

ارزیابی رابطه مدل‌های تعیین کیفیت خاک و شاخص‌های پایداری آن در زمین‌های کشاورزی و مرتعی جنوب مشهد

حسین شهاب آرخازلو^{1*}، حجت امامی و غلامحسین حق‌نیا

دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد؛ hose_shohab@yahoo.com

استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد؛ hemami@um.ac.ir

استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد؛ ghaghnia@gmail.com

چکیده

یکی از مهمترین پیامدهای کاهش کیفیت خاک، کاهش پایداری فیزیکی و افزایش آسیب‌پذیری در برابر فرسایش خاک می‌باشد. در این مطالعه با هدف بررسی تأثیر کیفیت خاک بر پایداری آن، رابطه بین مدل‌های کیفیت خاک و دو شاخص پایداری آن شامل شاخص پایداری (SI) و رتبه تجمعی (CR)، در منطقه جنوب مشهد مورد ارزیابی قرار گرفت. مقادیر SI و CR همبستگی معنی‌داری با فاکتور فرسایش‌پذیری معادله جهانی فرسایش خاک (K) داشتند، لذا به عنوان شاخص‌های بیانگر وضعیت فرسایش خاک منطقه، مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج نشان داد که چهار مدل کیفیت خاک شامل IQ_{IMDS} ، IQ_{ITDS} ، NQ_{IMDS} ، NQ_{ITDS} دارای همبستگی معنی‌داری با شاخص‌های پایداری خاک بودند که این همبستگی در مورد شاخص SI بیشتر از شاخص CR بود. بنابراین به نظر می‌رسد که تغییر کیفیت خاک می‌تواند تأثیر معنی‌داری بر وضعیت پایداری آن داشته باشد. از آنجا که شاخص SI همبستگی بالاتری با کیفیت خاک داشته و ویژگی‌های کمتری برای تعیین آن لازم بود، نتیجه‌گیری شد که برای تعیین تغییرات کیفیت خاک شاخص SI بهتر از CR است.

واژه‌های کلیدی: رتبه تجمعی، شاخص پایداری، فرسایش‌پذیری

مقدمه

مدیریت حاکم بر آن تغییر می‌کند و با تعیین شاخص‌های کیفیت خاک² مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (دوران و پارکین، 1994 و کارلن و همکاران، 1994). شاخص‌های کیفیت خاک به صورت فرآیندها و ویژگی‌هایی از خاک تعریف می‌شوند که به تغییر کاربری خاک حساس باشند (پاریسیو و کوستا، 2007 و دوران و جونز، 1996)، این ویژگی‌ها برای انجام یک ارزیابی ساده و کاربردی کیفیت خاک، اهمیت دارند (دومانسکی و پیری، 2000).

امروزه افزایش جمعیت در کشورهای در حال توسعه، موجب افزایش بهره‌برداری فراتر از ظرفیت منابع طبیعی و تخریب خاک می‌شود که این امر تولید محصول را نیز کاهش می‌دهد (کی و همکاران، 2009). کیفیت خاک بیانگر ظرفیت نوع مشخصی از خاک برای کاربرد آن در زیست‌بوم‌های طبیعی یا مدیریت شده می‌باشد، که از دهه 1960 به بعد مورد توجه قرار گرفته است (کارلن و همکاران، 2001). کیفیت خاک عاملی است که در اثر ویژگی‌های ذاتی خاک و چگونگی

¹ نویسنده مسئول، آدرس: مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، گروه علوم خاک، کد پستی 91779-48978

* دریافت: آذر 1390 و پذیرش: شهریور 1391

ترکیب و به صورت یک کمیت عددی ارائه می‌گردد که این عدد به عنوان شاخص کلی کیفیت خاک، منعکس کننده مجموعه‌ی ویژگی‌های مورد نظر می‌باشد (کی و همکاران، 2009).

فرسایش خاک از جمله عوامل مهم در تخریب اراضی مناطق خشک و نیمه خشک، مانند شمال شرق ایران بوده و به طور متقابل در اثر تخریب ویژگی‌های فیزیکی خاک فرسایش نیز تشدید می‌شود، بنابراین ارزیابی قابلیت مدل‌های تعیین کیفیت خاک در برآورد فرسایش پذیری خاک در کاربری‌های مختلف زمین ضروری می‌باشد (سینگ و خیرا، 2009). در این مطالعه به منظور بررسی کارایی شاخص‌های SI و CR برای تعیین پایداری یا عدم پایداری فیزیکی خاک‌های منطقه جنوب دشت مشهد، همبستگی شاخص‌های فوق با فاکتور فرسایش‌پذیری معادله جهانی فرسایش (فاکتور K) در زمین‌های کشاورزی و مرتعی بررسی شد. همچنین با هدف تعیین میزان تأثیر کیفیت خاک بر پایداری آن در برابر تخریب فیزیکی، رابطه شاخص‌های پایداری خاک شامل SI و CR با مدل‌های تعیین کیفیت خاک شامل IQI و NQI، در این اراضی مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

