Archive of SID
DOI: 10.22059/ijswr.2019.280133.668183 تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۱، شماره ۱، فروردین ۱۳۹۹ (ص ۱۳۳-۱۱۹)

Mid-term Variations of Biogeochemical Indicators of Soil Quality under Agronomic Conditions

PARISA MOHSENI[1], ALI KESHAVARZI[1], AHMAD HEIDARI[1*] ,ELNAZ MALEKI-GHELICHI[2]

1. Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

2. Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran Karaj, Iran

(Received: June. 8, 2019- Revised: July. 20, 2019- Accepted: Sep. 2, 2019)

ABSTRAC

In the present study, mid-term variations in soil quality were studied on the farm scale. The studied area was a research-educational farm of the Agricultural and Natural Resources Campus of University of Tehran covers 260 hectares, with thermic soil temperature and aridic soil moisture regimes, respectively. In this study, the process of improving or destruction of the integrated soil quality index at two depths (0-20 and 20-40 cm) in years of 1379 and 1396 was compared. The minimum data set was determined using the method of two-phases PCA. Definition of standard scoring functions and non-linear fuzzy membership functions were performed through programming in the MATLAB software environment. Covariance-correlation method was used for weighing the selected variables in determining Soil Quality Integrated (SQI) index. The results of this study showed that in most of the adaptive areas of the soil, the incremental and decreasing pattern of the soil quality index in the first and second depths of the previous and present studies were consistent and in some places, this pattern was almost constant. In profiles No. 1, 5, 11 of the previous research which include 27.3% of the samples, and in profiles No. 1, 5, 7, 9 and 18 of the present study which include 20.83% of the samples, the soil quality index at the first depth was less than the one in the second depth. Classification of the soil quality classes for all samples in both years revealed a reduction in soil quality index. So that the soil quality reduced from grade III (45%) and IV (54%) to grade IV (73-75%).

Keywords: PCA, SQI, Standard scoring functions

* Corresponding Author's Email: aahaidari@ut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

تغییرات میان‌مدت شاخص‌های بیوژئوشیمیایی کیفیت خاک تحت شرایط زراعی

پریسا محسنی[۱]، علی کشاورزی[۱]، احمد حیدری[۱]*، الناز ملکی قلیچی[۲]

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

۲. گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۳/۱۸- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۴/۲۹- تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۶/۱۱)

چکیده

در تحقیق حاضر، تغییرات میان‌مدت کیفیت خاک در مقیاس مزرعه مورد بررسی قرار گرفت. منطقه‌ی مورد مطالعه، مزرعه‌ی آموزشی و پژوهشی دانشگاه تهران به مساحت ۲۶۰ هکتار واقع در کرج با رژیم رطوبتی-حرارتی خاک اریدیک-ترمیک می‌باشد. در این تحقیق تغییرات شاخص تجمعی کیفیت خاک در دو عمق (۲۰-۰ و ۴۰-۲۰ سانتی متری) در سال ۱۳۷۹ و سال ۱۳۹۶ مورد مقایسه قرار گرفت. مجموعه حداقل داده‌ها با استفاده از روش تجزیه مولفه‌های اصلی دو مرحله‌ای تعیین و تعریف توابع امتیازدهی استاندارد و توابع عضویت فازی غیرخطی در نرم‌افزار متلب انجام شد. برای وزن‌دهی متغیرهای منتخب در تعیین شاخص تجمعی کیفیت خاک، از روش اشتراک واریانس مبتنی بر همبستگی استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که در بیشتر نقاط تطبیقی بین مطالعات دو مقطع زمانی، تغییرات میان‌مدت شاخص کیفیت خاک در عمق‌های اول و دوم خاک انطباق خوبی داشتند. در پروفیل‌های شماره ۱، ۵، ۱۱ تحقیق گذشته که ۲۷٪ از نمونه‌ها را شامل می‌شود، و در پروفیل های شماره ۱، ۵، ۷، ۹ و ۱۸ نمونه‌برداری حاضر که ۲۰/۸۳٪ از نمونه‌ها را شامل می‌شود، شاخص کیفیت خاک در عمق اول کم‌تر از عمق دوم تعیین گردید. تعیین کلاس کیفیت خاک در نمونه‌های تحقیق حاضر و گذشته در دو عمق نشان‌دهنده کاهش کیفیت کل خاک است. به نحوی که کیفیت خاک از کلاس‌های III (۴۵٪ اراضی) و IV (۵۴٪ اراضی)؛ به کلاس IV (۷۳٪-۷۵ اراضی) تنزل یافته است.

واژه‌های کلیدی: تجزیه مولفه‌های اصلی، توابع امتیازدهی استاندارد، شاخص کیفیت خاک

مقدمه

خاک یکی از منابع اصلی سرزمین و حلقه‌ی ارتباط بین اقلیم و سیستم‌های بیوژئوشیمیایی است کـه نقش مهمی در توانایی زیست‌بوم‌های خشکی برای تامین نیازهای متنوع بشری ایفا می‌کند (Yang *et al*., 2010). خاک کارکردهای مهمی در تامین زندگی انسان و نیازهای اکوسیستم دارد. در سال‌های اخیر تلاش‌های قابل توجهی برای ارتقای کیفیت خاک در سیستم‌های تولید و چرخه‌های دخیل در حفظ کیفیت آن صورت گرفته است (Legaz *et al*., 2017). کیفیت خاک یکی از مهم‌ترین عوامل مورد بررسی در ارزیابی مدیریت خاک و پایداری قلمرو زیستی به حساب می‌آید (Doran & Parkin, 1994). با توجه به نقش خاک در تأمین غذای جمعیت رو به رشد جهان، در سال‌های گذشته شناخت جنبه‌های گوناگون کیفیت خاک مانند کیفیت فیزیکی، شیمیایی، زیستی و کانی‌شناسی مورد توجه پژوهشگران قرارگرفته است. تعاریف مختلفی از کیفیت خاک در منابع مطرح شده است. در تعاریف گذشته عمدتاً جنبه حاصلخیزی و توان تولیدی خاک مطرح بوده است، در حالی که تعاریف مطرح شده در سال‌های اخیر بر پایه کشاورزی پایدار و حفظ سلامت محیط‌زیست در اکوسیستم‌های زراعی استوار هستند. بر پایه اهداف کشاورزی پایدار، کیفیت خاک عبارت از توانایی خاک برای تولید پایدار است. پس رابطه تنگاتنگی بین کشاورزی پایدار و کیفیت خاک وجود دارد و بخشی از ناپایداری به دلیل کاهش کیفیت خاک در طول زمان می‌باشد. کیفیت خاک که تمام ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک را در برمی‌گیرد، در سالیان اخیر در زمره مهم‌ترین معیارهای ارزیابی خاک قرار گرفته است. جنگل‌تراشی و عملیات زراعی باعث کاهش ماده آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، پایداری خاک‌دانه، میزان تنفس میکروبی خاک و در نتیجه کاهش شدید کیفیت خاک می‌شود. اثرات

* نویسنده مسئول: ahaidari@ut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

خاک‌ورزی بلندمدت و محصولات پوششی و کوددهی بر روی فعالیت جامعه میکروبی و پیامدهای آن بر کیفیت خاک بررسی شده که بر اساس آن عملیات بدون خاک‌ورزی به افزایش عملکرد درحدود ۱۳ درصد بیشتر از خاک‌ورزی مرسوم منجر شده و افزایش ۵ درصدی در کیفیت خاک در زمین‌های زیر کشت گیاه پوششی ماشک در مقایسه با زمین‌های بدون پوشش و گندم مشاهده می‌شود (Khormali & Nabiollahi, 2009). ارزیابی پارامترهای خاک مرتبط با کیفیت خاک در ۵ خاک با گیاهان پوششی مختلف در تحقیقی انجام پذیرفت. شاخص‌های شیمیایی مورد بررسی در این تحقیق که بیشترین تاثیر بر شاخص کیفیت خاک داشتند شامل ظرفیت نگهداری آب، بافت، چگالی ظاهری، pH، محتوی ماده آلی، نیتروژن کل، هدایت الکتریکی، معدنی شدن نیتروژن، کربن زیست‌توده میکروبی، تنفس پایه و فعالیت های آنزیمی (آنزیم‌های کاتالاز، اوره‌آز و فسفاتاز) بود. اثر کاربری اراضی بر کیفیت خاک در نقاط مختلف شیب (قسمت بالایی، میانی و پایینی) در اراضی جنگلی سوزنی برگ، مرتعی، زراعی و رها شده در منابع مختلف گزارش شده است و نتایج نشان داده که تغییر کاربری اراضی باعث کاهش کربن آلی خاک و در نتیجه کاهش کیفیت خاک به ویژه در قسمت میانی و پایینی شیب می‌شود (Anderson, 2003). شاخص‌های فیزیکی شامل جرم مخصوص ظاهری، هدایت هیدرولیکی اشباع، ظرفیت آب قابل استفاده گیاه، کربن آلی خاک و تخلخل غیرموئین برای ارزیابی سلامت خاک برای دو کاربری گندم و برنج استفاده شدند که شاخص سلامت فیزیکی خاک در مزرعه زیر کشت برنج، در حد متوسط به دست آمد، اما به خاطر مقادیر زیاد جرم مخصوص ظاهری، مقادیر کم هدایت هیدرولیکی اشباع، تخلخل غیرموئین و ظرفیت آب در دسترس گیاه برای کشت گندم نامناسب بود (Amirinejad *et al*., 2011). کیفیت خاک، یک مفهوم نسبی و وابسته بـه شرایط است. هرگونه تغییر مدیریتی و انجام عملیات کشاورزی بر خاک، می‌تواند نتایجی مثبت یا منفی بـر ویژگی‌های خاک بگذارد و با اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک و ارتباط بین آن‌ها، تعیین می‌شود (Rahimi *et al*., 2015). درک اهمیت خاک با نگرانی‌های زیست‌محیطی در اواخر قرن بیستم تغییر کرده است. مفهوم کیفیت خاک در سال ۱۹۸۰ و زمانی که اهمیت آن برای تولید محصولات کشاورزی و پایداری اکوسیستم به‌طور گسترده‌ای به رسمیت شناخته شد، ظهور کرد. مطمئنا حفظ استانداردهای بالای کیفیت برای شرایط عمومی خاک یک نیاز اساسی برای پایداری جهانی خاک است (Doran, 2002). تشدید و گسترش فعالیت‌های انسانی فشار بر منابع اراضی را افزایش داده‌اند، که نتیجه آن کاهش کیفیت خاک است که مخصوصاً با کاربری اراضی و تغییر کاربری اراضی مرتبط می‌شود.

