Archive of SID

مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۷۳، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹

ص ۱۹۸-۱۸۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۲۳
تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۰۳/۱۲

ارزیابی شاخص‌های پایداری خاک در مناطق بیابانی

(مطالعهٔ موردی: عرصه‌های مرتعی و کشاورزی شهرستان سمنان)

❖ **کورش کمالی؛** دانشجوی دکتری بیابان زدایی، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

❖ **غلامرضا زهتابیان*؛** استاد دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

❖ **طیبه مصباح زاده؛** استادیار دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

❖ **حسین شهاب آرخازلو؛** استادیار دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران.

❖ **محمود عرب خدری؛** استادیار پژوهشی پژوهشکدهٔ حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، ایران.

❖ **علیرضا مقدم‌نیا،** دانشیار دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

چکیده

پایداری خاک به ویژه در اکوسیستم‌های شکننده یک شاخص ضروری برای مدیریت پایدار اراضی است و به ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک بستگی دارد. با این وجود پایداری خاک به طور مستقیم قابل اندازه‌گیری نبوده و باید از شاخص‌های کیفیت و پایداری خاک استنتاج شود. به منظور بررسی پایداری خاک در منطقهٔ بیابانی سمنان، مزارع، باغات و مراتع واقع در یک مزرعهٔ آموزشی با مدیریت‌های مختلف آبیاری انتخاب و از شاخص پایداری (SI) و روش رتبه‌بندی تجمعی ۹ و ۱۱ پارامتری (CR_9 و CR_{11}) استفاده شد. با حفر و تشریح خاکرخ و نمونه‌برداری از افق‌های سطحی و زیرسطحی اراضی منتخب، ۱۲ ویژگی مهم و مؤثر در پایداری خاک اندازه‌گیری و مقادیر شاخص‌های مذکور در هر یک از اراضی محاسبه و تأثیر نوع کاربری بر پایداری خاک مقایسه شد. بررسی نتایج نشان داد که مقدار SI به‌جز در لایهٔ سطحی اراضی زراعی آبی به دلیل تأثیر کشت و کار و نقش مثبت مواد آلی، در بقیهٔ اراضی کمتر از یک بوده که نشان از ناپایداری خاک دارد. در لایهٔ زیر سطحی تمامی اراضی مورد مطالعه، مقدار SI کمتر از یک شد. این موضوع بیانگر آن است که ویژگی‌های خاک در لایه‌های زیرسطحی در محدودهٔ بهینه قرار نداشته و در نتیجه در عملکرد محصول، تخریب خاک و بیابان‌زایی مؤثرند. مطابق نتایج روش رتبه‌بندی تجمعی، لایه‌های سطحی و زیرسطحی خاک در هیچ یک از اراضی مورد مطالعه در کلاس‌های خیلی پایدار و پایدار قرار نگرفتند. لیکن این روش پایداری خاک اراضی آبی چندکشتی را به دلیل نقش مثبت در افزایش عامل‌های اصلاحی خاک، در وضعیت مناسب‌تری نسبت به دیگر اراضی طبقه‌بندی نمود. بررسی همبستگی شاخص‌های مورد مطالعه با ویژگی‌های خاک نشان داد که کربن آلی، شاخص پایداری خاکدانه، شوری، نسبت جذب سدیم و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها تأثیر مستقیم و مؤثرتری بر پایداری خاک دارند. همچنین بین مقادیر SI با CR_9 و CR_{11} در لایهٔ سطحی همبستگی معنی‌دار منفی در سطح یک درصد (به ترتیب R^2= ۰/۵۸ و R^2= ۰/۷۴) مشاهده شد؛ لیکن در لایهٔ زیر سطحی فاقد همبستگی بودند. در نهایت، روش رتبه‌بندی تجمعی که از ویژگی‌های بیشتر و مؤثرتری برای ارزیابی پایداری خاک استفاده می‌کند، برای پایش پایداری خاک توصیه شد.

کلید واژگان: اقلیم خشک، رتبه‌بندی تجمعی، سمنان، شاخص پایداری، کیفیت خاک

* نویسنده مسئول: شماره تماس: ۰۹۸۹۱۲۱۱۲۸۸۵۹+

Email: ghzehtab@ut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

خاک یک سیستم حیاتی و پویا است که بهره‌برداری های متفاوت سبب بهبود یا قهقرای آن می‌شود. در مناطق بیابانی این عامل پایه محیطی در معرض تخریب قرار داشته و ناپایداری آن سبب بیابان‌زایی می‌گردد. به این جهت حفاظت از منابع خاک در کشاورزی و منابع طبیعی با هدف جلوگیری از تخریب آن ضروری است. ارزیابی کیفیت خاک از طریق اندازه‌گیری برخی از خصوصیات خاک که به عنوان شاخص‌های کیفیت خاک در نظر گرفته می‌شوند، صورت می‌پذیرد [۲۰]. شاخص‌های کیفیت خاک باید به طریقی توسعه داده شوند که ضمن ترکیب ویژگی‌ها و فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی، قابل استفاده در شرایط مختلف مزرعه باشند، داده‌های موجود و یا داده‌های زودیافت را تکمیل نمایند و به کاربری اراضی، عملیات مدیریتی و فاکتورهای اقلیمی و انسانی پاسخ دهند [۵].

تأثیر نوع کاربری اراضی بر نحوهٔ عملکرد خاک در اکوسیستم‌های مناطق خشک و بیابانی، از طریق ارزیابی تغییرات شاخص‌های کیفیت خاک امکان‌پذیر است. این‌گونه مطالعات که با هدف ایجاد تعادل بین میزان تولید، حفظ و بهبود کیفیت منابع اراضی انجام می‌گیرند امکان شناسایی مدیریت‌های پایدار و به تبع آن پیشگیری از تخریب فزایندهٔ خاک را فراهم می‌سازد [۱۶]. ارزیابی کیفیت خاک به منظور تعیین پایداری سامانه‌های مدیریت اراضی و کمک به ایجاد کشاورزی پایدار و افزایش تولید محصول انار در باغات استان قم نشان داد ویژگی‌های فیزیکی و زیستی خاک تأثیر بیشتری بر کیفیت خاک و عملکرد محصول دارند. با توجه به آب و هوای گرم و خشک منطقهٔ قم، آب قابل استفادهٔ گیاه بیشترین تأثیر را در تولید محصول داشته، ضمن آن‌که اقدامات مدیریتی چون حفظ بقایای گیاهی در سطح خاک، استفاده از کود دامی و کشت یونجه و شلغم به عنوان کود سبز نیز اثر مثبتی در افزایش کیفیت خاک و عملکرد محصول داشته است [۱۳]. در این میان مدیریت های مختلف استفاده از آب ها نیز بر عملکرد محصولات و کیفیت خاک تأثیر به سزایی دارند [۲۱]. در شرایط کنونی کشور محدودیت منابع آب و لزوم بهره‌وری بهینه از آن با استفاده از روش‌های نوین آبیاری اجتناب ناپذیر است [۱]. ارزیابی سیستم آبیاری بارانی در مقایسه با آبیاری جویچه‌ای در استان همدان علاوه بر افزایش بهره‌وری مصرف آب، موجب افزایش عملکرد محصول گندم شده است [۹]. تعیین بهره‌وری مصرف آب در سامانه‌های آبیاری بارانی و سطحی محصول گندم در شهرستان بهبهان نیز نتیجهٔ مشابهی داشته است [۲۴]. با وجود توسعهٔ سامانه‌های نوین آبیاری پژوهش‌های انجام شده در زمینهٔ تأثیر این روش‌ها بر پایداری خاک اندک است.

به طور گسترده‌ای در سراسر جهان از روش‌های ارزیابی کیفیت خاک استفاده می‌شود که در آن میانگین نمرات ویژگی نمونه‌های خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲۵]. به منظور تعیین پایداری خاک در سیستم‌های مختلف کشاورزی، روشی بر اساس اندازه‌گیری شاخص‌های کیفیت خاک توسط [۱۱] پیشنهاد شد. این روش توسط پژوهشگران دیگر نیز استفاده شده است [۱۹]. در این روش، پنج ویژگی خاک به عنوان شاخص های کیفیت فیزیکی مؤثر بر پایداری خاک در نظر گرفته شد و میانگین عددی آن‌ها به عنوان شاخص پایداری[۱](SI) اطلاق گردید [۲۹]. روش رتبه‌بندی تجمعی[۲](CR) نیز برای تعیین پایداری خاک بر اساس شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک ارائه شد [۲۸]. به منظور بررسی کیفیت خاک بر پایداری آن، دو شاخص SI و CR در جنوب مشهد مورد ارزیابی قرار گرفت [۲۶]. نتیجهٔ این ارزیابی نشان داد که شاخص SI همبستگی بالاتری با کیفیت خاک داشته و برای تعیین تغییرات کیفیت خاک بهتر از CR است. در پژوهشی دیگر ویژگی‌های قابل اندازه‌گیری خاک در زمین‌های کشاورزی جنوب شرقی مشهد با دو شاخص SI و CR ارزیابی شد [۱۰]. در پژوهش مورد اشاره با انتخاب ۶۳ نمونهٔ خاک از

۱Sustainability Index (SI)

۲Cumulative Rating (CR)

www.SID.ir

Archive of SID

عمق (۳۰-۰ سانتی‌متر) و اندازه‌گیری ۹ خصوصیت خاک به عنوان مجموع داده ها (TDS)، تجزیه و تحلیل مؤلفهٔ اصلی (PCA) برای انتخاب شاخص های مؤثرتر برای مطابقت با حداقل مجموعه داده‌ها (MDS) انجام شد. لذا فقط ۶ شاخص خاک به عنوان (MDS) انتخاب شدند که همبستگی معنی‌داری با SI و CR داشتند. این پژوهش همچنین همبستگی قوی بین SI و CR را نشان داد [۱۰].