خصوصیات منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش تعداد 60 نمونه دست نخورده و دست خورده خاک سطحی (عمق 0 تا 30 سانتی‌متر) از منطقه‌ای به وسعت 1800 هکتار در 40 کیلومتری جنوب شهرستان مشهد در حد فاصل طول جغرافیایی "52/17"، 31، 59° و "51/59"، 36'، 59° شرقی و عرض جغرافیایی "52/23"، 00'، 36° و "27/21"، 57'، 36° شمالی تهیه گردید. این منطقه دارای اقلیم خشک تا نیمه خشک با میانگین دمای سالانه‌ی 14 درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالانه 250 میلی‌متر و از نظر رده بندی خاک در راسته Haplocalcid قرار دارد. 70 درصد اراضی منطقه زیر کشت دیم غلات بوده که تعداد 41 نمونه خاک از این زمین‌ها تهیه شد و 30 درصد باقی مانده مراتع با پوشش گیاهی ضعیف می‌باشند که تهیه 19 نمونه خاک نیز از آنها بود. الگوی نمونه‌برداری به صورت تصادفی و نمونه-برداری مرکب بود که متوسط فاصله بین نمونه‌ها 400 متر در نظر گرفته شد.

تعیین شاخص‌های پایداری خاک و مدل‌های کیفیت آن

پس از جمع آوری و آماده سازی نمونه‌ها، 18 ویژگی موثر بر کیفیت و پایداری خاک اندازه‌گیری و برای تعیین شاخص‌های مورد نظر استفاده گردید. همچنین با بررسی شش پروفیل در سطح منطقه، عمق خاک منطقه

یکی از عوامل مهم و موثر بر کیفیت خاک، شاخص فرسایش پذیری آن می‌باشد. کیفیت خاک بر میزان فرسایش و تخریب خاک اثر گذار بوده و فرسایش نیز بر کیفیت خاک مؤثر است، از این رو دو پارامتر کیفیت و فرسایش خاک به شدت به یکدیگر وابسته‌اند (سینگ و خیرا، 2009). فرسایش سبب کاهش شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک مانند ظرفیت نگهداری آب و پایداری ساختمان خاک می‌شود. همچنین با تغییر کاربری زمین و افزایش شدت عملیات زراعی میزان فرسایش افزایش و شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک کاهش می‌یابند (والاس و تری، 1998).

گومز و همکاران (1996) به منظور تعیین پایداری خاک در سیستم‌های مختلف کشاورزی، روشی براساس اندازه‌گیری شاخص‌های کیفیت خاک پیشنهاد کردند. این روش توسط پژوهشگران دیگر نیز استفاده شده است (موسباچ و سیبولد، 1998). در این روش پنج ویژگی خاک به عنوان شاخص‌های کیفیت فیزیکی مؤثر بر پایداری سیستم خاک در نظر گرفته می‌شوند و میانگین عددی آنها به عنوان شاخص پایداری¹ (SI) اطلاق می‌گردد (سینگ و خیرا، 2009). روش دیگر برای تعیین پایداری خاک بر اساس شاخص‌های کیفیت فیزیکی، توسط شوکلا و همکاران (2004) ارائه شده که به روش رتبه تجمعی² (CR) معروف است. در این روش مقادیر هر شاخص بر اساس حدود بحرانی ارائه شده توسط لال (1994) به پنج گروه تقسیم و به هر گروه نمره 1 تا 5 اختصاص می‌یابد به طوری که نمره 1 به گروه دارای بیشترین کیفیت و 5 به گروه دارای کمترین کیفیت تعلق می‌گیرد. در نهایت مجموع نمرات شاخص‌های مختلف کیفیت خاک به عنوان شاخص رتبه تجمعی (CR)، در نظر گرفته می‌شود. در این روش با افزایش مقدار CR، پایداری خاک کاهش می‌یابد. بنابراین از دو شاخص CR و SI برای تعیین پایداری فیزیکی خاک استفاده می‌شود که با فرسایش‌پذیری خاک در ارتباط هستند (سینگ و خیرا، 2009). در کاربری‌های کشاورزی و زیست محیطی، دو مدل شاخص کیفیت تجمعی (IQI³) و شاخص کیفیت نمورو (NQI⁴) نیز برای تعیین کیفیت خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد (دوران و پارکین 1994، هان و وو 1994 و کوین و ژاو 2000). در این مدل‌ها مجموعه‌ای از ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک در قالب یک مدل ریاضی با هم

1. Sustainability index

2. Cumulative rating

3. Integrated quality index

4. Nemer quality index

های مورد بررسی متفاوت هستند، برای ارائه آنها در قالب یک مقدار کلی واحد سنجش حذف گردید که برای این منظور از توابع عضویت فازی استفاده شد (توربرت و همکاران، ۲۰۰۸ و کی و همکاران، ۲۰۰۹). در این روش برای هر ویژگی خاک، تابعی تعریف می‌شود که با استفاده از آن، مقادیر ویژگی مورد نظر بین صفر (کمترین مطلوبیت برای کیفیت خاک) و ۱ (بیشترین مطلوبیت برای کیفیت خاک) نمره دهی می‌شود (کی و همکاران، ۲۰۰۹). با استفاده از این روش ویژگی‌های مورد بررسی برای هر نمونه خاک نمره‌دهی شدند. برای تعیین وزن ویژگی‌ها نیز از روش تجزیه عامل^۵ (FA^۵) استفاده شد (شوگلا و همکاران، ۲۰۰۶ و سان و همکاران، ۲۰۰۳). در نهایت با استفاده از روابط زیر مدل‌های IQI و NQI محاسبه شدند:

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

در این معادله W_i وزن تعلق یافته به هر ویژگی خاک، N_i مقدار نمره تعلق یافته به هر ویژگی و n تعداد ویژگی‌های مورد نظر است.

