Archive of SID

کاربرد روش‌های آماری چندمتغیره در ارزیابی شاخص‌های کیفیت خاک در منطقه نیمه-خشک لردگان

الهام علی‌دوست[1*]، مجید افیونی[2]، محمدعلی حاج‌عباسی [2]، محمدرضا مصدقی [2]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۰۲)

چکیده

کیفیت خاک تحت تاثیر نوع کاربری و مدیریت زمین است. ارزیابی وضعیت کیفی خاک، راهنمای مناسبی برای اتخاذ روش‌های مدیریت پایدار و پیش‌گیری از تخریب این ماده حیاتی می‌باشد. هدف این پژوهش تبیین تغییرات ویژگی‌های خاک در کاربری‌های مختلف و تعیین مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی کیفیت خاک بود. بدین منظور در مجموع ۵۰ نمونه خاک از چهار کاربری جنگل، مرتع، دیم‌زار و کشت آبی از حوضه آبخیز لردگان جمع‌آوری شد. سپس ویژگی‌های خاک شامل جرم مخصوص ظاهری، اجزای بافت، کربنات کلسیم معادل، ظرفیت تبادل کاتیونی، pH، هدایت الکتریکی، کربن آلی، نیتروژن کل، نسبت کربن به نیتروژن، تنفس پایه میکروبی و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها اندازه‌گیری شدند. همچنین میانگین دمای ماهانه و بارش سالیانه و نیز ارتفاع و شیب نقاط نمونه‌برداری تعیین گردید. نتایج تجزیه به مولفه-های اصلی نشان داد که شاخص‌های کربن آلی، درصد شن، بارندگی سالیانه و ارتفاع، مهم‌ترین عوامل ایجاد کننده تغییرات در خاک‌های منطقه بوده است. این تحلیل توانست با ایجاد ۵ مولفه اصلی، ۸۱ درصد از تغییرات ویژگی‌های خاک‌های منطقه را به خوبی تبیین نماید. همچنین تحلیل تشخیص به خوبی توانست انواع کاربری‌ها را با استفاده از مجموعه‌ای از ویژگی‌های منتخب، از یکدیگر متمایز نماید. مقدار طبقه‌بندی صحیح در این تحلیل ۹۴ درصد بود. نتایج این پژوهش بر قابلیت کاربرد روش‌های آماری چندمتغیره در بررسی کیفیت خاک‌ها تاکید دارد. بررسی جداگانه هر یک از شاخص‌های منتخب، دلالت بر کیفیت خوب خاک‌های جنگلی نسبت به سایر کاربری‌ها داشت و دیم‌زارها، وضعیت کیفی نامناسبی داشتند. بنابراین مدیریت پایدار منطقه، مستلزم پیشگیری از تغییر کاربری اراضی و احیای اراضی تخریب‌شده به منظور ارتقای کیفیت خاک است.

واژه‌های کلیدی: کاربری اراضی، کربن آلی خاک، تجزیه به مولفه‌های اصلی، تحلیل تشخیص

علی‌دوست ا.، مجید افیونی، حاج‌عباسی م. ع.، مصدقی م. ر. ۱۳۹۸. کاربرد روش‌های آماری چندمتغیره در ارزیابی شاخص‌های کیفیت خاک در منطقه نیمه‌خشک لردگان. تحقیقات کاربردی خاک جلد ۷. شماره ۳. صفحه: ۱۹۲-۲۰۶.

۱-دانشجوی دکتری فیزیک و حفاظت خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان (مکاتبه‌کننده)
۲-استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
*پست الکترونیک: elham.alidoust@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

کیفیت یا سلامت خاک لازمه دستیابی به کشاورزی پایدار به منظور تامین نیاز روزافزون بشر به غذا، فیبر و سوخت است که در دهه‌های اخیر به طور گسترده‌ای در مجامع علمی جهان مورد توجه و بحث قرار گرفته است (Karlen *et al.*, 2014, Cherubin *et al.*, 2016). تغییرات کیفیت خاک بر چرخه‌های بیوژئوشیمیایی، الگوهای آب و هوایی، تنوع زیستی، تولیدات زراعی، امنیت انرژی و آب و در نهایت رفاه انسان‌ها تاثیرگذار است (Lal, 2009).