از آنجا که مناطق خشک محیط‌های اکولوژیک حساس و شکننده و مستعد بیابان‌زایی هستند، توسعه و بهبود آن‌ها با رفع شرایط نامطلوب به کندی انجام می‌پذیرد. آسیب‌پذیری این مناطق عمدتاً ناشی از کسر رطوبت خاک، دما و تبخیر زیاد، لایهٔ ضعیف هوموس و شور بودن خاک است. لذا از یک سو آگاهی از چگونگی کیفیت خاک در عرصه‌های کشاورزی و منابع طبیعی این مناطق برای مدیریت بهینهٔ زمین‌ها و رسیدن به حداکثر بهره‌وری اقتصادی ضروری است تا بتوان استراتژی‌های مناسب مدیریتی برای کنترل فرآیند بیابانی شدن را اتخاذ نمود. از سوی دیگر پژوهش‌های اندکی تأثیر مدیریت آبیاری بر پایداری خاک مناطق خشک کشور را مورد بررسی قرار داده‌اند، لذا با توجه به اهمیت پایداری خاک در ارزیابی تخریب یا بهبود اراضی، در مقالهٔ حاضر، پایداری خاک به دو روش SI و CR در بخشی از زمین‌های کشاورزی و مرتعی سمنان مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۲. روش شناسی

۱،۲. معرفی منطقهٔ مورد مطالعه

منطقهٔ مطالعاتی در محدودهٔ جغرافیایی ۵۳ درجه و ۲۷ دقیقه و ۲ ثانیهٔ طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۵ دقیقه و ۵۵ ثانیهٔ عرض شمالی در مرکز آموزش عالی علمی– کاربردی جهاد کشاورزی سمنان در کیلومتر ۵ جادهٔ سمنان – دامغان (جادهٔ اختصاصی فرودگاه) واقع می‌باشد (شکل ۱). در این منطقه مزارع، باغات و اراضی مرتعی با مدیریت‌های مختلف آبیاری در مجاورت هم وجود دارند، به‌طوری‌که به منظور انجام پژوهش حاضر، پنج واحد کشاورزی مشتمل بر سه واحد با سامانه‌های آبیاری نوین و دو واحد با سامانهٔ آبیاری سنتی و همچنین اراضی مرتعی انتخاب شدند. در این منطقه مقادیر متوسط درجهٔ حرارت، بارندگی و تبخیر طی یک دورهٔ پنج ساله منتهی به اجرای پژوهش به ترتیب ۱۹/۹ درجهٔ سانتی‌گراد، ۱۳۲/۶ میلی‌متر و ۲۴۰۶ میلی‌متر است [۱۲].

۲،۲. روش تحقیق

به منظور تعیین شاخص‌های پایداری خاک در پنج مزرعهٔ منتخب به همراه اراضی مرتعی، حفر و تشریح خاکرخ در هر یک از آن‌ها با سه تکرار انجام شد. انتخاب محل خاکرخ‌ها به صورت تصادفی طبقه‌بندی شده[۱] و موقعیت خاکرخ‌ها با توجه به قرار گرفتن آن‌ها در شعاع تأثیر سیستم‌های آبیاری بارانی، موضعی (قطره‌ای) و غرقابی تعیین شدند. خاکرخ‌ها تا لایهٔ محدودکننده و حداکثر به عمق ۱/۵متر حفر و پس از تشریح، از افق‌های ژنتیکی آن‌ها (افق‌های مشخصهٔ سطحی و زیرسطحی) نمونه‌برداری شد. نمونه‌های برداشت شده برای اندازه‌گیری مقادیر ویژگی های فیزیکی و شیمیایی مورد نیاز به آزمایشگاه ارسال شدند.

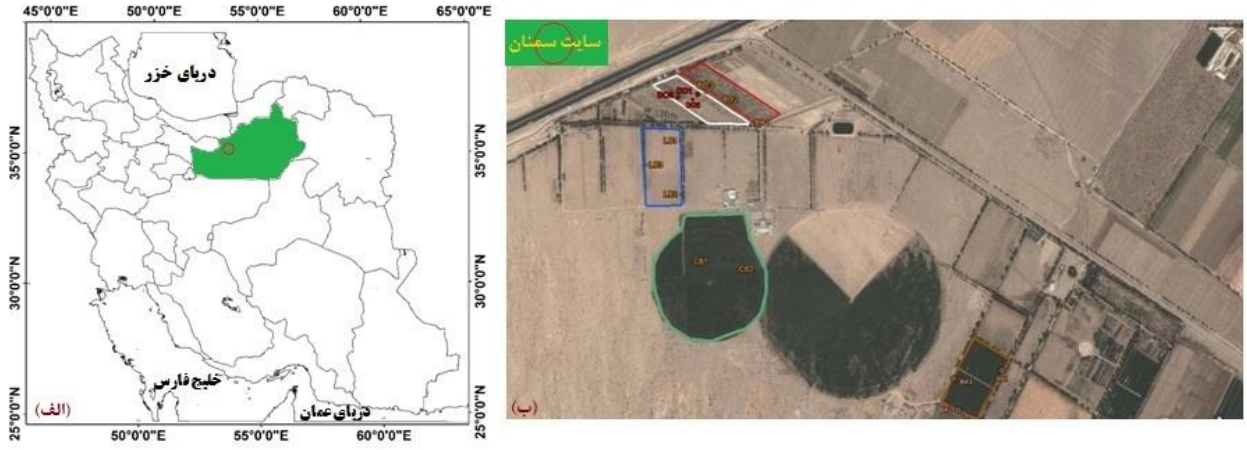
به منظور ارزیابی کیفیت و تعیین پایداری خاک، برای همهٔ افق‌ها، ویژگی‌های بافت خاک به روش هیدرومتری، هدایت الکتریکی[۲](EC) عصارهٔ اشباع با دستگاه هدایت سنج، اسیدیتهٔ خاک به روش الکترومتریک با pH متر، جرم مخصوص ظاهری[۳](BD) به روش استوانه در لایهٔ سطحی و روش مخروط ماسه‌ای در لایه‌های زیر سطحی، درصد کربن آلی[۴](OC) به روش والکی بلاک، شاخص پایداری خاکدانه[۵](si=$\frac{۱.۷۲٤OC}{(Silt+Clay)}$ * ۱۰۰) به روش پیری، پتانسیل ماتریک ($PF=-Log$ فشار برحسب سانتی‌متر) به روش صفحه فشار[۶] هدایت هیدرولیکی خاک (Ks) با استفاده از

۱Stratified random
۲Electrical Conductivity
۳Bulk Density
۴Organic Carbon
۵Structural index
۶Pressure Plate

www.SID.ir

Archive of SID

مدل تابع انتقالی رُزِتا[1] و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها[2] (MWD) به روش الک تر اندازه‌گیری شدند. نسبت جذب



شکل ۱. (الف) موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه در کشور و استان و (ب) نقاط حفر خاکرخ در اراضی منتخب

سدیم[3] نیز از رابطهٔ $SAR=Na^{+}/\ [(Ca^{2+}+Mg^{2+})/2]^{0.5}$ محاسبه شد. همچنین با استفاده از منحنی رطوبتی خاک ویژگی‌های رطوبت قابل استفادهٔ گیاه[4] (PAWC) از تفاضل رطوبت ظرفیت مزرعه و نقطهٔ پژمردگی، تخلخل تهویه‌ای[5] (AC) از تفاضل رطوبت اشباع و رطوبت در مکش یک بار و ظرفیت زراعی نسبی[6] (RFC) از حاصل تقسیم رطوبت ظرفیت مزرعه بر رطوبت اشباع استخراج شدند [۲۲]. لازم به ذکر است منحنی رطوبتی خاک‌ها در مکش‌های ۰، ۰/۱، ۰/۳۳، ۱، ۳، ۵ و ۱۵ بار اندازه‌گیری شدند. همچنین با پردازش داده‌های هواشناسی منطقه (مقدار بارش و درجهٔ حرارت متوسط سالانه) در محیط نرم‌افزار نیوهال[7] [۳۲]، رژیم رطوبتی و حرارتی[8] حاکم بر خاک های منطقهٔ مورد مطالعه به ترتیب اریدیک[9] و ترمیک[10] تعیین شدند. با استفاده از کلید طبقه‌بندی خاک[11] نیز خاک‌های منطقه در ردهٔ خاک‌های بدون تکامل پروفیلی[12] و تحت گروه Typic Torrifluvents طبقه‌بندی گردیدند [۳۰].