از آنجا که کیفیت خاک را نمی‌توان با تمام نمایه‌های خاک به طور جامع با یک شاخص واحد اندازه‌گیری کرد، ارزیابی کیفیت خاک اغلب بر تعیین حداقل مجموعه داده (Minimum Data Set (MDS))، از ویژگی‌های خاک که بیش‌ترین اثر را در کیفیت خاک دارد، تمرکز می‌کند. برای گزینش دسته حداقل داده‌ها عمدتاً از روش تحلیل مولفه‌های اصلی استفاده می‌شود (Doran & Parkin, 1994) که این کار با استفاده از نرم افزارهای آماری مانند SAS و SPSS انجام می‌گیرد. روش تحلیل مولفه‌های اصلی برای کاهش حجم داده‌ها، از میان کل ویژگی‌های مورد بررسی خاک، ویژگی‌هایی که بیشترین تأثیر را بر کیفیت خاک منطقه دارند، انتخاب می‌کند (Qi *et al*., 2009). کیفیت خاک را می‌توان به وسیله ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی یک خاک و اثر متقابل بین آن‌ها تعیین کرد (Papendick & Parr, 1992). پس از امتیاز دادن به هر خصوصیت و قرار دادن آنها در یک رابطه، شاخص کیفیت خاک محاسبه می‌شود.

هدف از این پژوهش بررسی کیفیت خاک در مزرعه‌ی آموزشی و تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران در یک دوره زمانی میان‌مدت (۱۷ سال) و تعیین روند بهبود و یا تنزل شاخص تجمعی کیفیت خاک در مقایسه با پژوهش گذشته از دو عمق (۲۰-۰ و ۴۰-۲۰ سانتی متری) می‌باشد.

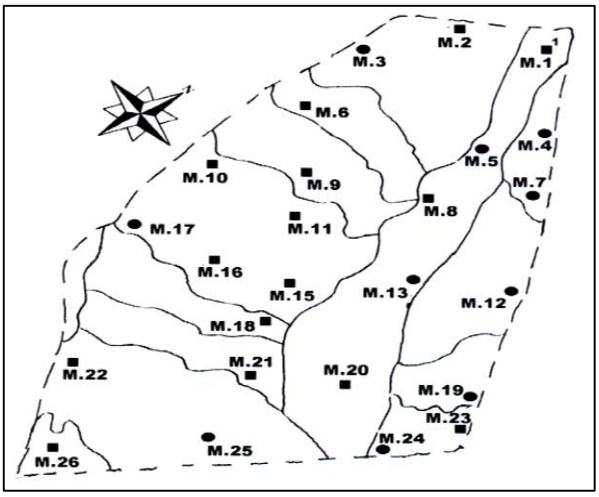
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه مزرعه‌ی آموزشی و تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در دولت آباد کرج، ۳۵ کیلومتری غرب تهران (از عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۸ دقیقه شرقی) و با ارتفاع ۱۳۱۶ متر از سطح دریا و رژیم رطوبتی-حرارتی خاک ترمیک-اریدیک به مساحت ۲۶۰ هکتار است. نوع کشت اراضی، کشاورزی آبی بوده و محصولات کشت شده غالباً گندم، جو، ذرت علوفه‌ای و یونجه به صورت تک‌کشتی یا تناوب می‌باشد. نمونه-برداری و پژوهش صورت گرفته به منظور بررسی تغییرات کیفیت خاک مزرعه آموزشی-پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران در مقایسه با تحقیق علی‌پور در گذشته می‌باشد Alipour (2000). شکل (۱) نقشه نقاط نمونه‌برداری شده به‌صورت شبکه‌ای در تحقیق حاضر (۱۳۹۶) و شکل (۲) نقشه نقاط نمونه‌برداری شده در سال ۱۳۷۹ می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- نقشه‌ی نقاط نمونه‌برداری شده مزرعه در زمان مطالعه اخیر

شکل ۲- نقشه‌ی نقاط نمونه‌برداری خاک مزرعه دانشکده در تحقیق گذشته (Alipour, (2000))

برای تعیین شاخص‌های (نمایه‌های) کیفیت خاک در زمان حاضر تعداد ۴۷ نمونه خاک از دو عمق (۲۰-۰ و ۴۰-۲۰ سانتی‌متر) نمونه‌برداری گردید. نمونه‌های خاک پس از هوا خشک‌شدن، به‌منظور اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و زیستی از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. نمونه‌های دست-نخورده نیز جهت تعیین برخی از خصوصیات خاک، مانند جرم مخصوص ظاهری تهیه گردید.

تجزیه شیمیایی نمونه‌های خاک

قابلیت هدایت الکتریکی خاک در عصاره اشباع با استفاده از هدایت‌سنج اندازه‌گیری و پس از اعمال تصحیح دمایی، بر حسب دسی‌زیمنس بر متر در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد گزارش گردید. واکنش شیمیایی خاک نیز در عصاره اشباع با استفاده از دستگاه سنجش اسیدیته خاک که از قبل به وسیله محلول‌های بافر تنظیم شده بود، اندازه‌گیری شد (Page *et al*., 1982). مقدار کربن‌آلی خاک با استفاده از روش اکسیداسیون تر، نیتروژن خاک با روش کجلدال، پتاسیم قابل جذب خاک به روش جایگزین کردن یون آمونیوم و فسفر قابل جذب با روش اولسن و به‌کارگیری اسید آسکوربیک به‌عنوان ماده احیاکننده به طریق رنگ‌سنجی اندازه-گیری شدند. از روش عصاره‌گیری با DTPA[1] برای عصاره‌گیری و اندازه‌گیری عناصر کم مصرف (شامل آهن، مس، روی و منگنز) استفاده (Fathizadeh, 2016) شد و عناصر مورد نظر در عصاره-های بدست آمده با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شدند.

تجزیه فیزیکی نمونه‌های خاک

جرم مخصوص ظاهری با استفاده از روش استوانه (نمونه دست-نخورده) اندازه‌گیری شد. جرم نمونه خاک درون سیلندر پس از خشک شدن در آون (۱۰۵ درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت)، بر حجم استوانه تقسیم و جرم مخصوص ظاهری نمونه‌های خاک مشخص شد (Fathizadeh, 2016). اندازه‌گیری بافت خاک نیز به روش هیدرومتری و براساس قانون استوکز صورت گرفت.