کیفیت خاک به مفهوم توان خاک برای انجام وظایف آن در اکوسیستم به منظور تولید پایدار بیولوژیک، حفظ کیفیت محیط زیست و بهبود سلامت گیاهان و جانوران است (Muñoz *et al.*, 2007). ویژگی‌های ذاتی خاک وابسته به فرایندهای خاک‌سازی بوده و کمتر تحت تاثیر روش‌های مدیریتی خاک و گیاه قرار می‌گیرند. درحالی‌که، ویژگی‌های پویای خاک (مانند ماده آلی، pH، خاکدانه‌سازی، فعالیت توده میکروبی) نسبت به روش‌های مدیریتی یا نوع کاربری زمین حساس هستند. نرخ تغییرات ویژگی‌های پویا، بستگی به ویژگی‌های ذاتی خاک دارد (Cherubin *et al.*, 2016).

کیفیت خاک را نمی‌توان مستقیما اندازه‌گیری کرد، اما با اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک می‌توان در مورد وضعیت کیفی آن اظهارنظر کرد (Duval *et al.*, 2013). پژوهش‌گران روش‌های مختلفی را برای ارزیابی کیفیت خاک و روش‌های مدیریتی آن ارائه داده‌اند (Zhao *et al.*, 2015; Beniston *et al.*, 2016; Fernández-Romero *et al.*, 2016) توجه به چند نکته در به‌کارگیری شاخص‌های کیفیت خاک ضروری است: ۱) باید به سهولت اندازه‌گیری و قابلیت این ویژگی‌ها در انعکاس تغییرات کوتاه‌مدت و درازمدت ویژگی‌های خاک توجه شود، ۲) شاخص‌های کیفیت خاک باید نسبت به تغییر کاربری اراضی حساس بوده و برای همه کاربران قابل استفاده باشند (Shukla *et al.*, 2006) و همچنین ۳) برهمکنش پیچیده بین اقلیم، ترکیب خاک، موقعیت و مدیریت اراضی مانع از تعیین کیفیت خاک تنها بر اساس یک فاکتور می‌شود (Ogle *et al.*, 2012).

نوع کاربری زمین، نقش مهمی در تغییرات زمانی و مکانی ویژگی‌ها و کیفیت خاک دارد (Zhao *et al.*, 2013). امروزه تغییر کاربری جنگل‌ها و مراتع به زمین‌های کشاورزی یکی از مسائل مهم جهانی در زمینه تخریب محیط زیست قلمداد می‌شود (Post & Kwon, 2000). زیرا چنین تغییراتی منجر به کاهش مقدار کربن آلی خاک که یکی از شاخص‌های مهم کیفیت خاک است می‌شود که با سیاست‌های ترسیب کربن و کاهش گازهای گلخانه‌ای منافات دارد (Stockmann *et al.*, 2013).