۳،۲. شاخص پایداری

در پژوهش حاضر برای محاسبهٔ SI از هفت ویژگی خاک شامل OC، BD، AC، RFC، AWC، si و MWD استفاده گردید. سپس برای تعیین مهم‌ترین ویژگی‌های محدود کنندهٔ کیفیت خاک، فاکتور تأثیر آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. فاکتور تأثیر هر ویژگی از حاصل تقسیم مقادیر ویژگی مورد نظر در خاک مورد مطالعه بر حد بهینهٔ آن ویژگی محاسبه می‌شود. در این روش هر چه فاکتور تأثیر بزرگ‌تر باشد، آن ویژگی نقش مهم‌تری در بهبود پایداری خاک ایفا می‌کند. مقدار یک یا بیشتر برای فاکتور تأثیر هر ویژگی نمایانگر همبستگی مثبت آن بر پایداری خاک می‌باشد در حالی‌که مقادیر کمتر از یک نشان دهندهٔ نقش آن‌ها در کاهش پایداری است. سرانجام شاخص پایداری بر اساس میانگین حسابی فاکتور تأثیر هفت ویژگی مورد نظر محاسبه شد.

۱Rosetta
۲Mean Weight Diameter
۳Sodium Adsorption Ratio
۴Plant Available Water Capacity
۵Air Capacity
۶Relative Field Capacity
۷New Hall
۸Soil Moisture & Temperature Regime
۹Aridic
۱۰Thermic
۱۱Keys to Soil Taxonomy
۱۲Entisols

www.SID.ir

Archive of SID

۴،۲. روش رتبه‌بندی تجمعی

به منظور محاسبهٔ CR_9 از نه ویژگی AC، AWC، BD، Soil Texture، RFC، SAR، OC، EC و pH و برای محاسبهٔ CR_{11} از ۱۱ ویژگی AC، AWC، BD، Soil Texture، RFC، Si، OC، EC، pH، MWD و Ks استفاده شد. سپس حدود بحرانی هر ویژگی [۱۸] مطابق جدول (۱) تعیین و فاکتور وزنی نسبی [۲۸] آن ها مشخص گردید. حد پایینی یعنی عدد یک برای هر ویژگی خاک نمایانگر بدون محدودیت (کیفیت عالی خاک) و حد بالایی یعنی عدد پنج نشان دهندهٔ محدودیت شدید می‌باشد. در نهایت مجموع نمرات ویژگی‌های مختلف خاک به عنوان CR_9 یا CR_{11} در نظر گرفته شد که برای هر خاک از خیلی پایدار تا ناپایدار توسط [۱۸] پیشنهاد شده است (جدول ۲). در این روش با افزایش مقدار CR، پایداری خاک کاهش می یابد. لازم به ذکر است رتبهٔ تخصیص داده شده برای ویژگی‌های RFC و si بر اساس نتایج [۴، ۲۲] می‌باشد.

پس از محاسبهٔ شاخص های پایداری خاک در نمونه‌های مربوط به اراضی منتخب، به منظور بررسی تأثیر مدیریت اراضی، نوع کاربری و همچنین مدیریت آبیاری بر افزایش یا کاهش پایداری خاک، میانگین شاخص‌های پایداری این اراضی علاوه بر مقایسهٔ فاکتور وزنی نسبی آن‌ها، با تجزیهٔ واریانس یک راهه[۲] و انجام آزمون تعقیبی دانکن[۳] نیز تحلیل شد.

جدول ۱. حدود بحرانی و فاکتور وزنی نسبی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در روش رتبه‌بندی بحرانی

محدودیت	RWF	AC ($Cm^3\ Cm^{-3}$)	AWC ($Cm^3\ Cm^{-3}$)	شاخص si	Ks ($cm\ hr^{-1}$)	OC ($mg\ ha^{-1}$)	MWD (mm)
بدون محدودیت	۱	>۰/۲	>۰/۳	>۰/۰۵	>۲	۱۳۰-۷۰	>۲/۵
محدودیت کم	۲	۰/۰-۱۸/۲	۰/۰-۲/۳	۰/۰-۰۴۲/۰۵	۰/۲-۲	۷۰-۴۵	۲-۲/۵
محدودیت متوسط	۳	۰/۰-۱۵/۱۸	۰/۰-۰۸/۲	۰/۰-۰۳۵/۰۴۲	۰/۰-۰۲/۲	۴۵-۱۴	۲-۱
محدودیت زیاد	۴	۰/۰-۱/۱۵	۰/۰-۰۲/۰۸	۰/۰-۰۳۵/۰۲	۰/۰-۰۰۲/۰۲	۷/۱۴-۵	۰/۱-۵
محدودیت شدید	۵	<۰/۱	<۰/۰۲	<۰/۰۲	<۰/۰۰۲	<۷/۵	<۰/۵

ادامهٔ جدول ۱.

محدودیت	RWF	Bd ($mg\ m^3$)	بافت	EC ($ds\ m^{-1}$)	pH	RFC
بدون محدودیت	۱	<۱/۳	Loam	<۳	۷-۶	۰/۰-۶/۷
محدودیت کم	۲	۱/۱-۳/۴	SiL, Si, SiCL	۵-۳	۵/۶-۸ و ۷-۷/۴	۰/۰-۶/۵ و ۰/۷-۰/۷۵
محدودیت متوسط	۳	۱/۱-۴/۵	CL, SL	۷-۵	۵/۵-۴/۸ و ۷/۴-۷/۸	۰/۰-۵/۴ و ۰/۷۵-۰/۸
محدودیت زیاد	۴	۱/۱-۵/۶	SiC, LS	۱۰-۷	۵/۵-۰/۴ و ۷/۸ -۸/۲	۰/۰-۴/۳۵ و ۰/۰-۸/۹
محدودیت شدید	۵	>۱/۶	C, S	>۱۰	<۵ و >۸/۲	<۰/۳۵ و >۰/۹

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲. پایداری خاک بر اساس شاخص رتبه‌بندی تجمعی با توجه به ۱۱ یا ۹ ویژگی خاک[۱]

وضعیت پایداری	RWF	CR11	CR9
خیلی پایدار (HS)	۱	<۲۰	<۱۶
پایدار (S)	۲	۲۵-۲۰	۲۱-۱۶
پایدار با اضافه کردن نهاده‌های بیشتر (SWHI)	۳	۳۰-۲۵	۲۶-۲۱
پایدار برای کاربری دیگر (SWALU)	۴	۴۰-۳۰	۳۱-۲۶
ناپایدار (NS)	۵	>۴۰	>۳۱

رابطهٔ بین شاخص‌های پایداری با ویژگی‌های خاک و همچنین سطح همبستگی معنی‌دار بین SI، CR_9 و CR_{11} نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. همبستگی‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SPSS 20 و از نوع همبستگی پیرسون در سطح احتمال یک درصد صورت پذیرفت.

۳. نتایج

جدول (۳) میانگین و دامنه تغییرات ویژگی های اندازه‌گیری شدهٔ نمونه‌های خاک در لایه‌های سطحی و زیرسطحی به همراه نماد و واحد هر ویژگی و همچنین منبع روش مورد استفاده برای اندازه‌گیری این ویژگی‌ها را نشان می‌دهد. در جدول (۴) نیز مشخصات ابعادی مناطق مورد مطالعه و مقادیر محاسبه شدهٔ شاخص‌های پایداری به تفکیک نوع اراضی و نوع سامانهٔ آبیاری در لایه‌های سطحی و زیرسطحی خاک آمده است. همچنین فرض نرمال بودن توزیع داده ها با استفاده از آزمون های کولموگروف-اسمیرنوف و شاپیرو-ویلک بررسی شد. نتایج این بررسی نشان داد که تمامی داده‌های متغیرهای لایه سطحی دارای توزیع نرمال بوده لیکن داده های متغیر تخلخل تهویه‌ای (AC) در لایهٔ زیرسطحی به دلیل برخورداری از سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۰۱ [۱۴]، فاقد توزیع نرمال بود. لذا برای تبدیل این داده به داده‌های نرمال از روش ریشهٔ دوم وارون[۴] استفاده شد [۱۴]. توضیح آن‌که، فرض نرمال بودن توزیع داده‌ها به منظور بررسی همبستگی آماری بین شاخص‌های پایداری و متغیرهای مورد استفاده، ضروری است.