تجزیه زیستی نمونه‌های خاک

برای محاسبه تنفس میکروبی طبق معادله (۱)، مقدار ۲۰ گرم خاک توزین و به حد رطوبت ظرفیت مزرعه رسانده و درون شیشه‌های درب‌دار ریخته شد. همزمان مقدار۲۰ میلی‌لیتر NaOH، ۰/۲ مولار درون بشر ۲۵ میلی‌لیتری ریخته و به آرامی با استفاده از پنس، درون ظرف شیشه‌ای محتوی خاک قرار گرفت. سپس درب ظروف بسته و به وسیله سلفون درزگیری شدند تا از تبادل هوا به درون ظروف جلوگیری شود. یک نمونه دیگر هم به همین صورت اما بدون خاک (فقط حاوی سود) به‌عنوان شاهد آماده گردید. این نمونه مقدار دی‌اکسیدکربن موجود در فضای ظرف را محاسبه می‌کند. ظروف به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد در دمای اتاق قرار گرفتند. هنگام تیتراسیون دو میلی‌لیتر محلول ۰/۵ مولار کلرید باریم و سه تا چهار قطره معرف فنل فتالئین به ارلن‌ها افزوده و با اسیدکلریدریک ۰/۱ مولار تا زمان تغییر رنگ محلول از ارغوانی به سفید شیری تیتر شد. میزان دی‌اکسیدکربن بر حسب میلی‌گرم بر گرم خاک از رابطه زیر محاسبه شد (Fathizadeh, 2016).

$$(CO_2) = \frac{(V_0 - V_1) \times N \times 22}{W}$$ (رابطه ۱)

V_0: حجم اسید مصرفی برای شاهد برحسب میلی‌لیتر یا مترمکعب، V_1: حجم اسید مصرفی برای نمونه، N: نرمالیته اسید

1. Diethylenetriaminepentaacetic acid

www.SID.ir

Archive of SID

مصرفی، W: وزن خاک، و عدد ۲۲ وزن میلی‌اکی‌والان دی-اکسیدکربن بر حسب میلی‌گرم می‌باشد.

تعیین شاخص کیفیت خاک

تجزیه‌ی مولفه‌های اصلی و تعیین دسته حداقل داده‌ها (MDS)

با استفاده از روش تحلیل مولفه‌های اصلی تعداد مشخصه‌ها کاهش یافته و مشخصه‌های منتخب در محاسبه‌ی شاخص کیفیت خاک به کار گرفته شدند. ویژگی‌های خاک درصورتی که دارای ارزش ویژه‌ی[1]بزرگ‌تر از یک بودند به‌عنوان دسته حداقل داده‌ها انتخاب گردیدند. مرحله تعیین مجموعه حداقل داده‌ها به روش تجزیه مولفه‌های اصلی دو فازه و مرحله تعریف توابع امتیازدهی استاندارد با استفاده از توابع عضویت فازی غیرخطی در نرم‌افزار متلب و مرحله وزن‌دهی به متغیرهای منتخب در تعیین شاخص تجمعی کیفیت خاک، با استفاده از روش اشتراک واریانس مبتنی بر همبستگی استفاده گردید. در این بخش ابتدا بین ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک یک همبستگی پیرسون (از نوع همبستگی درون مولفه‌ای) برقرار شد و سپس تجزیه مولفه‌های اصلی صورت گرفت. در مرحله دوم مستقیماً ویژگی‌های خاک وارد تجزیه مولفه‌های اصلی شدند (Vasu *et al*., 2016).

وزن‌دهی و امتیازدهی ویژگی‌های خاک یا مشخصه‌های کیفیت خاک

مشخصه‌های کیفیت خاک در توابع امتیازی فازی بین ۰ تا ۱ استانداردسازی شده و با استفاده از نرم‌افزار اکسل و متلب توابع ریاضی موجود (Qi *et al*., 2009) امتیازدهی شدند و در نهایت شاخص‌های کیفیت خاک بدست آمدند. سهم هر ویژگی[2]به وسیله روش تجزیه عوامل[3]جهت وزن‌دهی ویژگی‌های مؤثر در دسته داده‌های حداقل محاسبه شد (Chen *et al*., 2003). نسبت مقدار سهم هر ویژگی به مجموع مقادیر سهم کل ویژگی‌ها به‌عنوان وزن هر ویژگی در نظرگرفته شد (Qi *et al*., 2009).

محاسبه‌ی شاخص کیفیت خاک تجمعی

سهم هر ویژگی به وسیله‌ی روش تجزیه مولفه اصلی (PCA) محاسبه شد. انجام تجزیه عوامل و محاسبه‌ی سهم ویژگی‌ها نیز به وسیله‌ی نرم‌افزار آماری SPSS انجام گردید (Shukla *et al*., 2006). سپس بعد از وزن‌دهی هر ویژگی، شاخص کیفیت در این تحقیق به روش شاخص تجمعی کیفیت خاک (IQI) و با استفاده از رابطه (۲) محاسبه گردید (Qi *et al*., 2009).

$$IQI = \sum_{i=1}^{n} W_i N_i \qquad \text{(رابطه ۲)}$$

در این معادله، W_i وزن هر ویژگی، N_i نمره یا امتیاز تعلق یافته به هر ویژگی و n تعداد ویژگی‌های خاک می‌باشد.

توابع امتیازدهی کیفیت خاک

برای محاسبه شاخص کیفیت خاک از توابع عضویت فازی استفاده شد (Qi *et al*., 2009) به این ترتیب که محدوده مقادیر هر ویژگی خاک با این توابع استاندارد نمره‌دهی شدند (Karlen & Stott, 1994; Andrews *et al*., 2002). امتیازدهی از طریق برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزار متلب ۲۰۱۵ انجام پذیرفت. جدول (۱) نوع و شکل تابع، حدود بالا، پایین و بهینه برای تمام ویژگی‌های اندازه-گیری شده خاک گردآوری شده است. که برخی از این ویژگی‌ها دارای حدهای دو مقداره و یا سه مقداره می‌باشند.

ارزیابی شاخص کیفیت خاک

شاخص‌های کیفیت خاک مورد بررسی در این مطالعه مرکب بوده و شامل تمامی پارامترها می‌باشد و پارامترهایی با وزن‌های بالاتر، به‌ترتیب اهمیت بیشتری را بر روی شاخص کیفیت خاک دارند.

عموماً کیفیت خاک در لایه بالایی خاک (۲۰-۰ سانتی‌متر) بهتر می‌باشد. کیفیت خاک بر اساس روش وزن‌دهی به دست می‌آید. در بررسی آن‌ها کیفیت خاک در سایت‌های دست نخورده به‌طور قابل توجهی پایین‌تر از سایت‌های تخریب یافته بود. (Qi *et al*., 2009) برای گروه‌بندی یا درجه‌بندی شاخص کیفیت خاک چهار درجه را در قالب جدول (۲) تعیین کردند که در این درجه-بندی، خاک‌های درجه I مناسب برای رشد گیاه، درجه‌ی II مناسب برای رشد گیاه لیکن با مقداری محدودیت، درجه‌ی III دارای محدودیت بیشتری نسبت به درجه II و درجه IV دارای محدودیت زیاد برای رشد گیاه است.

نتایج و بحث

خلاصه نتایج آنالیز آزمایشگاهی خاک

خلاصه آماری تجزیه آزمایشگاهی خاک و پارامترهای اندازه‌گیری شده در دو عمق ۰-۲۰ و ۲۰-۴۰ سانتی‌متر که شامل درصد کربن آلی، عناصر میکرو (آهن، روی، مس، منگنز)، NPK، بافت خاک (درصد رس و سیلت و شن)، pH، ECe، جرم مخصوص ظاهری می‌باشد در جداول (۳) و (۴) آمده است.

1. Eigenvalue
2. COM
3. FA

www.SID.ir

Archive of SID

تجزیه‌ی مولفه‌های اصلی

روش تجزیه مولفه‌های اصلی عبارت است از کاهش تعداد متغیرها و یافتن ساختار ارتباطی بین متغیرها که درحقیقت همان دسته‌بندی متغیرها است. از این روش برای انتخاب دسته داده‌های حداقل از میان ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی مورد مطالعه استفاده شد. تجزیه مولفه اصلی برای دو عمق (۲۰-۰)، (۴۰-۲۰) سانتی‌متر انجام گردید. نتایج تجزیه مولفه‌های اصلی در عمق (۲۰-۰) سانتی‌متر نشان می‌دهد که در مرحله‌ی اول تحلیل مولفه‌های اصلی (جدول ۵)، شش مولفه دارای ارزش ویژه‌ی بیشتر از یک می‌باشند.

