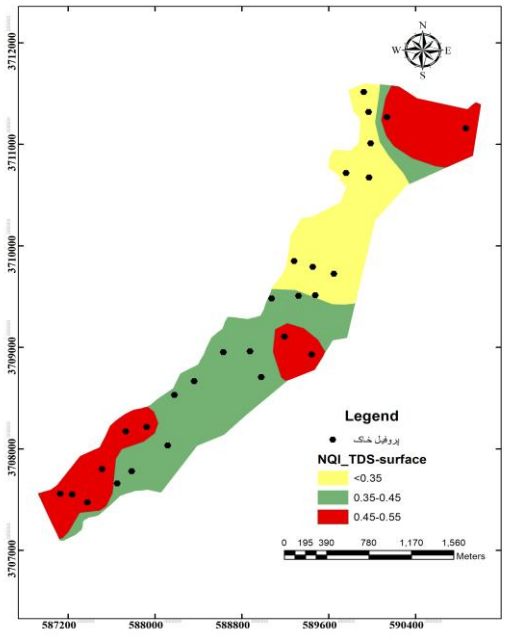
شکل ۷. IQI_{MDS} نمونه‌های سطحی



شکل ۸. IQI_{TDS} نمونه‌های سطحی



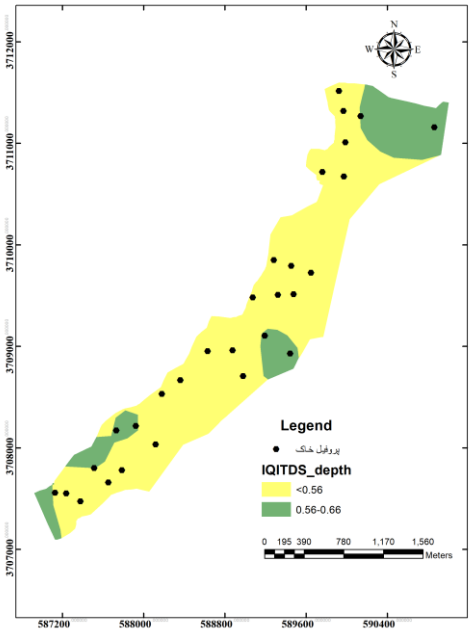
شکل ۹. NQI_{TDS} نمونه‌های سطحی



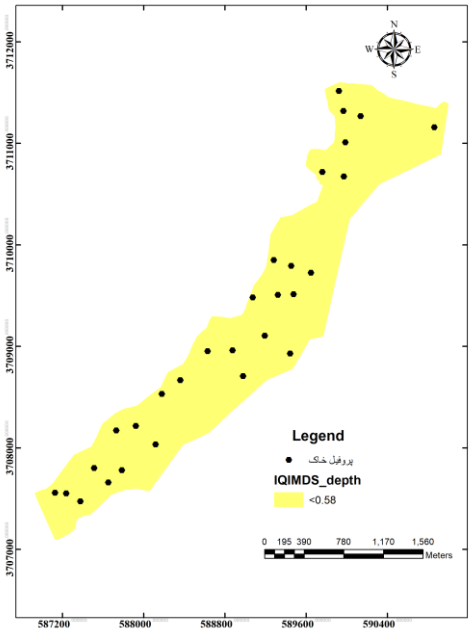
شکل ۱۰. NQI_{MDS} نمونه‌های سطحی

www.SID.ir

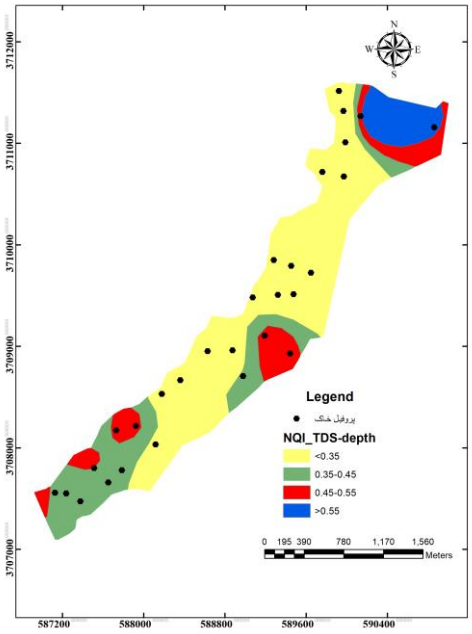
Archive of SID



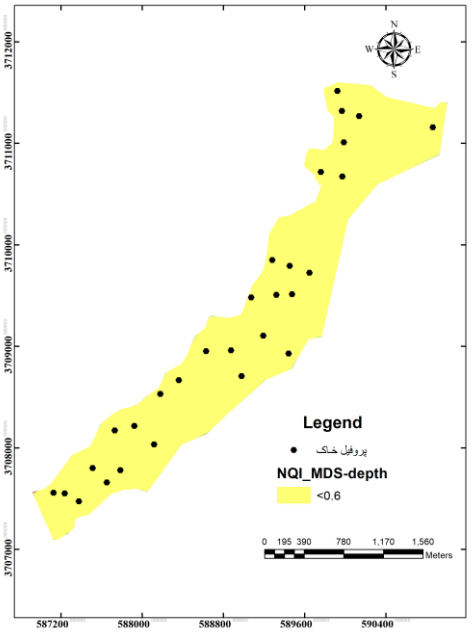
شکل ۱۱. IQI_{MDS} در نمونه‌های متوسط عمقی



شکل ۱۲. IQI_{TDS} در نمونه‌های متوسط عمقی



شکل ۱۳. NQI_{MDS} در نمونه‌های متوسط عمقی



شکل ۱۴. NQI_{TDS} در نمونه‌های متوسط عمقی

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که مدل‌های کیفیت خاک برای ارزیابی کمّی 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 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

www.SID.ir

Archive of SID

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 IQI_{TDS} 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 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., Dizajghoorbani Aghdam S. and Esmali Ouri A. (2014). Investigation te Spatial Variability of some Soil Physical Quality Indices in Fandoghlou 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., Astaraei, 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-

www.SID.ir

Archive of SID

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 Sheikhloo, 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.

Roozitalab, 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.,

www.SID.ir

Archive of SID

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 Yl, 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.

www.SID.ir