بررسی جدول (۴) نشان می‌دهد که عدد SI در لایهٔ سطحی اراضی باغی و مرتعی کمتر از یک است. لیکن مقدار این شاخص در اراضی زراعی (به ویژه در زراعت یونجه) اندکی بیشتر از یک می‌باشد. این امر نشان دهندهٔ تأثیر کشت و کار در پایداری خاک لایهٔ سطحی است که عمدتاً ناشی از تأثیر مواد آلی در خاک می‌باشد. بررسی فاکتور تأثیر در لایهٔ سطحی این اراضی نیز نشان داد که فاکتور تأثیر ویژگی کربن آلی در تمامی اراضی کشاورزی بیشتر از دو و در سایر اراضی کمتر از یک است. بر اساس تحقیقات [۱۶] در شهرستان سمیرم با آب و هوای نیمه‌خشک، مدیریت های یونجه و گندم، مادهٔ آلی بیشتری نسبت به مدیریت دیم رها شده و مرتع داشته‌اند. غالباً کشت و کار مداوم در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک، به علت بالا بردن میزان تولید بیولوژیکی، مقدار کربن آلی خاک را نسبت به اراضی غیرکشاورزی افزایش می‌دهد که با نتایج تحقیق حاضر نیز هم‌سو می‌باشد. افزایش معنی‌دار میزان مادهٔ آلی در کاربری‌های تحت کشت و کار در منطقهٔ ماهان- جوپار استان کرمان [۳۱] و نتایج حاصل از تحقیق [۲۳] که هر دو در منطقهٔ اقلیمی مشابه با تحقیق حاضر (رژیم رطوبتی اریدیک و حرارتی ترمیک) صورت پذیرفته است، نقش کشت و کار مداوم در افزایش

۱RWF: Relative Weighting Factors
۲One-Way ANOVA
۳Duncan
۴Invers Square root

www.SID.ir

Archive of SID

مادهٔ آلی خاک را نشان می‌دهد. همچنین [۸] در بررسی تغییر شاخص‌های کیفیت خاک در اثر احیای زمین‌های شور دشت ابرکوه نشان دادند که در بیشتر لایه‌های خاک میزان مواد آلی و پایداری ساختمان خاک در زمین‌های زیر کشت یونجه بیشتر از زمین‌های زیر کشت گندم بوده که این نشان‌دهندهٔ بهتر بودن کیفیت خاک و زیادتر بودن پتانسیل ترسیب کربن در زمین‌های زیر کشت یونجه نسبت به زمین‌های زیر کشت گندم است. در لایهٔ زیرسطحی تمامی اراضی مورد مطالعه، مقادیر SI کمتر از یک شده است. فاکتور تأثیر بسیاری از ویژگی‌های خاک در لایهٔ زیر سطحی همچون کربن آلی، وزن مخصوص ظاهری، پایداری خاکدانه و ظرفیت زراعی نسبی نیز کمتر از یک بوده که نشان دهندهٔ وضعیت ناپایدار لایهٔ زیرسطحی این اراضی است.

بررسی وضعیت پایداری خاک در روش رتبه‌بندی تجمعی در لایه‌های سطحی و زیرسطحی نشان داد که هیچ یک از اراضی مورد مطالعه در کلاس‌های خیلی پایدار و پایدار قرار نگرفته‌اند. بررسی فاکتور وزنی نسبی CR_9 مطابق جداول (۲ و۴)، باغ زیتون با آبیاری موضعی

جدول ۳. ویژگی‌های اندازه‌گیری شدهٔ لایهٔ سطحی و زیرسطحی خاک در مناطق مورد مطالعه

ویژگی مورد نظر	نماد	واحد	لایهٔ سطحی		لایهٔ زیرسطحی		منبع روش مورد استفاده برای اندازه‌گیری
			میانگین	بیشینه-کمینه	میانگین	بیشینه-کمینه	
کربن آلی	OC	درصد	۰/۸۴	۰/۱-۱۷/۹۷	۰/۰۸	۰/۰-۰۳/۲۵	والکلی و بلک، ۱۹۳۴
جرم مخصوص ظاهری	BD	$gr\ cm^{-3}$	۱/۵۶	۱/۱-۴۱/۸۵	۱/۶۵	۱/۱-۵۴/۸۱	هاو و همکاران، ۲۰۰۸
تخلخل تهویه‌ای	AC	cm^3cm^{-3}	۰/۲۳	۰/۰-۱۹/۲۷	۰/۲۳	۰/۰-۱۸/۳۵	رینولدز و همکاران، ۲۰۰۹
تخلخل تهویه‌ای	$Inv.sqrt_{(AC)}$	cm^3cm^{-3}	--	--	۲/۰۹	۱/۲-۶۹/۳۶	---
ظرفیت زراعی نسبی	RFC	---	۰/۴۷	۰/۰-۴۱/۵۵	۰/۴۷	۰/۰-۳۹/۷۵	رینولدز و همکاران، ۲۰۰۹
رطوبت قابل استفاده	AWC	cm^3cm^{-3}	۰/۱۰	۰/۰-۰۹/۱۴	۰/۰۹	۰/۰-۰۷/۱۶	رینولدز و همکاران، ۲۰۰۹
شاخص پایداری خاکدانه	si	---	۴/۱۳	۰/۱۰-۹/۰۱	۰/۶۸	۰/۱-۱۷/۶	پیری، ۱۹۹۲
میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها	MWD	mm	۱/۳۰	۰/۱-۹۹/۶۷	۱/۲۹	۰/۱-۷۳/۸۲	کمپر و روزنا، ۱۹۸۶
هدایت الکتریکی	EC	$ds\ m^{-1}$	۱۲/۰	۲/۴۰-۵۸/۹۰	۶/۱	۲/۱۱-۴/۸	پیج و همکاران، ۱۹۸۲
نسبت جذب سدیم	SAR	---	۱۰/۵۴	۴/۳۳-۳/۵	۵/۳	۲/۹-۲/۴	پیج و همکاران، ۱۹۸۲
اسیدیته	pH	---	۷/۶۷	۷/۷-۳۴/۹۵	۷/۷	۷/۷-۳/۹	پیج و همکاران، ۱۹۸۲
هدایت هیدرولیکی اشباع	Ks	$Cm\ h^{-1}$	۱/۸۱	۰/۳-۰۸/۵۶	۲/۱	۰/۳-۴۱/۳۳	مدل تابع انتقالی رُزِتا
شاخص پایداری خاک	SI	---	۱/۱۲	۰/۱-۸۲/۶۲	۰/۸۲	۰/۰-۷۴/۸۸	گومز و همکاران، ۱۹۹۶
رتبه‌بندی تجمعی ۱۱ پارامتری	CR_{11}	---	۳۱/۴	۳۸-۲۶	۳۵/۲	۴۰-۳۲	شوکلا و همکاران، ۲۰۰۴
رتبه‌بندی تجمعی ۹ پارامتری	CR_9	---	۲۶/۴	۳۴-۲۲	۲۷/۷	۳۴-۲۴	شوکلا و همکاران، ۲۰۰۴

جدول ۴. مشخصات ابعادی مناطق مورد مطالعه، مقادیر محاسبه شدهٔ شاخص پایداری به تفکیک نوع اراضی و نوع سامانهٔ آبیاری در لایه‌های سطحی و زیرسطحی خاک

اراضی و نوع محصول	سامانهٔ آبیاری	طول (متر)	عرض (متر)	SI		CR_9		CR_{11}	
				سطحی	زیرسطحی	سطحی	زیرسطحی	سطحی	زیرسطحی
باغی (زیتون)	غرقابی	۲۶۵	۶۶	۰/۸۲	۰/۸۶	۳۳	۳۱	۳۸	۳۷
				۰/۸۸	۰/۸۶	۳۴	۳۴	۳۷	۴۰
				۰/۸۴	۰/۸۷	۲۹	۲۷	۳۶	۳۴

www.SID.ir

Archive of SID

باغی (زیتون)	قطره‌ای	۲۵۰	۷۳	۰/۸۶	۰/۷۷	۲۷	۲۷	۳۳	۳۴
				۰/۹۰	۰/۷۴	۲۹	۳۱	۳۴	۳۷
				۰/۸۶	۰/۷۷	۳۰	۳۰	۳۴	۳۶
زراعی (جو)	بارانی (خطی)	۲۱۳	۱۰۶	۱/۲۷	۰/۷۹	۲۵	۲۷	۲۷	۳۵
				۱/۶۲	۰/۸۰	۲۳	۳۱	۲۶	۳۸
زراعی (جو)	بارانی (سنترپیوت)	۳۵۰	۳۱۵	۱/۲۱	۰/۸۴	۲۴	۲۵	۳۰	۳۳
				۱/۳۵	۰/۸۳	۲۴	۲۵	۳۳	۳۳
زراعی (یونجه)	غرقابی	۲۰۰	۱۱۶	۱/۵۱	۰/۷۴	۲۲	۲۷	۲۷	۳۶
				۱/۴۸	۰/۸۸	۲۴	۲۶	۲۷	۳۵
				۱/۵۴	۰/۸۷	۲۳	۲۷	۲۶	۳۶
مراتع	--	--	--	۰/۹۶	۰/۸۵	۲۴	۲۴	۳۰	۳۲
				۰/۹۲	۰/۸۵	۲۵	۲۵	۳۲	۳۳
				۰/۹۰	۰/۸۱	۲۷	۲۶	۳۳	۳۴

را در طبقهٔ پایدار برای کاربری دیگر ($۳۱>CR_9>۲۶$) و با آبیاری سنتی ناپایدار ($CR_9>۳۱$) قرار داده است. لیکن مزارع و مراتع با وضعیت پایداری مناسب‌تر در کلاس پایدار به شرط استفاده از نهاده‌های بیشتر ($۲۱>CR_9>۲۶$) جای گرفته‌اند. همچنین بررسی فاکتور وزنی نسبی CR_{11} مطابق جداول (۲ و ۴) نتایجی تقریباً مشابه با SI داشته است، به‌طوری‌که لایهٔ سطحی خاک باغات، مراتع و مزرعهٔ جو با آبیاری سنترپیوت را در دستهٔ اراضی پایدار برای کاربری دیگر ($۴۰>CR_{11}>۳۰$) و مزرعهٔ یونجه با آبیاری غرقابی و مزرعهٔ جو با آبیاری بارانی خطی را پایدار با اضافه کردن نهاده های بیشتر ($۳۰>CR_{11}>۲۵$) قرار داده است.