جدول ۱ – نوع تابع، شکل تابع، حدود بالا و پایین و بهینه آن برای ویژگی‌های خاک

نام متغیر	نوع تابع	شکل تابع	حد پایین	حد بالا	حد پایین	حد بالا	حد بهینه*
			مطالعه حاضر		مطالعه ۱۳۷۶		
OC	بیشتر، بهتر	S-shaped	۰/۲۶	۱/۰۵	۰/۵۱	۱/۰۹	–
Total N	بیشتر، بهتر	S-shaped	۰/۰۷	۰/۱۱	–	–	–
P	بیشتر، بهتر	S-shaped	۴/۴۹	۴۶/۴۰	۲/۴۰	۱۴	–
K	بیشتر، بهتر	S-shaped	۷۹/۶۰	۷۲۴/۵۸	–	–	–
Zn	بیشتر، بهتر	S-shaped	۰/۴۱	۷/۴۰	۰/۶۴	۲/۱۳	–
Mn	بیشتر، بهتر	S-shaped	۳/۴۶	۴۷/۵۵	۷/۴۶	۱۷/۰۷	–
Fe	بیشتر، بهتر	S-shaped	۲/۱۸	۸/۹۸	۵/۶۳	۱۵/۰۱	–
EC	کمتر، بهتر	Z-shaped	۰/۵۶	۵/۷۲	۰/۵۹	۱/۶۵	–
BD	کمتر، بهتر	Z-shaped	۱/۱۸	۱/۵۶	۱/۳۵	۱/۴۸	–
pH	اپتیموم	Symmetric Gaussian	–	–	–	–	۷/۵
Sand	اپتیموم	Symmetric Gaussian	–	–	–	–	۳۷
Silt	اپتیموم	Symmetric Gaussian	–	–	–	–	۳۵
Clay	اپتیموم	Symmetric Gaussian	–	–	–	–	۲۴
Pb	کمتر، بهتر	Z-shaped			۱/۵۷	۲/۹۶	–
CCE	کمتر، بهتر	Z-shaped	۶/۳۳	۱۱/۱۰	۷/۳۰	۹/۴۰	–
PWP	بیشتر، بهتر	S-shaped	–	–	۴/۷۵	۱۵/۵۰	–
SP	بیشتر، بهتر	S-shaped	–	–	۲۴	۴۵/۴۰	–
Gravel	کمتر، بهتر	Z-shaped	–	–	۰	۶۰	–

* حدود اپتیمم، از طریق بهینه‌سازی در نرم‌افزار متلب و به شیوه زیر محاسبه شد: حد اپتیمم هر پارامتر، از طریق جایگذاری مقادیر در تابع امتیازدهی مربوطه، تبدیل ویژگی‌های خاک به شاخص تجمعی کیفیت خاک و انجام رگرسیون بین شاخص کیفیت خاک و عملکرد محصول به دست آمد. بهترین معادله رگرسیونی که بالاترین دقت را تولید نمود، برای بهینه‌سازی به روس معکوس در نرم‌افزار متلب استفاده شد.

جدول ۲- دامنه امتیازات برای چهار درجه شاخص‌های کیفیت خاک در اراضی کشاورزی

درجه	IQITDS	IQIMDS۱	NQITDS۲	NQIMDS
I	> ۰/۷۶	> ۰/۷۸	> ۰/۵۵	> ۰/۰۸
II	۰/۷۶ – ۰/۶۶	۰/۷۸ – ۰/۶۸	۰/۵۵ – ۰/۴۵	۰/۸۰- ۰/۷۰
III	۰/۶۶ – ۰/۵۶	۰/۶۸ – ۰/۵۸	۰/۴۵ – ۰/۳۵	۰/۷۰ – ۰/۶۰
IV	< ۰/۵۶	< ۰/۵۸	< ۰/۳۵	< ۰/۶۰

1 Total Data Set

2 Minimum Data Set

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- خلاصه آماری ویژگی‌های خاک در عمق (۰-۲۰) سانتی‌متر

متغیر	واحد	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار
Sand	(%)	۳۶/۰۲	۲۸/۲۰	۴۵/۸۰	۴/۳۰
Silt	(%)	۴۵/۲۹	۳۸/۲۰	۵۲/۳۲	۳/۹۶
Clay	(%)	۱۸/۶۸	۹/۶۸	۲۶/۰۰	۴/۲۸
K (قابل جذب)	ppm	۱۷۹/۷۶	۱۲۷/۹۹	۲۹۱/۵۲	۴۳/۸۵
Zn	ppm	۲/۵۰	۰/۳۴	۶/۹۶	۱/۶۹
Cu	ppm	۱/۷۷	۱/۰۲	۲/۵۵	۰/۳۶
Mn	ppm	۲۳/۹۵	۲/۴۵	۴۴/۶۷	۷/۸۳
Fe	ppm	۵/۴۹	۲/۱۸	۱۱/۷۰	۲/۳۷
Resp	mg/g	۰/۰۴	۰/۰۰۵	۰/۱۰	۰/۰۲
P (قابل جذب)	ppm	۲۴/۶۵	۴/۷۱	۶۷/۹۱	۱۲/۰۵
pH	-	۸/۱۸	۷/۸۸	۸/۴۳	۰/۱۶
ECe	dS/m	۱/۶۳	۰/۷۵	۳/۶۹	۰/۸۲
BD	g/cm^3	۱/۳۰	۱/۱۰	۱/۵۴	۰/۱۲
N	(%)	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۱۱	۰/۰۱
OC	(%)	۰/۷۸	۰/۶	۱/۰۹	۰/۱۶

جدول ۴- خلاصه آماری ویژگی‌های خاک در عمق (۲۰-۴۰) سانتی‌متر

متغیر	واحد	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار
Sand	(%)	۳۷/۳۳	۲۵/۰۰	۶۳/۰۰	۸/۰۱
Silt	(%)	۴۳/۲۳	۲۲/۰۰	۵۲/۰۰	۶/۷۱
Clay	(%)	۱۹/۴۳	۱۴/۰۰	۳۴/۰۰	۴/۶۴
K (قابل جذب)	ppm	۱۵۶/۲۱	۷۹/۶۰	۷۲۴/۵۸	۳۲/۱۲۹
Zn	ppm	۲/۳۱	۰/۴۱	۷/۴۰	۲/۰۸
Cu	ppm	۱/۶۳	۰/۸۹	۳/۰۶	۰/۵۶
Mn	ppm	۲۰/۰۲	۳/۴۵	۴۷/۵۵	۱۲/۲۲
Fe	ppm	۵/۲۹	۲,۱۸	۸/۹۸	۲/۳۸
Resp	mg/g	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۸	۰/۰۲
P (قابل جذب)	ppm	۲۰/۱۸	۴/۴۹	۴۶/۴۰	۱۰/۶۲
pH	–	۷/۹۸	۷/۳۳	۸/۴۲	۰/۳۰
ECe	dS/m	۲/۲۴	۰/۵۵	۵/۷۱	۱/۳۶
BD	g/cm^3	۱/۳۷	۱/۱۷	۱/۵۵	۱/۱۲
N	(%)	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۹	۰/۰۱
OC	(%)	۰/۵۸	۰/۲۶	۱/۰۵	۰/۲۰

مولفه‌ی اول با بیشترین ارزش ویژه ۱۹/۶۸ درصد، مولفه‌ی دوم ۱۶/۶۵ درصد، مولفه‌ی سوم ۱۵/۱۶ درصد، مولفه‌ی چهارم ۱۱/۴۷ درصد، مولفه‌ی پنجم ۹/۰۷ درصد، مولفه‌ی ششم ۸/۲۶ درصد که در مجموع ۸۰/۲۹ درصد از واریانس کل را توجیه می‌کنند. ابتدا تعداد پارامترها ۱۵ مورد بود و تعداد مولفه‌های اصلی نیز ۶ مورد بود که بعد از مرحله‌ی دوم تحلیل مولفه اصلی و همبستگی بین پارامترها تعداد متغیرها از ۱۵ به ۹، و تعداد مولفه‌های اصلی از ۶ به ۴ تقلیل یافت. نتایج تجزیه‌ی نمایه‌ها در دومین مرحله‌ی تحلیل مولفه‌های اصلی ۴ مولفه دارای ارزش ویژه‌ی بیش‌تر از یک می‌باشند. مولفه‌ی اول با بیش‌ترین ارزش ویژه ۲۴/۶۸ درصد، مولفه‌ی دوم ۱۹/۵۷ درصد، مولفه‌ی سوم ۱۴/۳۸ درصد، مولفه‌ی چهارم ۱۳/۴۰ درصد، و در مجموع ۷۰/۰۳ درصد از واریانس کل داده‌ها را توجیه می‌کنند. با همبستگی پیرسون درون مولفه‌ای، پارامترهایی که دارای بیش‌ترین ارزش ویژه بودند؛ درصد شن، پتاسیم، منگنز، درصد رس، فسفر، روی، کربن آلی، جرم مخصوص ظاهری و RESP به‌عنوان دسته‌ی حداقل داده‌ها در عمق اول (۰-۲۰) سانتی‌متر انتخاب شدند (جدول ۶).

نتایج تجزیه مولفه‌های اصلی در عمق (۲۰-۴۰) سانتی‌متر نشان می‌دهد که در مرحله‌ی اول تحلیل مولفه‌های اصلی، تعداد متغیرها از ۱۵ تا به ۱۱ مورد تقلیل یافت و تعداد مولفه‌های اصلی در هر دو مرحله ۵ مورد می‌باشد.