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

در این معادله p_{ave} میانگین نمره تعلق یافته به ویژگی‌های انتخاب شده در هر نمونه خاک، p_{min} حداقل نمره موجود در بین ویژگی‌های انتخاب شده برای هر نمونه و n تعداد ویژگی‌های مورد نظر برای محاسبه شاخص است. در نتیجه در پایان برای هر نمونه خاک، چهار مدل کلی کیفیت خاک شامل IQI_{MDS} ، IQI_{TDS} ، NQI_{MDS} ، NQI_{TDS} محاسبه گردید.

پس از محاسبه شاخص‌های پایداری خاک (SI) و (CR) و مدل‌های کیفیت خاک (IQI_{MDS} ، IQI_{TDS} ، NQI_{MDS} ، NQI_{TDS}) در نمونه‌ها، به منظور بررسی چگونگی رابطه بین شاخص‌های پایداری خاک با فرسایش آن سطح همبستگی معنی‌دار بین دو شاخص پایداری خاک (SI و CR) و فاکتور فرسایش پذیری معادله جهانی فرسایش خاک (فاکتور K) مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین به منظور بررسی رابطه بین کیفیت خاک و پایداری آن، همبستگی بین شاخص‌های پایداری خاک و مدل‌های تعیین کیفیت خاک بررسی شد. همبستگی‌ها در سه مجموعه نمونه‌های خاک اراضی کشاورزی (۴۱ نمونه)، مرتع (۱۹ نمونه) و کل نمونه‌ها (۶۰ نمونه) با استفاده از نرم افزار آماری JMP4 (انستیتو

معادل ۱/۵ متر تعیین شد. در ادامه شاخص‌های SI و CR به عنوان شاخص‌های نشان دهنده پایداری خاک و مدل‌های IQI و NQI برای تعیین کیفیت خاک محاسبه شدند. در هر نمونه، از مقادیر پنج ویژگی خاک شامل عمق خاک، میزان کربن آلی، درصد خاکدانه‌های پایدار در آب (WSA)، جرم مخصوص ظاهری و ظرفیت نگهداری آب (WHC) میانگین گرفته شد و به عنوان شاخص پایداری خاک (SI) ثبت گردید (گومز و همکاران، ۱۹۹۶). همچنین به منظور تعیین شاخص رتبه تجمعی (CR)، برای نه ویژگی خاک شامل pH، EC، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD)، درصد خاکدانه‌های پایدار در آب (WSA)، ظرفیت نگهداری آب (WHC)، بافت خاک، جرم مخصوص ظاهری، تخلخل کل و درصد کربن آلی، بر اساس حدود بحرانی ارائه شده توسط لال (۱۹۹۴) نمره ۱ تا ۵ اختصاص یافت، به طوری که نمره ۱ برای بیشترین کیفیت ویژگی مورد نظر و نمره ۵ برای کمترین کیفیت ویژگی مورد نظر اختصاص داده شد. در نهایت مجموع نمرات نه ویژگی برای هر خاک به عنوان شاخص رتبه تجمعی (CR) آن خاک تعیین گردید (شوگلا و همکاران، ۲۰۰۴).

هر یک از مدل‌های IQI و NQI با استفاده از دو مجموعه ویژگی‌های خاک تعیین شدند. مجموعه اول شامل تمام ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک بود که به عنوان مجموعه کل داده‌ها^۱ (TDS) در نظر گرفته شد و مجموعه دوم شامل مهمترین ویژگی‌های موثر بر کیفیت خاک بودند که مجموعه حداقل داده‌ها^۲ (MDS) نامیده می‌شوند (کی و همکاران، ۲۰۰۹). برای گزینش مجموعه-ی MDS، از روش تجزیه مولفه‌های اصلی (PCA^۳) استفاده شد (دوران و پارکین، ۱۹۹۴) که این کار با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (انستیتو SAS، ۱۹۸۹) انجام گرفت. روش PCA برای کاهش حجم داده‌ها، از میان کل ویژگی‌های مورد بررسی خاک، ویژگی‌هایی که بیشترین تأثیر را بر کیفیت خاک منطقه دارند، انتخاب می‌کند (کی و همکاران، ۲۰۰۹). طبق روش اندریوس و همکاران (۲۰۰۲) و گوارتز و همکاران (۲۰۰۶) مولفه‌های اصلی با ارزش ویژه^۴ بزرگتر از ۱ به عنوان MDS انتخاب شدند.