به منظور بررسی و مقایسهٔ مناسب‌تر وضعیت پایداری اراضی مورد مطالعه، میانگین شاخص‌های پایداری این اراضی مورد بررسی قرار گرفت. بررسی جدول (۵) نشان می‌دهد که لایهٔ سطحی خاک این اراضی با کاربری‌های مختلف، دارای میانگین شاخص پایداری متفاوتی هستند ($P<۰/۰۰۱$ و $F_{CR11(5,10)}=34.606$ و $F_{CR9(5,10)}=12.783$ و $F_{SI(5,10)}=32.916$). لیکن در لایهٔ زیرسطحی اختلاف معنی‌داری بین میانگین شاخص‌های پایداری در کاربری‌های مختلف اراضی مورد مطالعه وجود ندارد (جدول ۶).

جدول ۵. نتایج تجزیهٔ واریانس شاخص‌های پایداری خاک در لایهٔ سطحی

نماد	منابع تغییر	مجموع مجذورات	درجهٔ آزادی	میانگین مجذورات	آمارهٔF	سطح معنی‌داری
CR_{11}	بین گروهی	۲۲۴/۹۳۷	۵	۴۴/۹۸۷	۳۴/۶۰۶	۰/۰۰۰
	درون گروهی	۱۳/۰۰۰	۱۰	۱/۳۰۰		
	کل	۲۳۷/۹۳۷	۱۵			
CR_9	بین گروهی	۱۷۰/۶۰۴	۵	۳۴/۱۲۱	۱۲/۴۸۳	۰/۰۰۰
	درون گروهی	۲۷/۳۳۴	۱۰	۲/۷۳۳		
	کل	۱۹۷/۹۳۸	۱۵			
SI	بین گروهی	۱/۲۶۹	۵	۰/۲۵۴	۳۲/۹۱۶	۰/۰۰۰
	درون گروهی	۰/۰۷۷	۱۰	۰/۰۰۸		
	کل	۱/۳۴۶	۱۵			

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۶. نتایج تجزیهٔ واریانس شاخص‌های پایداری خاک در لایهٔ زیرسطحی

نماد	منابع تغییر	مجموع مجذورات	درجهٔ آزادی	میانگین مجذورات	آمارهF	سطح معنی‌داری
CR_{11}	بین گروهی	۳۸/۶۰۴	۵	۷/۷۲۱	۲/۵۸۸	۰/۰۹۴
	درون گروهی	۲۹/۸۳۳	۱۰	۲/۹۸۳		
	کل	۶۸/۴۳۷	۱۵			
CR_9	بین گروهی	۷۷/۴۳۸	۵	۱۵/۴۸۸	۳/۵۲۰	۰/۰۴۳
	درون گروهی	۴۴/۰۰۰	۱۰	۴/۴۰۰		
	کل	۱۲۱/۴۳۸	۱۵			
SI	بین گروهی	۰/۰۱۹	۵	۰/۰۰۴	۲/۷۴۵	۰/۰۸۲
	درون گروهی	۰/۰۱۴	۱۰	۰/۰۰۱		
	کل	۰/۰۳۳	۱۵			

مقایسهٔ همگنی میانگین‌های SI در اراضی مورد مطالعه با آزمون تعقیبی دانکن[1] نشان داد که لایهٔ سطحی اراضی باغی و مرتعی در کلاس مشابه، زراعت جو با آبیاری تحت فشار در یک کلاس و زراعت یونجه با آبیاری غرقابی در کلاس دیگر قرار گرفته‌اند (جدول ۷). بررسی میانگین ویژگی‌های خاک نیز نشان داد که از بین ویژگی‌های مختلف فقط کربن آلی و شاخص پایداری خاکدانه (si) تأثیر مستقیم در اختلاف بین مقادیر SI داشته‌اند. مقایسهٔ میانگین ویژگی‌های باغ زیتون با دو نوع آبیاری غرقابی و قطره‌ای نیز نشان می‌دهد که نوع مدیریت آبیاری تأثیر کمی در SI داشته است (جدول ۷).

بررسی همگنی میانگین شاخص‌های CR_9 و CR_{11} در لایهٔ سطحی خاک، اراضی مورد مطالعه را در سه دسته قرار داده به‌طوری‌که باغ زیتون با آبیاری موضعی و غرقابی در دو دستهٔ مجزا قرار گرفته‌اند (جداول ۸ و ۹). بررسی فاکتور وزنی نسبی این اراضی نیز به همین نکته تأکید دارد (جدول ۴). به نظر می‌رسد اراضی باغی با سامانهٔ آبیاری غرقابی دارای شاخص پایداری کمتری نسبت به اراضی باغی با سامانهٔ نوین آبیاری قطره‌ای بوده به‌طوری‌که آبیاری سنتی به ناپایداری بیشتر خاک منجر شده است.

جدول ۷. همگنی شاخص (SI) لایهٔ سطحی اراضی مورد مطالعه

اراضی	تکرار	زیرمجموعه آلفا= ۰/۰۵		
		۱	۲	۳
باغ زیتون (آبیاری غرقابی)	۳	۰/۸۴۶۷		
باغ زیتون (آبیاری قطره‌ای)	۳	۰/۸۷۳۳		
مراتع	۳	۰/۹۲۶۷		
زراعت جو (آبیاری سنترپیوت)	۲		۱/۲۸۰۰	
زراعت جو (آبیاری بارانی خطی)	۲		۱/۴۴۵۰	۱/۴۴۵۰
زراعت یونجه (آبیاری غرقابی)	۲			۱/۵۲۳۳
سطح معنی‌داری		۰/۳۴۷	۰/۰۵۹	۰/۳۳۶

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۸. همگنی شاخص (CR_9) لایهٔ سطحی اراضی مورد مطالعه

اراضی	تکرار	زیرمجموعه آلفا= ۰/۰۵		
		۱	۲	۳
زراعت یونجه (آبیاری غرقابی)	۳	۲۳/۰۰		
زراعت جو (آبیاری بارانی خطی)	۲	۲۴/۰۰		
زراعت جو (آبیاری سنترپیوت)	۲	۲۴/۰۰		
مراتع	۳	۲۵/۳۳		
باغ زیتون (آبیاری قطره‌ای)	۳		۲۸/۶۷	
باغ زیتون (آبیاری غرقابی)	۳			۳۲/۰۰
سطح معنی داری		۰/۱۶۶	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰

جدول ۹. همگنی شاخص (CR_{11}) لایهٔ سطحی اراضی مورد مطالعه

اراضی	تکرار	زیرمجموعه آلفا= ۰/۰۵		
		۱	۲	۳
زراعت جو (آبیاری بارانی خطی)	۲	۲۶/۵۰		
زراعت یونجه (آبیاری غرقابی)	۳	۲۶/۶۷		
زراعت جو (آبیاری سنترپیوت)	۲		۳۱/۵۰	
مراتع	۳		۳۱/۶۷	
باغ زیتون (آبیاری قطره‌ای)	۳		۳۳/۶۷	
باغ زیتون (آبیاری غرقابی)	۳			۳۷/۰۰
سطح معنی داری		۰/۸۷۲	۰/۰۶۶	۱/۰۰۰

بررسی همبستگی SI با ویژگی‌های لایهٔ سطحی خاک نشان داد که این شاخص با ویژگی های OC و si همبستگی معنی‌دار در سطح یک در صد و با ویژگی‌های RFC و MWD همبستگی معنی‌دار در سطح پنج در صد داشته، لیکن در لایهٔ زیرسطحی هیچ‌گونه همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۱۰). [۷] در پژوهش خود نتیجه گرفت که در خاک‌های غیر شور، شور و شور سدیمی بین شاخص SI و بعضی از ویژگی‌های زود یافت خاک مانند درصد مادهٔ آلی، درصد رطوبت اشباع و درصد سیلت، همبستگی معنی‌دار مثبت وجود دارد در حالی که همبستگی این شاخص با نسبت جذب سدیم، درصد شن و جرم مخصوص ظاهری، معنی‌دار و منفی است.