در ابتدا که تعداد متغیرها ۱۵ مورد و تعداد مولفه‌ها ۵ مورد بود، ۷۴/۷۴ درصد از واریانس کل داده‌ها توجیه شد (جدول ۷) و در مرحله دوم که تعداد متغیرها به ۱۱ مورد کاهش یافت، ۷۵/۱۵

www.SID.ir

Archive of SID

درصد از واریانس کل داده‌ها توجیه شدند. طبق جدول (۸) متغیرهای آهن، کربن آلی، درصد رس، درصد سیلت، فسفر، پتاسیم، RESP (تنفس)، منگنز، روی، pH، جرم مخصوص ظاهری و قابلیت هدایت الکتریکی که ارزش ویژه‌ی آن‌ها بیش‌تر از یک بود پس از همبستگی پیرسون درون مولفه‌ای به عنوان مجموعه‌ی حداقل داده‌ها انتخاب شدند.

جدول ۵- انتخاب مجموعه دسته حداقل داده‌های عمق (۲۰-۰) سانتی‌متر خاک (مرحله اول تحلیل مولفه‌های اصلی)

متغیر	واحد	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Sand	%	۰/۱۸	-۰/۸۲	۰/۰۷	۰/۳۱	-۰/۰۴	۰/۰۱
Silt	%	-۰/۳۳	۰/۶۳	-۰/۴۱	۰/۳۳	-۰/۱۹	-۰/۲۷
Clay	%	۰/۴۸	۰/۲۴	۰/۳۰	-۰/۶۲	۰/۲۱	۰/۲۳
K	ppm	۰/۵۵	۰/۱۹	-۰/۲۱	-۰/۰۵	-۰/۱۴	-۰/۵۸
Zn	ppm	-۰/۴۶	-۰/۲۱	-۰/۴۲	۰/۱۲	۰/۵۸	۰/۰۴
Cu	ppm	۰/۳۰	۰/۰۹	۰/۶۸	۰/۳۳	۰/۲۷	-۰/۳۵
Mn	ppm	-۰/۴۶	-۰/۰۳	۰/۷۶	-۰/۱۸	۰/۱۴	-۰/۲۴
Fe	ppm	-۰/۲۶	۰/۱۲	-۰/۲۹	۰/۴۳	۰/۴۹	۰/۳۸
Respiration	mg/g	-۰/۱۵	-۰/۴۱	-۰/۶۲	-۰/۲۶	-۰/۴۱	-۰/۰۶
P	ppm	-۰/۳۴	۰/۵۳	۰/۱۶	-۰/۰۳	-۰/۳۷	۰/۲۸
pH		-۰/۳۴	-۰/۲۱	۰/۵۰	۰/۲۷	۰/۴۸	۰/۲۶
ECe	dS/m	-۰/۰۶	۰/۷۰	-۰/۱۲	-۰/۳۰	۰/۱۵	-۰/۱۰
BD	g/cm^3	۰/۰۲	۰/۵۳	-۰/۰۸	۰/۵۱	۰/۱۳	۰/۳۹
N	%	-۰/۸۵	-۰/۰۶	-۰/۰۲	-۰/۳۷	۰/۳۰	۰,۳۰
OC	%	۰/۸۵	-۰/۰۵	-۰/۰۱	-۰/۳۹	۰/۰۳	۰/۲۲
مقدار ویژه		۲/۹۵	۲/۵۰	۲/۲۷	۱/۷۲	۱/۳۶	۱/۲۴
درصد واریانس		۱۹/۶۸	۱۶/۶۵	۱۵/۱۶	۱۱/۴۷	۹/۰۷	۸/۲۶
واریانس تجمعی		۱۹/۶۸	۳۶/۳۳	۵۱/۴۹	۶۲/۹۶	۷۲/۰۳	۸۰/۳۰

جدول ۶- مرحله دوم تحلیل مولفه‌های اصلی در عمق (۲۰-۰) سانتی‌متر

متغیر	واحد	PC1	PC2	PC3	PC4
Sand	%	۰/۶۲	-۰/۳۴	۰/۰۹	-۰/۶۰
Clay	%	-۰/۶۹	۰/۰۳	-۰/۵۴	۰/۲۴
K	ppm	۰/۴۶	۰/۵۱	۰/۰۳	۰/۳۹
Zn	ppm	۰/۶۲	۰/۰۵	۰/۱۴	۰/۰۱
Mn	ppm	۰/۰۸	۰/۶۱	-۰/۵۱	-۰/۵۰
Respiration	mg/g	۰/۵۷	-۰/۲۶	۰/۰۰	۰/۶۰
P	ppm	-۰/۱۶	۰/۶۹	۰/۳۷	۰/۰۵
BD	g/cm^3	۰/۳۸	-۰/۳۴	-۰/۰۷۳	۰/۰۸
OC	%	۰/۵۲	۰/۵۹	-۰/۲۳	۰/۰۷
مقدار ویژه		۲/۲۲	۱/۷۶	۱/۲۹	۱/۲۱
درصد واریانس		۲۴/۶۸	۱۹/۵۷	۱۴/۳۸	۱۳/۴۰
واریانس تجمعی		۲۴/۶۸	۴۴/۲۵	۵۸/۶۳	۷۲/۰۲

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۷- انتخاب مجموعه دسته حداقل داده‌های عمق (۰-۲۰) سانتی‌متر (مرحله اول تحلیل مولفه‌های اصلی)

متغیرها	واحد	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Sand	%	-۰/۳۵	-۰/۴۸	۰/۷۶	-۰/۰۳	۰/۰۵
Silt	%	۰/۱۸	۰/۲۰	۰/۷۷	-۰/۰۵	-۰/۰۴۸
Clay	%	۰/۳۴	۰/۵۵	۰/۲۱	۰/۱۴	۰/۶۰
K	ppm	-۰/۲۵	-۰/۴۹	۰/۴۳	۰/۱۴	۰/۴۸
Zn	ppm	۰/۰۱	۰/۵۹	۰/۵۹	۰/۱۶	-۰/۱۸
Cu	ppm	-۰/۵۱	۰/۵۲	-۰/۱۵	۰/۴۹	-۰/۲۱
Mn	ppm	۰/۳۴	۰/۶۸	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۱
Fe	ppm	۰/۲۳	۰/۲۷	-۰/۰۹	۰/۶۸	-۰/۵۱
Resp	mg/g	۰/۶۳	۰/۱۶	-۰/۴۰	-۰/۳۸	-۰/۲۶
P	ppm	۰/۵۸	۰/۳۱	-۰/۲۶	-۰/۲۹	-۰/۱۶
pH	_	-۰/۵۶	۰/۲۱	۰/۱۵	-۰/۴۹	-۰/۰۸
ECe	dS/m	۰/۱۴	-۰/۵۷	-۰/۲۲	۰/۴۰	-۰/۳۳
BD	g/cm3	۰/۴۵	-۰/۱۴	۰/۱۸	-۰/۳۱	-۰/۴۸
N	%	-۰/۷۹	-۰/۰۱	۰/۲۱	-۰/۳۷	-۰/۱۷
OC	%	-۰/۸۵	-۰/۱۰	-۰/۱۰	-۰/۳۳	-۰/۱۳
مقدار ویژه		۳/۱۹	۲/۴۸	۲/۱۶	۱/۷۵	۱/۶۳
درصد واریانس		۲۱/۲۹	۱۶/۵۱	۱۴/۳۹	۱۱/۶۹	۱۰/۸۹
واریانس تجمعی		۲۱/۲۹	۳۷/۸۰	۵۲/۱۹	۶۳/۸۷	۷۴/۷۷

جدول ۸- مرحله دوم تحلیل مولفه‌های اصلی در عمق (۲۰-۴۰) سانتی‌متر

متغیر	واحد	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Silt	%	-۰/۰۱	-۰/۳۵	۰/۱۶	۰/۷۲	-۰/۲۸
Clay	%	-۰/۳۸	۰/۳۶	۰/۷۰	۰/۰۸	۰/۳۳
K	ppm	۰/۷۰	۰/۰۳	۰/۴۷	-۰/۱۳	۰/۰۵
Zn	ppm	۰/۶۱	-۰/۵۱	۰/۲۰	۰/۳۲	۰/۰۰
Mn	ppm	-۰/۱۹	۰/۶۴	-۰/۰۷	۰/۴۹	-۰/۰۵
Fe	ppm	۰/۰۹	۰/۱۵	-۰/۵۶	۰/۵۹	۰/۴۶
Respiration	mg/g	-۰/۷۷	-۰/۳۵	-۰/۱۱	-۰/۱۴	-۰/۱۹
P	ppm	-۰/۶۴	-۰/۰۹	-۰/۱۳	-۰/۰۷	۰/۱۷
ECe	dS/m	۰/۲۷	-۰/۵۶	-۰/۳۴	-۰/۲۳	۰/۵۲
BD	g/cm3	-۰/۲۷	-۰/۶۹	۰/۰۷	۰/۱۸	-۰/۲۵
OC	%	۰/۴۲	۰/۳۸	۰/۴۸	-۰/۱۸	-۰/۵۰
مقدار ویژه		۲/۳۸	۱/۹۹	۱/۴۷	۱/۳۸	۱/۰۵
درصد واریانس		۲۱/۶۰	۱۸/۱۲	۱۳/۳۷	۱۲/۵۷	۹/۵۲
واریانس تجمعی		۲۱/۶۰	۳۹/۷۲	۵۳/۰۹	۶۵/۶۶	۷۵/۱۸

www.SID.ir

Archive of SID

وزن‌دهی متغیرها

سپس توسط توابع نمره‌دهی، نمایه‌ها امتیازدهی و استاندارد شد و با استفاده از روش تجزیه به عامل برای محاسبه‌ی ضرایب طبق جدول (۹) برای عمق اول و جدول (۱۰) برای عمق دوم، وزن-دهی‌ها انجام شد.