همچنین برای محاسبه IQI و NQI لازم است ویژگی‌های خاک نمره دهی و وزن دهی شوند (کی و همکاران، ۲۰۰۹). با توجه به اینکه واحد سنجش ویژگی-

1. Total data set

2. Minimum data set

3. Principle component analysis

4. Eigen values

5. Factor analysis

SAS (2000) و از نوع همبستگی پیرسون در سطح احتمال 1 درصد، صورت گرفت.

نتایج و بحث

میانگین و دامنه تغییرات ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در نمونه‌های خاک به همراه منبع روش مورد استفاده در اندازه‌گیری ویژگی‌ها در جدول 1 ارائه شده است. همچنین ارزش ویژه به دست آمده از آنالیز تجزیه مولفه‌های اصلی (PCA) ویژگی‌ها در این جدول ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود 6 ویژگی از 18 ویژگی مورد بررسی دارای ارزش ویژه بزرگتر از 1 بودند که به عنوان مجموعه MDS انتخاب شدند.

در جدول شماره 2 مقادیر سهم هر ویژگی (COM) حاصل از آنالیز تجزیه عامل (FA) و در دو مجموعه MDS و TDS ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در هر مجموعه نسبت سهم هر ویژگی به مجموع سهم ویژگی‌های مورد نظر در آن مجموعه، به عنوان وزن آن ویژگی محاسبه و در روابط مدل‌های کیفیت خاک وارد می‌شود (کی و همکاران، 2009). میزان تأثیر گذاری هر ویژگی در مدل‌های کیفیت خاک، به وزن اختصاص یافته به آن ویژگی بستگی دارد. بنابراین ترتیب تأثیر گذاری مجموعه‌ی ویژگی‌های مورد بررسی در این پژوهش (جدول 1) بر کیفیت خاک، به ترتیب وزن به دست آمده برای هر ویژگی (جدول 2) می‌باشد. به این ترتیب که ویژگی دارای وزن بیشتر در هر مجموعه‌ی MDS یا TDS دارای تأثیر بیشتر بر مدل کیفیت خاک بوده و با کاهش وزن آن این تأثیر کمتر می‌شود.

مقادیر میانگین و دامنه تغییرات برای شاخص‌های پایداری خاک و مدل‌های کیفیت آن که در این پژوهش به دست آمده است، برای سه مجموعه نمونه خاک اراضی زراعی، مرتع و کل منطقه در جدول شماره 3 ارائه شده است. لازم به ذکر است که مقادیر ارائه شده در این جدول همگی بدون واحد می‌باشد.

ضریب تغییرات (CV) برای شاخص CR، 0/09 و برای شاخص SI، 0/25 بود، که این امر بیانگر تغییرپذیری بیشتر شاخص SI نسبت به CR در سطح منطقه است. بررسی همبستگی بین فرسایش‌پذیری خاک و شاخص‌های پایداری آن نشان داد که بین فاکتور K و شاخص CR همبستگی مثبت و بین فاکتور K و شاخص SI همبستگی منفی وجود داشت (شکل 1 و 2). سینگ و خرا (2009) نیز روابط مشابهی به دست آوردند.

بین فاکتور K و شاخص CR در اراضی کشاورزی همبستگی $r = 0/7$ ، در اراضی مرتع $r = 0/66$ و در کل نمونه‌ها $r = 0/68$ مشاهده شد، همچنین بین فاکتور

K و شاخص SI در اراضی کشاورزی همبستگی $-0/8$ = r ، در اراضی مرتع $-0/79$ = r و در کل نمونه‌ها نیز $-0/8$ = r وجود داشت. همه این همبستگی‌ها در سطح یک درصد معنی‌دار بودند. این امر نشان می‌دهد با افزایش پایداری فیزیکی خاک که به صورت افزایش شاخص SI و کاهش شاخص CR بیان می‌شود، علاوه بر اینکه شرایط برای رشد گیاه و وظایف زیست محیطی خاک بهبود می‌یابد، فرسایش‌پذیری خاک نیز کاهش یافته و پایداری فیزیکی آن در برابر فرسایش آبی افزایش می‌یابد. سینگ و خرا (2009) نیز به طور کلی همبستگی‌های معنی‌دار مشابهی بین فرسایش‌پذیری خاک و شاخص‌های پایداری آن مشاهده کردند. آنها بین فاکتور K و شاخص CR همبستگی $0/75 = r$ و بین فاکتور K و شاخص SI همبستگی $-0/83 = r$ مشاهده کردند، البته نمونه‌های مورد بررسی این پژوهشگران مربوط به اراضی با کاربری‌های مختلف بود و همبستگی به طور کلی و بدون تفکیک کاربری‌ها گزارش شده است.

بین شاخص‌های SI و CR رابطه منفی وجود داشت (شکل 3) و همبستگی بین آنها $-0/73 = r$ و در سطح یک درصد معنی‌دار بود. وجود رابطه منفی بین این دو شاخص به این دلیل است که در روش CR با افزایش پایداری خاک نمره تعلق گرفته به آن کاهش می‌یابد در حالی که در روش SI عکس این حالت وجود دارد. سینگ و خرا (2009) نیز رابطه منفی معنی‌دار $-0/93 = r$ بین دو شاخص مشاهده کردند.