بررسی جدول (۱۱) نیز نشان می‌هد که CR_9 با ویژگی‌های SAR، OC و EC لایهٔ سطحی در سطح یک در صد و با RFC در سطح ۵ در صد همبستگی معنی‌دار دارد. در لایهٔ زیرسطحی نیز بین این شاخص و ویژگی‌های EC و SAR در سطح یک درصد و با PAWC در سطح پنج درصد همبستگی معنی‌دار وجود دارد. همچنین بررسی همبستگی CR_{11} در لایهٔ سطحی خاک نشان داد که این شاخص با ویژگی‌های OC، si، EC و MWD در سطح یک در صد همبستگی معنی‌دار دارد (جدول ۱۲).

\Duncan

www.SID.ir

Archive of SID

طبق جدول (۱۲) در لایهٔ زیرسطحی نیز بین این شاخص و ویژگی EC در سطح یک درصد همبستگی معنی‌دار مشاهده شد. با توجه به شور بودن خاک‌های اراضی مورد مطالعه (۲/۴۰-۶/۹ ds m^{-1})، وجود همبستگی معنی‌دار در سطح یک در صد بین شاخص پایداری خاک با شوری و نسبت جذب سدیم قابل انتظار بود. علت وجود همبستگی بین شاخص پایداری و EC اثر متقابل EC و SAR ا ست. با توجه به مقدار SAR لایهٔ سطحی (۳۳/۵-۴/۳)، این خ صو صیت بر ویژگی‌های ساختمانی و هیدرولیکی خاک تأثیر می‌گذارد. همچنین معنی‌دار بودن OC نشان دهندهٔ نقش مواد آلی در تشکیل و پایداری ساختمان خاک است. افزایش مقدار کیفیت خاک با افزایش مواد آلی توسط [۴] در دو نوع خاک شن لومی و لوم سیلتی انگلستان نیز گزارش شده است. [۲۷] نیز کربن آلی خاک را به عنوان شاخص دینامیک کیفیت خاک مهم دانسته که با توجه به عملیات مدیریتی تغییر می‌کند. همبستگی معنی‌داری بین شاخص کیفیت خاک و مادهٔ آلی، SAR و EC در خاک‌های شور و آهکی دشت ورامین و کرج مشاهده شده است [۷]. [۲۲] ظرفیت زراعی نسبی (RFC)، ظرفیت آب در د سترس گیاه (PAWC)، تخلخل تهویه‌ای (AC)، جرم مخصوص ظاهری (BD)، درصد کربن آلی (OC)، شاخص پایداری خاکدانه (si) را به عنوان مهم‌ترین ویژگی‌های کیفیت خاک در نظر گرفته‌اند. MWD نیز که اساساً برای توصیف کمی ساختمان خاک بکار می‌رود، به عنوان ویژگی تأثیر گذار بر کیفیت و شاخص پایداری خاک به طور مستقیم یا غیرمستقیم در تأمین و نگهداری آب، هوا و عناصر غذایی مورد نیاز محصولات کشاورزی اراضی منتخب نقش‌آفرینی نموده است. MWD از جمله مهم‌ترین ویژگی‌های کیفیت خاک ذکر شده است [۳].

جدول ۱۰. همبستگی شاخص پایداری (SI) با ویژگی‌های خاک

ویژگی / لایه	MWD	si	AWC	RFC	AC	BD	OC
سطحی	۰/۵۱۷*	۰/۹۸۳**	۰/۲۴۲	۰/۵۸۶*	-۰/۳۸	-۰/۲۲۱	۰/۹۹۶**
زیرسطحی	۰/۱۷۸	۰/۲۵	۰/۴۳۸	۰/۲۴۸	۰/۱۹۳	-۰/۴۹۱	۰/۳۲۱

جدول ۱۱. همبستگی شاخص پایداری رتبهٔ تجمعی ۹ پارامتری (CR_9) با ویژگی‌های خاک

ویژگی / لایه	pH	EC	OC	SAR	RFC	BD	AWC	AC	Inv.sqrt (AC)
سطحی	۰/۴۸۲	۰/۸۱۳**	-۰/۷۶۴**	۰/۸۸۶**	-۰/۶۱۵*	۰/۳۱۹	۰/۱۲۷	-۰/۱۶۷	--
زیرسطحی	-۰/۱۶۵	۰/۸۹۴**	-۰/۰۸۴	۰/۹۱۳**	-۰/۴۳۱	۰/۲۸۳	-۰/۵۷۲*	۰/۱۴۷	-۰/۲۰۸

جدول ۱۲. همبستگی شاخص پایداری رتبه‌بندی تجمعی ۱۱ پارامتری (CR11) با ویژگی‌های خاک

ویژگی / لایه	Ks	MWD	pH	EC	OC	si	RFC	BD	AWC	AC	Inv.sqrt (AC)
سطحی	-۰/۲۸۴	-۰/۶۵۳**	-۰/۲۳۱	۰/۶۵۰**	-۰/۸۶۰**	-۰/۸۷۷**	-۰/۳۹۷	۰/۲۶۷	۰/۰۹۱	۰/۰۷۴	--
زیرسطحی	۰/۰۷۵	۰/۱۷۰	-۰/۱۵۹	-۰/۸۰۷**	-۰/۱۰۵	-۰/۰۰۸	-۰/۳۰۳	۰/۲۲۰	-۰/۳۸۲	--	-۰/۲۶۷

www.SID.ir

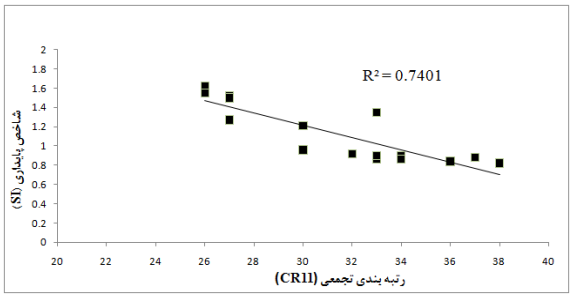
Archive of SID

در ادامهٔ این پژوهش همبستگی شاخص‌های مختلف پایداری خاک با یکدیگر نیز مورد بررسی قرار گرفته است (جدول ۱۳ و شکل‌های ۲ الی ۷). بررسی همبستگی SI، CR_9 و CR_{11} نشان داد که این سه شاخص با یکدیگر در لایهٔ سطحی دارای همبستگی معنی‌دار در سطح یک درصد هستند. لیکن شاخص پایداری SI با شاخص‌های CR_9 و CR_{11} دارای همبستگی معنی‌دار منفی است. وجود رابطهٔ منفی بین این دو شاخص به این دلیل است که در روش CR با افزایش پایداری خاک، نمرهٔ تعلق گرفته به آن کاهش می‌یابد، در حالی که در روش SI عکس این حالت وجود دارد.

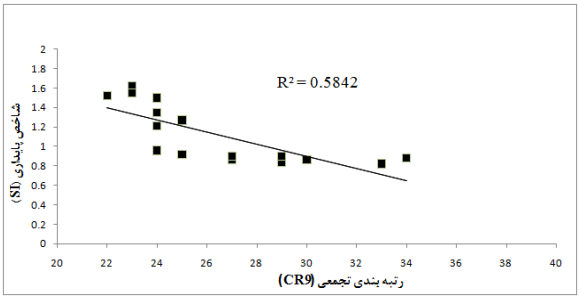
در لایهٔ زیرسطحی نیز دو شاخص CR_9 و CR_{11} با یکدیگر همبستگی معنی‌دار در سطح یک درصد داشته لیکن با شاخص SI فاقد همبستگی می‌باشند. [۲۶] نیز در بررسی شاخص‌های پایداری خاک در لایهٔ سطحی زمین‌های کشاورزی و مرتعی جنوب مشهد بین دو شاخص پایداری SI و CR رابطهٔ منفی با همبستگی $r = -۰/۷۳$ گزارش کردند. این رابطه در سطح یک درصد معنی‌دار بود. همچنین [۲۹] نیز رابطهٔ منفی معنی‌دار $r = -۰/۹۳$ بین این دو شاخص مشاهده کردند. در پژوهشی دیگر [۱۰]، همبستگی قوی بین SI و CR در زمین‌های کشاورزی جنوب شرقی مشهد گزارش شده است.