ارزیابی شاخص کیفیت خاک

جدول (۱۱) خلاصه آماری داده‌های شاخص کیفیت خاک محاسبه شده در دو عمق اول و دوم تحقیق گذشته و تحقیق حاضر را نشان می‌دهد که بر اساس آن دست خوردگی خاک تحتانی کم‌تر بوده و هم‌چنین همبستگی بین پارامترها هم در قدیم و هم در زمان حاضر در عمق دوم بهتر از عمق اول است تاثیر ریشه‌دوانی در آن سبب شده کیفیت خاک در خاک سطحی کمتر شود.

شکل (۳) و (۴) مقایسه تطبیقی شاخص‌های کیفیت خاک در دو عمق اول و دوم در تحقیق گذشته و تحقیق حاضر در نمونه‌های پروفیلی یکسان نشان می‌دهد. در بیشتر نقاط الگو افزایشی و کاهشی در عمق‌های اول و دوم تحقیق گذشته و تحقیق حاضر با هم تطبیق داشتند. معمولاً در بیش‌تر نقاط روند کاهشی و افزایشی کیفیت خاک در دو عمق تحقیق گذشته و حاضر مشابه بوده و در برخی نقاط این روند تقریباً ثابت بود.

جدول ۹- واریانس مشترک و وزن متغیرها بعد از تحلیل مولفه‌های اصلی عمق اول (۲۰ – ۰) سانتی‌متر

ترتیب اهمیت	متغیر	واحد	واریانس مشترک تخمینی	مقادیر ضریب وزنی برای هر کدام از متغیرها
۱	BD	g/cm^3	۰/۷۹	۰/۱۷
۲	Respiration	mg/g	۰/۷۴	۰/۱۶
۳	OC	%	۰/۶۲	۰/۱۳
۴	P	ppm	۰/۵۰	۰/۱۱
۵	Clay	%	۰/۴۷	۰/۱۰
۶	K	ppm	۰/۳۹	۰/۱۰
۷	Sand	%	۰/۳۹	۰/۰۸
۸	Zn	ppm	۰/۳۸	۰/۰۸
۹	Mn	ppm	۰/۳۸	۰/۰۸

جدول ۱۰- واریانس مشترک و وزن متغیرها بعد از تحلیل مولفه‌های اصلی عمق دوم (۴۰ – ۲۰) سانتی‌متر

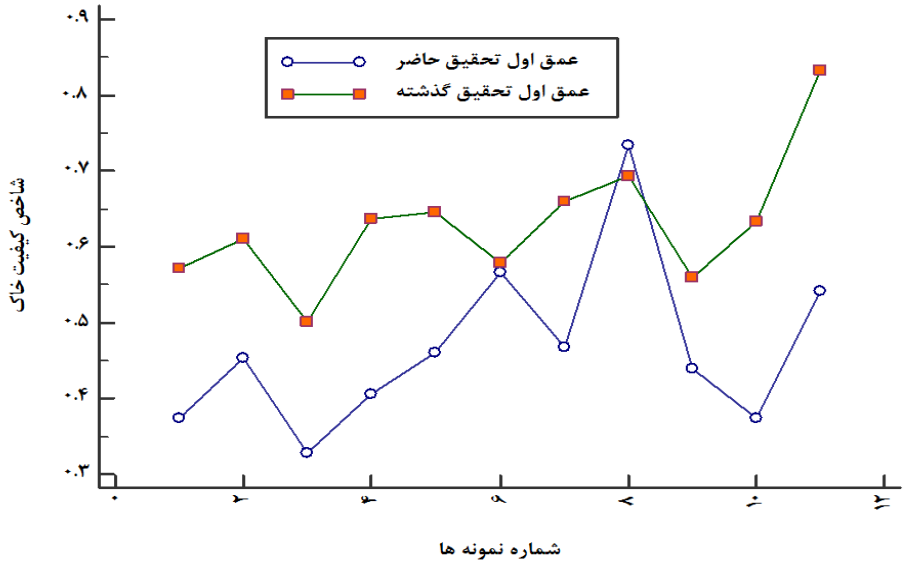
ترتیب اهمیت	متغیر	واحد	واریانس مشترک تخمینی	مقادیر ضریب وزنی برای هر کدام از متغیرها
۱	OC	ppm	۰/۸۳	۰/۱۳
۲	Clay	%	۰/۷۶	۰/۱۲
۳	Fe	ppm	۰/۶۹	۰/۱۱
۴	Silt	%	۰/۶۶	۰/۱۱
۵	Resp	mg/g	۰/۶۶	۰/۱۰
۶	BD	g/cm^3	۰/۵۵	۰/۰۹
۷	K	ppm	۰/۴۹	۰/۰۸
۸	Mn	ppm	۰/۴۴	۰/۰۷
۹	P	ppm	۰/۴۱	۰/۰۷
۱۰	ECe	dS/m	۰/۳۸	۰/۰۶
۱۱	Zn	ppm	۰/۳۷	۰/۰۶

www.SID.ir

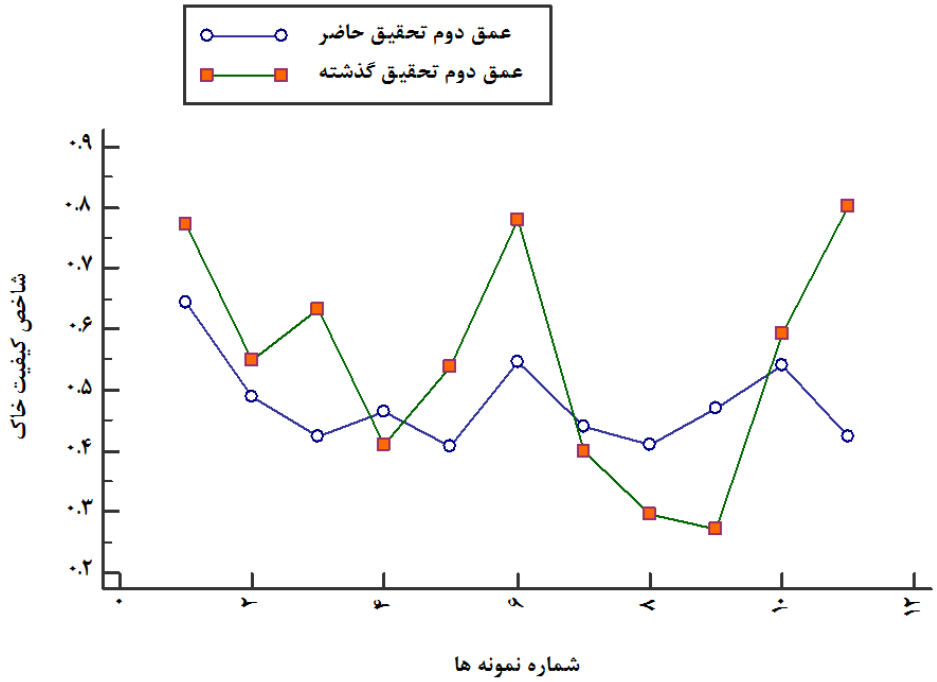
Archive of SID

جدول ۱۱- خلاصه آماری داده‌های شاخص کیفیت خاک

	عمق اول تحقیق قبلی	عمق دوم تحقیق قبلی	عمق اول تحقیق حاضر	عمق دوم تحقیق حاضر
حداقل	۰/۵۰۱	۰/۲۷۲	۰/۳۲۰	۰/۴۰۷
حداکثر	۰/۸۳۲	۰/۸۰۱	۰/۷۷۳	۰/۶۹۷
میانگین	۰/۶۲۹	۰/۵۴۹	۰/۴۸۹	۰/۵۲۳
انحراف معیار	۰/۰۸۶	۰/۱۸۹	۰/۱۲۰	۰/۰۸۴
ضریب تغییر	۱۳/۶۷	۳۴/۵۱	۲۴/۵۵	۱۶/۱۵



شکل۳- الگو تطبیقی شاخص‌های کیفیت خاک در عمق اول در تحقیقات گذشته و حاضر در نمونه‌های پروفیلی یکسان