با توجه به این که هر دو شاخص پایداری خاک مذکور با همدیگر همبستگی معنی‌دار داشته و از طرفی همبستگی هر دو شاخص با فرسایش‌پذیری خاک نیز معنی‌دار بود، می‌توان از هر دوی آنها برای پایداری خاک در برابر فرسایش آبی استفاده کرد. ولی از آنجایی که برای به دست آوردن شاخص SI تعداد کمتری از ویژگی‌های خاک اندازه‌گیری می‌شود و همبستگی این شاخص با فاکتور K نیز بیشتر از شاخص CR بود، به نظر می‌رسد استفاده از SI برای بیان وضعیت پایداری فیزیکی خاک در برابر فرسایش مفیدتر و راحت‌تر از شاخص CR باشد.

نتایج آنالیز همبستگی بین مقادیر بدست آمده از مدل‌های کیفیت خاک، شامل IQI_{TDS} ، IQI_{MDS} ، NQI_{TDS} و NQI_{MDS} و شاخص‌های پایداری خاک (SI و CR) در جدول شماره 4 نشان داده شده است.

به طور کلی مدل‌های کیفیت خاک دارای همبستگی مثبت با شاخص SI بودند در حالی که با شاخص CR دارای همبستگی منفی هستند، این امر نشان

گرفتند در حالی که برای تعیین شاخص CR از نه عامل استفاده شد. لذا با تغییر کیفیت خاک ویژگی‌های تعیین کننده شاخص SI بیشتر تحت تأثیر قرار می‌گیرند، در حالی که ویژگی‌های تعیین کننده شاخص CR که تعداد بیشتری هستند، حساسیت کمتری به تغییر کیفیت خاک نشان می‌دهند.

با توجه به اینکه شاخص‌های پایداری خاک (SI و CR) از یک سو رابطه معنی‌داری با فاکتور فرسایش-پذیری معادله جهانی فرسایش خاک (فاکتور K) داشتند و از سوی دیگر همبستگی آنها با مدل‌های کیفیت خاک معنی‌دار بود، می‌توان نتیجه گرفت که کیفیت خاک علاوه بر تأثیری که بر رشد گیاه و بهبود فعالیت‌های بیولوژیکی خاک دارد (لال، 1994 و شوکلا و همکاران، 2006) بر فرسایش‌پذیری و در نتیجه پایداری فیزیکی خاک منطقه مورد مطالعه نیز تأثیر دارد. چنین نتیجه‌ای توسط سینگ و خرا (2009) نیز بیان شده است.

به طو کلی نتیجه گرفته می‌شود که شاخص SI برای بیان پایداری خاک به منظور بررسی جنبه‌های تخریب خاک کارایی بیشتری دارد. با توجه به این مطالعه می‌توان گفت که در منطقه مورد مطالعه کیفیت خاک تأثیر مهمی بر فرسایش خاک و در نتیجه پایداری خاک در اکوسیستم دارد. لذا به منظور پیشگیری از تخریب خاک لازم است استفاده از زمین به گونه‌ای باشد که شاخص-های کیفیت خاک را در حد مطلوب حفظ کند.

می‌دهد که با افزایش کیفیت خاک، پایداری آن در برابر تخریب فیزیکی نیز افزایش می‌یابد که این امر به صورت افزایش شاخص SI و کاهش شاخص CR می‌باشد. در اثر افزایش کیفیت خاک استقرار پوشش گیاهی تسریع شده و پایداری ساختمان خاک نیز افزایش می‌یابد (جنا و گوپتا، 2002) که این دو عامل منجر به افزایش پایداری خاک می‌شود. سینگ و خرا (2009) نیز بیان کردند که پایداری خاک تحت تأثیر کیفیت خاک می‌باشد.

با توجه به نتایج جدول شماره 4 مشاهده می‌شود که بین مدل‌های کیفیت خاک و شاخص SI در هر سه مجموعه نمونه‌های مربوط به زمین‌های کشاورزی، مرتع و کل نمونه‌ها همبستگی معنی‌دار و بالایی وجود دارد ($p < 0/01$). در حالی که همبستگی مدل‌های کیفیت خاک با شاخص CR تنها در مورد نمونه‌های مربوط به زمین‌های کشاورزی و کل نمونه‌ها معنی‌دار بوده و در زمین‌های مرتعی همبستگی معنی‌داری وجود نداشت و به طور کلی نسبت به شاخص SI ضرایب همبستگی کمتر بود.