جدول ۱۳. همبستگی شاخص‌های پایداری CR_9، CR_{11} و SI در لایهٔ سطحی و زیرسطحی خاک

لایهٔ خاک	شاخص پایداری	SI	CR_9	CR_{11}
سطحی	CR_{11}	$-۰/۸۶۰^{**}$	$۰/۸۸۰^{**}$	۱
	CR_9	$-۰/۷۶۴^{**}$	۱	$۰/۸۸۰^{**}$
	SI	۱	$-۰/۷۶۴^{**}$	$-۰/۸۶۰^{**}$
زیرسطحی	CR_{11}	$-۰/۱۴۷$	$۰/۹۴۳^{**}$	۱
	CR_9	$-۰/۱۸۷$	۱	$۰/۹۴۳^{**}$
	SI	۱	$-۰/۱۸۷$	$-۰/۱۴۷$



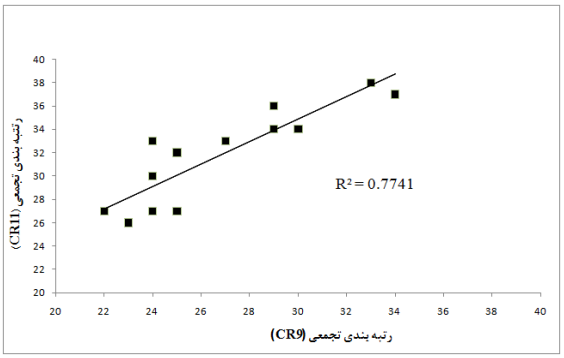
شکل ۲. رابطهٔ SI و CR_{11} در لایهٔ سطحی



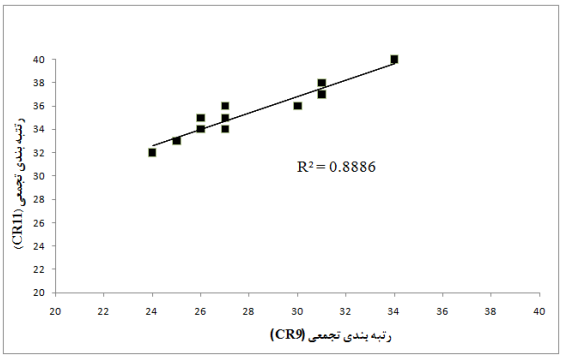
شکل ۳. رابطهٔ SI و CR_9 در لایهٔ سطحی

www.SID.ir

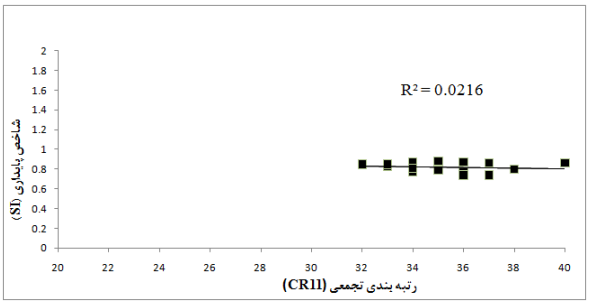
Archive of SID



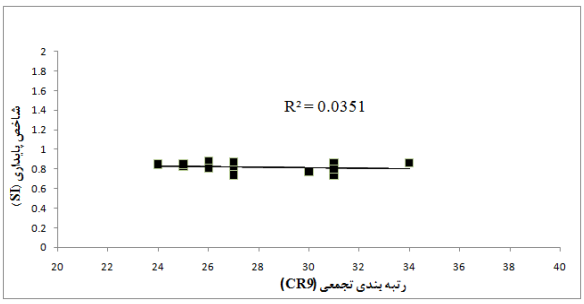
شکل ۴. همبستگی CR_{11} و CR_9 در لایهٔ سطحی



شکل ۵. همبستگی CR_{11} و CR_9 در لایهٔ زیرسطحی



شکل ۶. عدم همبستگی SI و CR_{11} در لایهٔ زیرسطحی



شکل ۷. عدم همبستگی SI و CR_9 در لایهٔ زیرسطحی

۴. بحث و نتیجه‌گیری

نوع کاربری یکی از مهم‌ترین عواملی است که می‌تواند در پایداری خاک مؤثر باشد. مقدار SI به‌جز در لایهٔ سطحی اراضی زراعی در بقیهٔ اراضی کمتر از یک بوده که نشان از ناپایداری خاک دارد. بالا بودن مقدار این شاخص در اراضی زراعی نسبت به اراضی باغی و مرتعی نشان دهندهٔ تأثیر مثبت کشت و کار در پایداری خاک لایهٔ سطحی است که عمدتاً ناشی از تأثیر مواد آلی در خاک است. در لایهٔ زیرسطحی تمامی اراضی مورد مطالعه مقدار SI کمتر از یک شده است. این موضوع نشان دهندهٔ آن است که ویژگی‌های خاک در لایه‌های زیرسطحی در محدودهٔ بهینه قرار نداشته و در نتیجه در عملکرد محصول، تخریب خاک و بیابان‌زایی مؤثرند. مطابق روش رتبه‌بندی تجمعی نیز لایه‌های سطحی و زیرسطحی خاک در هیچ یک از اراضی مورد مطالعه در کلاس‌های خیلی پایدار و پایدار قرار نگرفته‌اند. بررسی پایداری خاک با روش‌های CR_9 و CR_{11} وضعیت پایداری بهره‌برداری‌های بررسی شده را به صورت زیر نشان داد:

پایداری خاک اراضی زراعی آبی > اراضی مرتعی> اراضی باغی با آبیاری موضعی > اراضی باغی با آبیاری غرقابی

به بیان دیگر در این پژوهش اراضی آبی چندکشتی به دلیل نقش مثبت در افزایش عامل‌های اصلاحی خاک، دارای شاخص پایداری مناسب‌تری نسبت به بقیهٔ اراضی بودند. این اراضی به شرطی برای کاربری کشاورزی پایدار خواهند ماند که مدیریت زراعی مناسبی در آن‌ها اعمال شود. در ارزیابی تأثیر فعالیت‌های کشاورزی بر تخریب اراضی در منطقهٔ طالقان، اراضی آبی چند کشتی مناسب‌ترین تیمار و اراضی دیم رها شده و اراضی فرسایش یافته نامطلوب‌ترین تیمار معرفی شدند [۳۳]. تغییر کاربری اراضی مرتعی به زمین کشاورزی در منطقهٔ صفا شهر استان فارس باعث افزایش مادهٔ آلی و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در هر دو عمق سطحی و زیرسطحی خاک شده است [۱۵]. همچنین مطالعات [۱۷] نشان داد

www.SID.ir

Archive of SID

که اراضی کشاورزی آبی تک کشتی و چند کشتی شهرستان خاتم استان یزد به دلیل فرآیند آبشویی و مدیریت صحیح در این اراضی موجب کاهش فاکتورهای تخریبی خاک شده و اراضی مرتعی بیشترین میزان فاکتورهای تخریبی در خاک را دارند. نتایج این مطالعات به کشاورزی پایدار و اصولی و مدیریت مناسب در اراضی کشاورزی تأکید دارد، به‌طوری‌که کشاورزی پایدار می‌تواند به عنوان یک عامل مثبت و مانع از تخریب خاک و بیابان‌زایی تلقی شود [۱۷]. لازم به ذکر است یک سیستم کشاورزی در سطح مزرعهٔ زمانی پایدار در نظر گرفته می‌شود که علاوه بر شاخص‌های حفاظت از منابع همچون ظرفیت نگهداشت آب، عمق خاک، تعادل مواد مغذی و میزان مواد آلی خاک به شاخص‌های میدانی رضایت کشاورزان نظیر عملکرد بالا، افزایش بهره‌وری و سودآوری نیز توجه نماید [۱۱]. به عبارت دیگر حفاظت از منابع و رضایت کشاورزان از الزامات پایداری بوده که بررسی عوامل متعدد مؤثر بر رضایت کشاورزان نیازمند پژوهشی مستقل است.

به نظر می‌رسد در مزرعهٔ آموزشی و پژوهشی مورد مطالعه در سمنان، وجود مدیریت پایدار کشاورزی در اراضی زراعی با افزایش کارایی در استفادهٔ بهینه از منابع و به کارگیری ابزارهای کاربردی همچون کشاورزی ارگانیک، استفاده از مالچ زنده، کنترل علف‌های هرز، کنترل بیولوژیکی آفات، بهینه‌سازی مدیریت سامانه‌های آبیاری، رعایت چند کشتی، شخم حداقل و حفاظتی و رعایت تناوب زراعی موجب پایداری بیشتر اراضی زراعی نسبت به اراضی باغی و مرتعی شده است. به عبارت دیگر با توجه به برهم‌کنش خاک و نوع کاربری، اثرات کاربری در خاک‌های مختلف به‌طور متفاوت ظهور نموده است. لذا می‌توان گفت پایداری خاک به نوع کاربری اراضی حساسیت نشان می‌دهد. [۲، ۶] نیز کیفیت خاک را فرآیندها و ویژگی‌هایی از خاک می‌دانند که به تغییر کاربری خاک حساس می‌باشند. همچنین نتایج پژوهش حاضر در خصوص تأثیر مدیریت آبیاری نشان داد اراضی باغی با سامانه آبیاری غرقابی دارای شاخص پایداری کمتری نسبت به اراضی باغی با سامانهٔ آبیاری قطره‌ای بوده به‌طوری‌که آبیاری غرقابی به دلیل تجمع املاح در خاک به ناپایداری بیشتر خاک منجر شده است.