شکل ۴- الگو تطبیقی شاخص‌های کیفیت خاک در عمق دوم در تحقیقات گذشته و حاضر در نمونه‌های پروفیلی یکسان

www.SID.ir

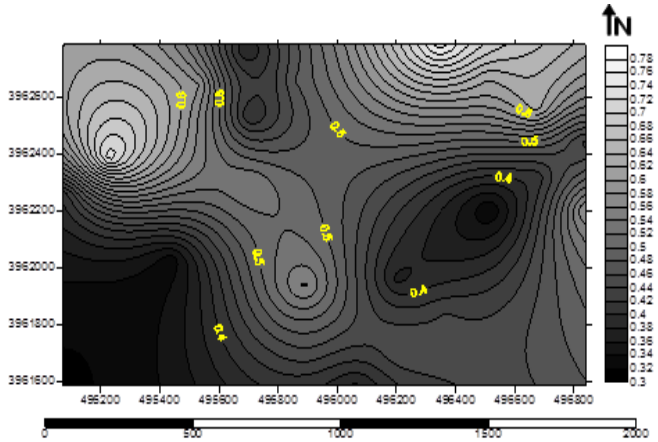
Archive of SID

همچنین بر اساس جدول (۲) درجه‌بندی کیفیت خاک منطقه مورد مطالعه به صورت جدول (۱۲) خواهد بود. در عمق اول تحقیق گذشته از ۱۱ شاخص کیفیت خاک محاسبه شده یک مورد در درجه‌بندی کلاس کیفیت خاک، دارای کلاس کیفیت درجه I می‌باشد که شامل ۹/۰۹٪ از کل نمونه‌ها را شامل می‌شود، یک نمونه درجه II (۹/۰۹٪)، ۵ مورد دارای درجه III (۴۵/۴۵٪) و چهار نمونه دارای کلاس کیفیت خاک درجه IV که شامل ۳۶/۳۶٪ از کل نمونه‌ها می‌باشد. در عمق اول تحقیق حاضر از ۲۴ شاخص کیفیت خاک محاسبه شده هیچ کدام از نمونه‌ها در کلاس I قرار ندارد، ۲ نمونه در کلاس کیفیت خاک درجه II (۸/۳۳٪)، ۴ نمونه در کلاس درجه III (۱۶/۶۶٪) و ۱۸ نمونه در کلاس درجه IV (۷۵٪) قرار دارند. در عمق دوم تحقیق گذشته نیز دو نمونه دارای کلاس کیفیت درجه I (۱۸/۱۸٪)، یک نمونه در کلاس کیفیت درجه II (۹/۰۹٪)، دو نمونه دارای درجه کلاس III (۱۸/۱۸٪) و ۶ نمونه دارای کلاس کیفیت خاک درجه IV که شامل ۵۴/۵۴٪ از کل نمونه‌ها را شامل می‌شود، می‌باشد و در عمق دوم تحقیق حاضر از ۲۳ نمونه‌ای که دارای شاخص کیفیت خاک می‌باشند، نمونه‌ای در کلاس کیفیت خاک درجه I قرار ندارد. از این ۲۳ نمونه، ۱ نمونه در کلاس کیفیت خاک درجه II (۴/۳۴٪)، ۵ نمونه دارای درجه III (۲۱/۷۳٪) و ۱۷ نمونه در کلاس کیفیت خاک درجه IV (۷۳/۹۱٪) قراردارند.

جدول ۱۲- درجه‌بندی تطبیقی کلاس کیفیت خاک نقاط مشترک تحقیق گذشته و حاضر

شماره نمونه	کلاس کیفیت خاک در عمق اول تحقیق گذشته	کلاس کیفیت خاک در عمق دوم تحقیق گذشته	کلاس کیفیت خاک در عمق اول تحقیق حاضر	کلاس کیفیت خاک در عمق دوم تحقیق حاضر
۱	IV	II	IV	III
۲	III	IV	IV	IV
۳	IV	III	IV	IV
۴	III	IV	IV	IV
۵	III	IV	IV	IV
۶	IV	I	IV	IV
۷	III	IV	IV	IV
۸	II	IV	II	IV
۹	IV	IV	IV	IV
۱۰	III	III	IV	IV
۱۱	I	I	IV	IV

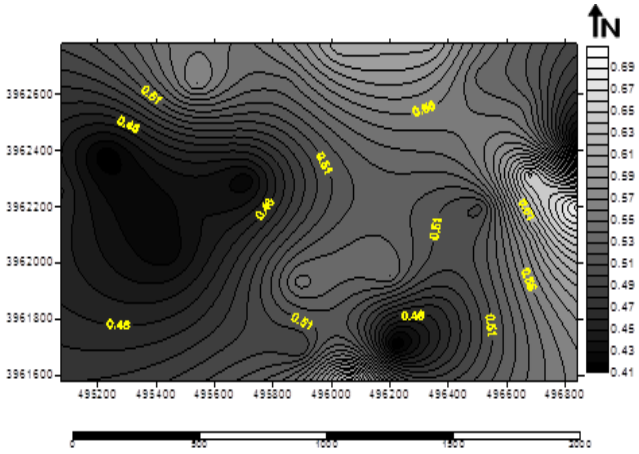
شکل‌های (۵) و (۶) نقشه تغییرات مکانی شاخص کیفیت خاک را در دو عمق ۰-۲۰ و ۲۰-۴۰ نشان می‌دهند. قسمت‌های تیره رنگ نقشه نشان دهنده‌ی شاخص کیفیت خاک پایین‌تر می‌باشند. هرچه به سمت رنگ روشن می‌رود، شاخص کیفیت خاک بالاتر می‌رود. در عمق اول قسمت‌های مرکزی به سمت شمال و شمال غربی دارای شاخص کیفیت بالاتری هستند و در عمق دوم مناطق شرقی نقشه دارای شاخص کیفیت خاک مطلوب‌تری هستند.



شکل ۵- نقشه تغییرات مکانی شاخص کیفیت خاک در عمق اول در زمان تحقیق حاضر

www.SID.ir

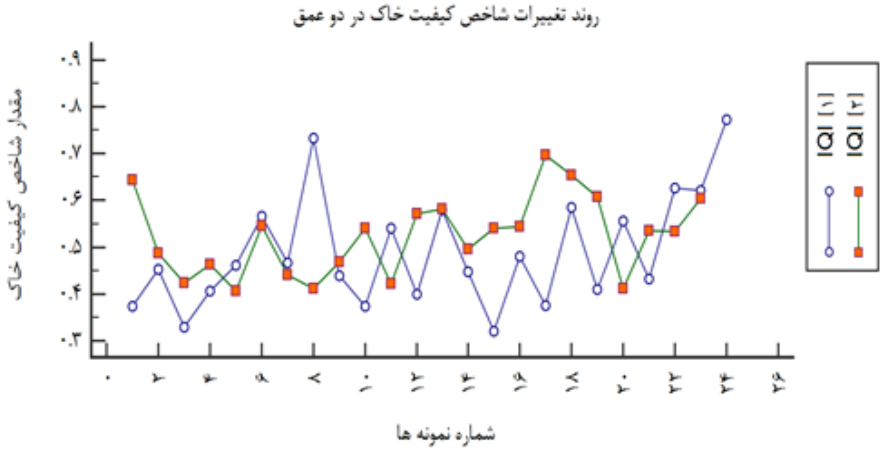
Archive of SID



شکل ۶- نقشه تغییرات مکانی شاخص کیفیت خاک در عمق دوم در زمان تحقیق حاضر

شاخص‌های کیفیت خاک مورد بررسی در این مطالعه در تحقیق حاضر مرکب بوده و شامل تمامی پارامترها می‌باشد و پارامترهایی با وزن‌های بالاتر به ترتیب اهمیت بیش‌تری را بر شاخص کیفیت خاک دارند. نتایج نشان می‌دهد که اختلاف شاخص کیفیت خاک در دو عمق اول و دوم خاک در تحقیق گذشته بیش‌تر است (شکل ۷). در تحقیق حاضر تخریب تا عمق‌های پایین نفوذ کرده و دو عمق دچار کاهش کیفیت شده‌اند. بنابراین در تحقیق حاضر کیفیت خاک در هر دو عمق کاهش یافته و تغییرات شاخص کیفیت خاک نزدیک به هم و در برخی نقاط شاخص کیفیت خاک در دو عمق بر هم منطبق بودند. در تحقیق گذشته (Alipour, 2000) حداقل شاخص کیفیت خاک در عمق اول ۰/۵۱ و حداکثر آن ۰/۸۳ بوده و در عمق دوم حداقل و حداکثر شاخص کیفیت خاک ۰/۲۷ تا ۰/۸ است و کیفیت خاک در عمق اول و دوم با هم اختلاف زیادی دارند در حالی که این تفاوت در تحقیق حاضر کم‌تر است، به طوری که در بعضی از نمونه‌ها در تحقیق حاضر مقدار عددی شاخص کیفیت خاک در دو عمق به هم نزدیک و یا منطبق بر هم است (شکل۸).