با توجه به این نتایج می‌توان گفت تغییر کیفیت خاک تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های پایداری آن داشت که این تأثیر بر شاخص SI شدیدتر بود. این امر می‌تواند به دلیل استفاده از عوامل کمتر در تعیین شاخص SI نسبت به شاخص CR باشد، زیرا همان طور که اشاره شد در تعیین شاخص SI پنج ویژگی خاک مورد استفاده قرار

جدول 1- ویژگی‌های اندازه‌گیری شده و ارزش ویژه‌ی به دست آمده از آنالیز تجزیه مولفه‌های اصلی (PCA) ویژگی‌ها

ویژگی مورد نظر	میانگین	دامنه تغییر	ارزش ویژه به حاصل از PCA	منبع روش مورد استفاده برای اندازه‌گیری
میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD)	1 (mm)	4/5-0/15	67/35	کمپر و روزنا، 1986
نسبت جذب سدیم (SAR)	18(%)	36-7	0/0011	پیچ و همکاران، 1982
pH	7/6	8-6/9	0/0024	پیچ و همکاران، 1982
EC	7/8 (dSm ⁻¹)	18/1-5/3	0/0452	پیچ و همکاران، 1982
درصد آهک معادل	15/8(%)	32/5-6/1	11/87	پیچ و همکاران، 1982
جرم مخصوص ظاهری	1/4 (gcm ⁻³)	1/8-1/1	0/0137	رینولنز و همکاران، 2009
درصد رس	14(%)	22-2/5	0/82	گی و باوذر، 1986
درصد شن	47(%)	90-15	0/0732	گی و باوذر، 1986
درصد سیلت	39(%)	67-6	0/476	گی و باوذر، 1986
درصد کربن آلی	0/9(%)	2/2-0/2	258/6	والکلی و بلک، 1934
شاخص پایداری خاکدانه‌ها (SI)	4/5 (-)	12/8-1	4/3	رینولنز و همکاران، 2009
ظرفیت زراعی نسبی RFC	0/8 (-)	0/94-0/67	0/0196	رینولنز و همکاران، 2009
ظرفیت آب در دسترس گیاه (PAWC)	0/29 (m ³ m ⁻³)	0/4-0/18	0/0072	رینولنز و همکاران، 2009
تخلخل هوایی AC	0/1 (m ³ m ⁻³)	0/17-0/03	0/0001	رینولنز و همکاران، 2009
شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف (S _{شیب})	0/065 (-)	0/088 -0/036	0	دکستر، 2004
تخلخل کل	0/3 (m ³ m ⁻³)	0/42 -0/14	0/0101	رینولنز و همکاران، 2009
فاکتور فرسایش‌پذیری معادله جهانی فرسایش خاک (K)	0/48 (-)	0/42-0/14	18	ویشمایر و همکاران، 1969
درصد خاکدانه‌های پایدار در آب (WSA)	13/5(%)	74/5-2	515/9	سینگ و خرا، 2009

* ویژگی‌های دارای ارزش ویژه‌ی بزرگتر از 1 به صورت پر رنگ نشان داده شده و به عنوان مجموعه‌ی MDS در نظر گرفته شده‌اند.

** واحد هر ویژگی در کنار مقدار میانگین آن آورده شده است و کمیت‌های بدون بعد به صورت (-) آورده شده است.

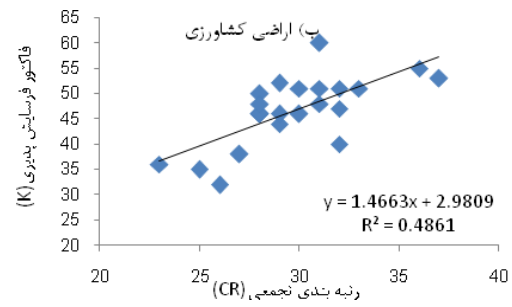
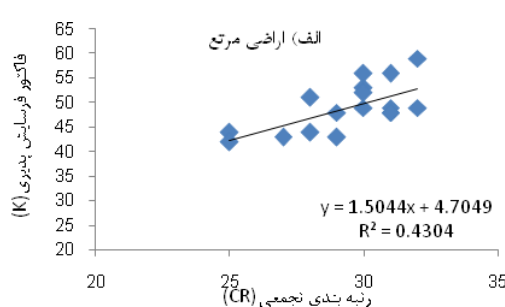
جدول 2 - وزن ویژگی‌های کیفیت خاک در دو مجموعه TDS و MDS با استفاده از تجزیه عامل (FA)

MDS		TDS		ویژگی	MDS		TDS		ویژگی
وزن	COM	وزن	COM		وزن	COM	وزن	COM	
		0/003	2/57	% رس	0/092	36	0/203	177/4	MWD
		0/00014	0/12	% شن			0	0/00097	SAR
		0/00035	0/3	% سیلت			0	0/00227	pH
0/0056	2/2	0/02	18/015	SI			0	0/064	EC
		0	0/03	RFC	0/0039	1/5	0/024	20/44	%CaCO ₃
		0	0049	PAWC			0	0/01159	BD
		0	0/0007	AC	0/227	89	0/3	262/1	%OC
0/308	121	0/14	121/6	K			0	0	S _{gi}
0/366	144	0/31	269/12	WSA			0	0/00919	تخلخل