از بین ویژگی‌های مختلف خاک، کربن آلی و شاخص پایداری خاکدانه تأثیر مستقیم و مؤثرتری بر افزایش پایداری خاک داشته است. [۱۳] نیز پایداری سامانه‌های مدیریت اراضی و کمک به ایجاد کشاورزی پایدار و افزایش تولید محصول انار در باغات استان قم را مرهون ویژگی‌های فیزیکی و زیستی خاک دانسته که تأثیر بیشتری بر کیفیت خاک و عملکرد محصول داشته‌اند. بی‌شک وقتی ویژگی‌های فیزیکی مؤثر بر کیفیت خاک در محدودهٔ بهینه قرار داشته باشند، عملکرد محصول به بیشترین مقدار می‌رسد و تخریب خاک و محیط زیست کاهش می‌یابد [۲۲]. با توجه به نتایج به دست آمده، از آنجا که در روش‌های CR_9 و CR_{11} از ویژگی‌های بیشتر و مؤثرتری برای ارزیابی پایداری خاک استفاده می‌شود، برای پایش پایداری و کیفیت خاک توصیه می‌گردد. چنانچه ویژگی‌های کمتری برای ارزیابی کیفیت خاک داشته باشیم از روش SI می‌توان برای ارزیابی پایداری خاک و تدوین استراتژی‌های مدیریتی استفاده نمود.

سپاس‌گزاری

مؤلفین مقاله از سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، پژوهشکدهٔ حفاظت خاک و آبخیزداری و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان به خاطر ایجاد امکانات لازم برای اجرای این پژوهش سپاس‌گزاری می‌نمایند.

www.SID.ir

Archive of SID

References

[1] Alizadeh, H.A., Liaghat, A. and Sohrabi, T. (2014). Assessing pressurized irrigation systems development scenarios on groundwater resources using system dynamics modeling, Journal of Water and Soil Conservation, 3(4), 1-15.

[2] Aparicio, V., and Costa, J.L. (2007). Soil quality indicators under continuous cropping systems in the Argentinean pampas. Soil and Tillage Research. 96:155-165.

[3] Denef K, Six J, Bossuyt H, Frey SD, Elliott ET, Merckx R and Paustian K. (2001). Influence of dry–wet cycles on the interrelationship between aggregate, particulate organic matter, and microbialcommunity dynami cs. Soil Biology Biochemi 33:1599–1611.

[4] Dexter A.R. (2004). Soil physical quality. Part 1: Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. Geoderma, 120:201-214.

[5] Doran, J.W. and Parkin, B.T. (1994). Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W., and et al.(Eds.), Defining soil quality for a sustainable Environment. Soil Science Society of American, Inc., Madison, WI, USA, pp. 3-21. Special Publication. No. 35.

[6] Doran, J.W. and Jones, A.J. (1996). Quantitative indicators of Soil quality: a minimum data set.Pp. 2-25. In: Doran, J.W. and A.J. Jones. (Eds.) Methods for Assessing Soil Quality. Soil Science Society of American Special Publication, vol. 49. Soil Science Society of American, Inc., Madison, WI, USA.

[7] Emami, H., Shorafa, M., Neishaboori, M. and Liaghat, A. (2008). Prediction of Soil Physical Quality Index by Using Conveniently Measurable Soil Properties in Some Saline and Calcareous Soils. Iranian Journal of Soil and Water Research, 39(1), 39-46.

[8] Fallahzade, J. and Hajabbasi. M. A. (2011). Changes in Soil Quality Indicators by Reclamation of Salt–Affected Land in Abarkooh Plain, Central Iran, Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science, 15 (55), 139-150.

[9] Ghadami Firouzabadi, A., Chaychi, M. and Seyedan, M. (2018). Effects of Different Irrigation Systems on Yield, Some Agronomic Traits, and Water Productivity of Different Wheat Genotypes and Their Economic Assessment in Hamedan. Journal of Water Research in Agriculture, 31(2), 139-149.

[10] Ghaemi, M., A.R. Astaraei, H. Emami, M. Nassiri Mahalati, Sanaeinejad, S.H. (2014). Determining soil indicators for soil sustainability assessment using principal component analysis of astan quds- east of mashhad- Iran, J. Soil Sci. Plant Nutr, 14 (4), 987-1004.

[11] Gomez, A.A., Kelly, D.E.S., Syers, J.K., and Coughlan, K.J. (1996). Measuring sustainability of agricultural systems at the farm level. Pp. 401–410. In: Doran JW and Jones AJ(Eds). Methods for Assessing Soil Quality. Soil Science Society of America, Inc. Madison, WI.

[12] Islamic Republic of Iran Meteorological Organization (IRIMO). (2018). Meteorological Administration of Semnan province, Summary of statistics of Semnan province's meteorological station.

[13] Kamali Nejat, S.A. (2015). Investigating the Effect of Physical, Chemical, Biological and Management Properties of Soil on Pomegranate Pomegranate Function in Qom Province Using Artificial Neural Network, Master's thesis, Soil Science and Engineering Department, Agricultural and Natural Resources Campus University of Tehran.

[14] Karimi, R. (2015). Easy to use statistical analysis with SPSS, Hengham Press, pp:318.

[15] Karimi, R., Salehi, M. H and Raiesi, F. (2014). The Effect of Degradaded Rangeland Change to Other Land Uses on Some Soil Quality Indicators in Safashahr, Fars Province. JWSS, 18 (69), 131-140

[16] Khademi, H., J. Mohammadi and M. Nael. (2006). Comparison of selected soil quality indicators in different land management systems in Boroojen, Chaharmahal Bakhtiari Province. The Scientific J. of Agriculture, Shahid Chamran University, 29(3), 111-125.

[17] Khosravi. H, Zehtabian. G.H, Azareh A, and Eskandari H. (2018). Evaluating and comparing the effects of agricultural activities on soil properties (Case Study: Khatam city). Journal of Rangeland, 12(2), 232-241.

www.SID.ir

Archive of SID

[18] Lal, R. (1994). Methods and guidelines for assessing sustainable use of soil and water resources in the tropics. Soil Management Support System, USDA-NRCS, Washington, DC. pp:1-88.

[19] Mausbach, MJ., and Seybold, C.A. (1998). Assessment of soil quality. Pp. 33–43. In: Lal R (Ed) Soil quality and agricultural sustainability. Ann Arbor Press, Chelsea, MI.

[20] Mohammadi, J., H. Khademi and Nael, M. (2005). Study the variability of soil quality in selected ecosystems of Centeral Zagros. J. of Science and Technology of Agriculture and Natural Resourses, Isfahan University of Technology, 9(3), 105-120.

[21] Oster J.D. (1994). Irrigation with poor quality water. Agricultural Water Management, 25(3), 271-297.

[22] Reynolds W.D., Drury C.F., Tan C.S., Fox C.A., and Yang X.M. (2009). Use of indicators and pore volume function characteristics to quantify soil physical quality. Geoderma, 152, 252-263.

[23] Rezaieneghad, R., Abtahi, A., Zeinoddini, A., Zare, S. and Shahnazari, S. (2012). The Effect of Land Use on Some Soil Chemical Properties. 12th Iranian Soil Science Congress, Tabriz. Iran.

[24] Salamati, N., Baghani, J. and Abbasi, F. (2017). Determination of wheat water productivity in sprinkler and surface irrigation systems (Case Study in Behbahan). Iranian Journal of Soil and Water Research, 94(2), 821-830.

[25] Şeker, C., Özaytekin, H., Negiş, H., Gümüş, İ., Dedeoğlu, M., Atmaca, E., and Karaca, Ü. (2017). Assessment of soil quality index for wheat and sugar beet cropping systems on an entisol in Central Anatolia. Environmental Monitoring and Assessment, 189(4), 1-11.

[26] Shahab Arkhazloo, H., Emami, H. and Haghnia, GH. (2013). Evaluation of the relationship between soil quality determination and its sustainability indices in southern Mashhad agricultural and pasture land. Journal of Soil Research (Soil and Water Sciences), 26(3), 227-234.

[27] Shukla, M.K., Lal R., and Ebinger, M. (2006). Determining soil quality indicators by factor analysis. Soil Till. Res., ۸۷, ۱۹۴-۲۰۴.

[28] Shukla, M. K., Lal, R. and Ebinger, M. (2004). Soil quality indicators for the North Appalachian experimental watersheds in Coshocton, Ohio. Soil Science, 169, 195–205.

[29] Singh, M.J. and Khera, K.L. (2009). Physicalindicators of soil quality in relation to soilerodibility under different land uses. Arid Land Research and Management, 23, 152-167.

[30] Soil Survey Staff. (2014). Keys to Soil Taxonomy. Twelfth Edition. USDA, NRCS.

[31] Vahdatkhah, M., Farpoor, M.H. and Sarcheshmehpoor, M. (2013). Comparison of some Soil Quality Indicators in Different Land Uses/Covers in Mahan-Joopar Area,Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science, 17(64), 107-117.

[32] Van Wambeke, A.R. (2000). The Newhall Simulation Model for Estimating Soil Moisture & Temperature Regimes, Department of Crop and Soil Sciences, Cornell University, Ithaca, NY USA.

[33] Zehtabian, Gh. R. and Khosravi, H. (2010). Effect of Agricultural Activities on Land Degradation in Taleghan Region, Journal of Range and Watershed Management, Iranian Journal of Natural Resources, 63(2), 207-218.

www.SID.ir