شکل ۷ - الگو تغییرات شاخص کیفیت خاک در دو عمق اول و دوم خاک در زمان تحقیق گذشته



شکل۸- الگو تغییرات شاخص کیفیت خاک در دو عمق اول و دوم خاک در زمان تحقیق حاضر

www.SID.ir

Archive of SID

تحلیل اجزای اصلی PCA و استفاده از روش کارشناسی EO برای انتخاب حداقل مجموعه داده خاک (MDS) استفاده شد. هدف از PCA کاهش ابعاد داده‌ها برای تعیین داده‌های حداقل می‌باشد. روش‌های شاخص کیفیت خاک وزن‌دار و شاخص افزایشی برای تخمین SQI مقایسه شدند. SQI به دست آمده با روش‌های EO و PCA نتایج متفاوتی را تولید کردند. به طور کلی شاخص وزن دار SQI همبستگی بهتری با عملکرد گیاه نسبت به شاخص افزایشی SQI برای هر دو روش PCA و EO نشان داد. برخی محققان از روش PCA برای توصیف تغییرپذیری ویژگی‌های کیفیت خاک استفاده نموده‌اند. Vasu *et al*., (2016) با مطالعه‌ی خاک فلات دکان در هندوستان برای تعیین کیفیت خاک به تحلیل مولفه‌های اصلی(PCA) و استفاده از روش‌های کارشناسی (EO) برای انتخاب حداقل مجموع داده‌های خاک (MDS) پرداختند. ایشان بر این باور بودند که بین داده‌های یک خاک نیز امکان همبستگی داخلی وجود دارد. بنابراین با انجام دو مرحله تحلیل مولفه‌های اصلی و همبستگی در روش PCA مجموعه‌ی حداقل داده‌ها را بدست آورده و شاخص کیفیت خاک را محاسبه کردند و استدلال کردند که استفاده از مجموعه کامل داده‌ها یا انتخاب شاخص‌های بیش‌تر می‌تواند بهترین کیفیت خاک را نشان دهد، اما زمانی که همبستگی بالا بین شاخص‌های انتخاب شده وجود داشته باشد، این امر منجر به تکرار داده‌ها می‌شود بنابراین با انجام چند مرحله‌ی تجزیه مولفه‌های اصلی همبستگی بین داده‌ها کم‌تر شده و مجموعه داده‌های حداقل برای تعیین شاخص کیفیت خاک تعیین می‌شود.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر، کاربرد توابع عضویت فازی غیرخطی از طریق برنامه‌نویسی در نرم افزار متلب و تاثیر شکل و نوع توابع محاسباتی در تعیین شاخص کیفیت خاک را نشان می‌دهد. مقایسه تطبیقی شاخص‌های کیفیت خاک در دو عمق اول و دوم در تحقیقات گذشته و حاضر در نمونه‌های پروفیلی یکسان نشان داد که بخش زیادی از خاک‌های منطقه مورد مطالعه، دچار تنزل در کیفیت خاک و کاهش مقادیر نمایه‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی شده‌اند و در تعدادی از نمونه‌ها، شاخص کیفیت خاک در عمق دوم بهتر از عمق اول بوده است. دست‌خوردگی خاک تحتانی کم‌تر بوده و هم چنین همبستگی بین پارامترها هم در قدیم و هم در زمان حاضر در عمق دوم بهتر از عمق اول است. تاثیر ریشه دوانی در آن سبب شده کیفیت خاک در خاک سطحی کم‌تر شود. برخی ویژگی‌های خاک مانند کربن آلی، مس قابل جذب، آهن قابل جذب، EC و pH از شرایط بهینه کیفیت خاک از گذشته تا زمان حال دور شده و دستخوش تغییرات شده‌اند. درصد رس، سیلت و شن خاک نیز در دو عمق اول و دوم تحقیق حاضر نسبت به تحقیق گذشته دچار تغییر شده است. بافت خاک در نمونه‌برداری گذشته (Alipour, 2000) شامل انواع بافت‌های خاک لومی رسی، رسی سیلتی، سیلتی لومی و لومی بوده ولی در تحقیق حاضر بافت خاک در ۸۹/۳۶٪ نمونه‌ها لومی می‌باشد. به صورت کلی اختلاف شاخص کیفیت خاک عمق اول و دوم خاک تحقیق گذشته بیش‌تر است. در تحقیق حاضر تخریب تا عمق‌های پایین نفوذ کرده و دو عمق دچار کاهش کیفیت شده‌اند. بنابراین در هر دو عمق تحقیق حاضر کیفیت خاک در دو عمق کاهش یافته و بنابراین شاخص کیفیت خاک کم شده و تغییرات شاخص کیفیت خاک در تحقیق حاضر نزدیک بهم و در برخی نقاط شاخص کیفیت خاک در دو عمق بر هم منطبق بودند. بررسی نقشه تغییرات مکانی شاخص کیفیت خاک نشان داد که در عمق اول، قسمت‌های مرکزی به سمت شمال و شمال غربی دارای شاخص کیفیت بالاتری هستند و در عمق دوم مناطق شرقی نقشه دارای شاخص کیفیت مطلوب‌تری هستند. درجه‌بندی کلاس کیفیت خاک برای تمامی نمونه‌ها در تحقیق حاضر و گذشته در بررسی دو عمق گویای این مطلب است که بین ۴۵ تا ۵۴٪ از نمونه‌های خاک در تحقیق گذشته به ترتیب در کلاس‌های III و IV و بین ۷۳ تا ۷۵٪ از نمونه‌های خاک در تحقیق حاضر در کلاس IV کیفیت خاک قرار می‌گیرند که نشان دهنده‌ی کاهش کیفیت خاک از گذشته تا به اکنون بوده است.

REFERENCES

Alipour, H. (2000). Investigation and determination of land suitability for Faryab horticultural products in educational and research farms of faculty of agriculture, University of Tehran. Faculty of Agricultural Engineering and Technology Department of Soil Science, 1-134.

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), 292-303.

Andrews, S. S., Karlen, D. L. and Mitchell, J. P. (2002). A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. Agriculture, ecosystems & environment, 90(1), 25-45.

Anderson, T. H. (2003). Microbial eco-physiological indicators to asses soil quality. Agriculture, Ecosystems & Environment, 98(1), 285-293.

Chen, L., Messing, I., Zhang, S., Fu, B., and Ledin, S. (2003). Land use evaluation and scenario analysis towards sustainable planning on the Loess Plateau in China, case study in a small catchment. Catena, 54(1), 303-316.

www.SID.ir

Archive of SID

Doran, J. W. (2002). Soil health and global sustainability: translating science into practice. Agriculture Ecosystems and Environment 88, 119–127.

Doran, J. W., Parkin, T. B. (1994). Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F., and Stewart, B.A. (Eds.) Defining soil quality for a sustainable environment, SSSA Special Publication. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, 35: 3-21.

Fathizadeh, M. (2016). Assessment of soil quality in in educational and research farms of faculty of agriculture, University of Tehran. Faculty of Agricultural Engineering and Technology

Karlen, D. L. and Stott, D. E. (1994). Framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. 53-72.

Khormali, F., & Nabiollahi, K. (2009). Degradation of Mollisols in western Iran as affected by land use change. Journal of Agricultural Science and Technology, 11, 363-374.

Legaz, B.V., De Souza, D.M., Teixeira, R.F.M., Antón, A., Putman, B. and Sala, S., (2017). Soil quality, properties, and functions in life cycle assessment: an evaluation of models. *Journal of cleaner production*, *140*, pp.502-515.

Page, A. L., Miller, R. H., Keeney, D. R., Baker, D. E., Ellis, R. and Rhoades, J. D. (1982). Methods of soil analysis. eds (No. 631.41 MET 9-2 1982.

Papendick, R. I., and Parr, J. F. (1992). Soil quality the key to a sustainable agriculture. American Journal of Alternative Agriculture, 7(1-2), 2-3.

Qi, Y., Darilek, J. L., Huang, B., Zhao, Y., Sun, W., Gu, Z. (2009). Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China. Geoderma, 149(3–4), 325-334.

Rahimi, S., Afyuni, M., Khoshgoftarmanesh, A. H., Noruzi, M. (2015). Assessment of Soil Quality Index with Zinc Fertilizer and its Concentration Wheat Grain. JWSS.; 19 (71) :47-57. (in farsi)

Shukla, M. K., Lal, R., and Ebinger, M. (2006). Determining soil quality indicators by factor analysis. Soil and Tillage Research, 87(2), 194-204.

Vasu, D., Singh, S. K., Ray, S. K., Duraisami, V. P., Tiwary, P., Chandran, P., Nimkar, A. M. and Anantwar, S. G. (2016). Soil quality index (SQI) as a tool to evaluate crop productivity in semi-arid Deccan plateau, India. *Geoderma*, *282*, pp.70-79.

Yang, K., Jun Zhua, J., Yana, Q., Sunc, O. (2010). Changes in Soil P Chemistry as Affected by Conversion of Natural Secondary Forests to Larch Plantations.

www.SID.ir