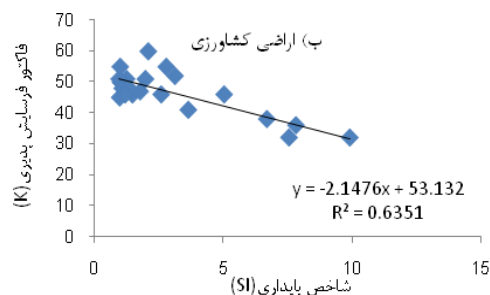
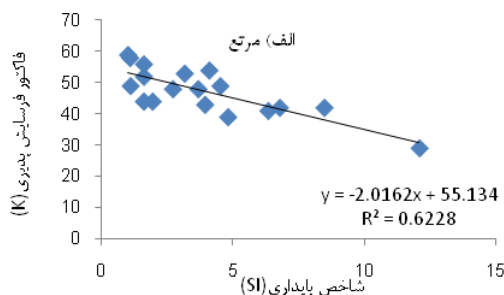
* ویژگی‌های موجود در مجموعه MDS به صورت پر رنگ نشان داده شده. Com: سهم ویژگی

جدول 3- میانگین و دامنه تغییرات شاخص‌های پایداری و مدل‌های کیفیت خاک

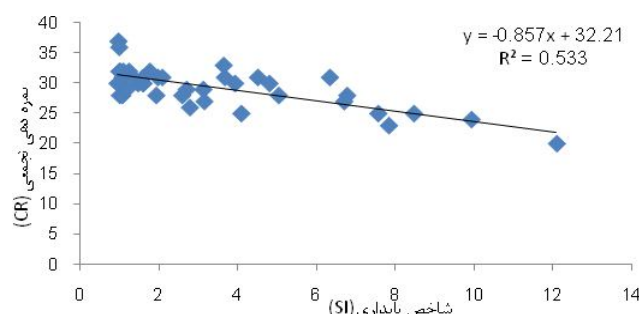
دامنه تغییرات	میانگین		دامنه تغییرات	میانگین	
0/75 - 0/23	0/49	NQI _{MDS} کل منطقه	0/62 - 0/3	0/42	IQI _{TDS} کل منطقه
0/75 - 0/31	0/49	NQI _{MDS} اراضی زراعی	0/53 - 0/3	0/4	IQI _{TDS} اراضی زراعی
0/74 - 0/3	0/48	NQI _{MDS} مرتع	0/62 - 0/36	0/46	IQI _{TDS} مرتع
12/1 - 1	3/4	SI کل منطقه	0/38 - 0/12	0/25	IQI _{MDS} کل منطقه
10 - 1	3	SI اراضی زراعی	0/38 - 0/16	0/25	IQI _{MDS} اراضی زراعی
13 - 1	3/92	SI مرتع	0/38 - 0/12	0/25	IQI _{MDS} مرتع
37 - 23	29/6	CR کل منطقه	0/47 - 0/22	0/31	NQI _{TDS} کل منطقه
37 - 23	29/4	CR اراضی زراعی	0/38 - 0/22	0/29	NQI _{TDS} اراضی زراعی
32 - 25	29/8	CR مرتع	0/47 - 0/28	0/34	NQI _{TDS} مرتع



شکل 1- رابطه بین شاخص رتبه تجمعی (CR) و فرسایش پذیری خاک (K) در دو کاربری زمین (الف) مرتع (ب) کشاورزی



شکل 2- رابطه بین شاخص پایداری خاک (SI) و فرسایش پذیری خاک (K) در دو کاربری زمین (الف) مرتع (ب) کشاورزی



شکل 3- رابطه بین شاخص پایداری خاک (SI) و شاخص نمره دهی تجمعی (CR)

جدول 4- سطح معنی‌داری همبستگی بین مدل‌های کیفیت خاک و شاخص‌های پایداری آن

مدل‌های کیفیت خاک	شاخص پایداری خاک (SI)			شاخص نمره دهی تجمعی (CR)		
	اراضی کشاورزی	اراضی مرتعی	کل نمونه‌ها	اراضی کشاورزی	اراضی مرتعی	کل نمونه‌ها
IQI _{TDS}	0/94 ^{**}	0/95 ^{**}	0/94 ^{**}	-0/44 ^{**}	-0/34n.s	-0/38 ^{**}
IQI _{MDS}	0/94 ^{**}	0/86 ^{**}	0/90 ^{**}	-0/56 ^{**}	-0/44n.s	-0/50 ^{**}
NQI _{TDS}	0/93 ^{**}	0/94 ^{**}	0/95 ^{**}	-0/43 ^{**}	-0/36n.s	-0/39 ^{**}
NQI _{MDS}	0/92 ^{**}	0/88 ^{**}	0/90 ^{**}	-0/55 ^{**}	-0/43n.s	-0/49 ^{**}

** همبستگی معنی‌دار در سطح یک درصد

* همبستگی معنی‌دار در سطح پنج درصد و n.s عدم وجود همبستگی معنی‌دار

فهرست منابع:

- Andrews, S.S., Mitchell J.P., Mancinelli R., Karlen K.L., Hartz T.K., Horwath W.R., Pettygrove G.S., Scow K.M. and D.S. Munk. 2002. On-farm assessment of soil quality in California's central valley. *Agronomy journal*. 94:12–23.
- Aparicio, V., and J.L. Costa. 2007. Soil quality indicators under continuous cropping systems in the Argentinean pampas. *Soil and Tillage Research*. 96:155–165.
- Brejda, J.J., Moorman, T.B., Karlen, D.L., and T.H. Dao. 2000. Identification of regional soil quality factors and indicators: I. Central and Southern High Plains. *Soil Science Society of American Journal*. 64:2115–2124.
- Dexter, A. R. 2004. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effect on root growth. *Geoderma*. 120:201- 214.
- Doran, J.W. and B.T. Parkin. 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 America, Inc., Madison, WI, USA, pp. 3–21. Special Publication. Number 35.
- Doran, J.W., and A.J. Jones. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set .1996. pp. 2-25. *In: Doran, J.W., and A.J. Jones. (Eds) Methods for Assessing Soil Quality*. Soil Science Society of America Special Publication, vol. 49. Soil Science Society of America, Inc., Madison, WI, USA.
- Dumanski, J., and C. Pieri. 2000. Land quality indicators: research plan. *Agriculture Ecosystem and Environment*. 81:93-102.
- Gee, G.W., and J.M. Bauder. 1986. Partical-size analysis. Pp 383-411. *In: Page, A. L., and et al (Eds), Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods*. Agronomy Monograph No. 9 (2nd edition), American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Gomez, A.A., Kelly, D.E.S., Syers, J.K., and K.J. Coughlan. 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.
- Govaerts, B., Sayre K.D., and J. Deckers. 2006. A minimum data set for soil quality assessment of wheat and maize cropping in the highlands of Mexico. *Soil and Tillage Research*. 87:163–174.

11. Han, W.J., and Q.T. Wu. 1994. A primary approach on the quantitative assessment of soil quality. *Chinese Journal of Soil Science*. 25:245–247.
12. Jena, A., and K. Gupta. 2002. Determination of pore volume and pore distribution by liquid extrusion porosimetry without using mercury. *Ceramic Engineering and Science Proceedings*. 23: 277–284.
13. Karlen, D.L., Andrews, S.S., and J.W. Doran. 2001. Soil quality: current concepts and applications. *Advances in Agronomy*. 74:1 – 39.
14. Karlen, D.L., Wollenhaupt, N.C., Erbach, D.C., Berry, E.C., Swan, J.B., Eash, N.S., and J.L. Jordahl. 1994. Crop residue effects on soil quality following 10-years of no-till corn. *Soil and Tillage Research*. 31:149-167.
15. Kemper, W.D., and R.C. Rosenau. 1986. Aggregate stability and size distribution. Pp425–442. *In: Klute A (ed). Methods of Soil Analysis. Part a: Physical and Mineralogical Methods. American Society of Agronomy. Soil Science Society of America. Madison, WI.*
16. 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.
17. Mausbach, MJ., and C.A. Seybold. 1998. Assessment of soil quality. Pp. 33–43. *In: Lal R (Ed) Soil quality and agricultural sustainability. Ann Arbor Press, Chelsea, MI.*
18. Page, A. L., Miller R. H., and D. R. Keeney. 1982. *Methods of Soil Analysis, part2, chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America. Madison, WI.*
19. Qi, Y., Jeremy, L., Darilek., Biao Huang., Yongcun Zhao., Weixia Sun., and Zhiquan Gu. 2009. Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China. *Geoderma*. 149:325-334.
20. Qin, M.Z., and J. Zhao. 2000. Strategies for sustainable use and characteristics of soil quality changes in urban-rural marginal area: a case study of Kaifeng. *Acta Geogr. Sin.* 55:545–554.
21. Reynolds, W.D., Drury C.F., Tan C.S., Fox C.A. and X.M. Yang. 2009. Use of indicators and pore volume-function characteristics to quantify soil physical quality. *Geoderma*. 152:252-263.
22. SAS Institute Inc. 2000. *JMP Design of Experiments, Version 4. Cary, NC, USA*
23. SAS Institute. 1989. *SAS Design of Experiments, Version 9.1. Cary, NC, USA.*
24. Shukla, M K., Lal, R., and M. Ebinger. 2004. Soil quality indicators for the North Appalachian experimental watersheds in Coshocton, Ohio. *Soil Science*. 169:195–205.
25. Shukla, M.K., Lal R. and M. Ebinger. 2006. Determining soil quality indicators by factor analysis. *Soil and Tillage Research*. 87:194–204.
26. Singh, M.J., and K.L. Khera. 2009. Physical indicators of soil quality in relation to soil erodibility under different land uses. *Arid Land Research and Management*. 23:152-167.
27. Sun, B., Zhou, S.L., and Q.G. Zhao. 2003. Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical China. *Geoderma*. 115:85–99.
28. Torbert, H.A., Krueger, E., and D. Kurtene. 2008. Soil quality assessment using fuzzy modeling. *International Agrophysics*. 22:365-370.
29. Walkley, A., and I. A. Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*. 37:29-37.
30. Wallace, A., and R.E. Terry. 1998. *Soil conditioners, soil quality and soil sustainability. Marcel Dekker, New York*. pp:1-41
31. Wischmeier, W.H. and J.R. Mannering. 1969. Relation of soil properties to its erodibility. *Soil Science Society of American Journal*. 33:131–137.