علیرغم انجام پژوهش‌های نسبتا زیاد در این زمینه، هنوز روش جهانی مشخصی برای ارزیابی کیفیت خاک ارائه نشده است. در کنار استفاده از ویژگی‌های خاک به‌صورت مجزا، پژوهش‌گران چهارچوب‌ها و مدل‌هایی را برای ارزیابی کیفیت خاک ارائه کرده‌اند (Nakajima *et al.*, 2015). بر اساس این پژوهش‌ها، می‌توان کیفیت خاک را با استفاده از روش‌هایی مانند رگرسیون خطی و غیرخطی (Mendham *et al.*, 2002)، توابع انتقالی (Salchow *et al.*, 1996)، تجزیه به مولفه‌های اصلی[1] (Armenise *et al.*, 2013; Shukla *et al.*, 2006) و تحلیل تشخیص[2] (توابع نمره‌دهی) (Karlen *et al.*, 2008) ارزیابی کرد. در تحلیل تجزیه به مولفه‌های اصلی، ویژگی‌های خاک در قالب مولفه‌های کمتری گروه‌بندی می‌شوند که می‌توان هر یک از این مولفه‌ها را به یکی از کارکردهای خاک نسبت داد (Shukla *et al.*, 2006). در تحلیل تشخیص، ترکیبات خطی از متغیرهای مستقل به گونه‌ای تشکیل می‌شود که بتوانند تا حد امکان سطوح مختلف متغیر وابسته (مانند انواع کاربری‌های اراضی) را از یکدیگر متمایز نمایند (Hair *et al.*, 1998). در این راستا، محمدی و همکاران (Mohammadi *et al.*, 2005) با به‌کارگیری تحلیل تشخیص، تغییرپذیری کیفیت خاک سطحی در اکوسیستم‌های مختلف مرتعی و کشاورزی در منطقه زاگرس مرکزی را بررسی کرده و نشان دادند که نوع کاربری و مدیریت اراضی به‌طور معنی‌داری بر تنفس میکروبی، ماده آلی و نیتروژن کل خاک تاثیرگذار است.

1. Principal component analysis: PCA
2. Discriminant analysis: DA

www.SID.ir

Archive of SID

زارعی و شکل‌آبادی (Zarei & Sheklabadi, 2015) شاخص‌های کیفیت خاک را در کاربری‌های مختلف اراضی با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره بررسی کرده و دریافتند که کربن آلی و شاخص‌های پایداری خاکدانه بیشترین حساسیت را نسبت به تغییر کاربری اراضی دارند. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که تغییر کاربری جنگل به زمین‌های کشاورزی باعث کاهش مقدار کربن خاکدانه‌ها و خاکدانه‌های پایدار شده است. رسولی صدقیانی و شیخلو (Rasouli-Sadaghiani & Sheikhloo, 2016) نیز دریافتند که هرگونه مدیریت و نوع کاربری که باعث افزایش دست‌خوردگی خاک گردد، منجر به کاهش کیفیت خاک و افزایش حساسیت اراضی به فرسایش می‌گردد. آن‌ها دریافتند که در کاربری باغ و زراعت نسبت به کاربری جنگل، به‌دلیل کاهش پوشش گیاهی پایا، هدررفت ماده آلی، کاهش پایداری خاکدانه‌ها و تخریب ساختمان خاک، کیفیت خاک نیز کاهش می‌یابد. جنگل‌های زاگرس با مساحت تقریبی ۵ میلیون هکتار، وسیع‌ترین رویشگاه جنگلی در ناحیه نیمه‌خشک کشور بوده که از نظر حفاظت از منابع آب و خاک، تولید محصولات فرعی و ارزش‌های زیست-محیطی، اهمیت منحصر به فردی دارند (Alijanpour *et al.*, 2010). بهره‌برداری نادرست، منجر به تبدیل پوشش جنگلی به تک‌درختانی شده است که عرصه زیراشکوب آن‌ها تبدیل به دیم‌زار و یا چراگاه انبوه دام‌هایی شده که مانع زادآوری این درختان می‌شوند (Karimi Dehkordi *et al.*, 2013). همچنین کشاورزی در زمین‌های مرتفع و شیب‌دار زاگرس، پایداری اکولوژیکی منابع طبیعی را در معرض خطر قرار داده و با کاهش کیفیت فیزیکی و شیمیایی خاک، موجب تشدید فرسایش می‌شود (Zarei & Sheklabadi, 2015). بنابراین شناخت عوامل موثر بر تغییرپذیری خاک‌های این منطقه با کاربری‌های مختلف ضروری به نظر می‌رسد. اهداف این پژوهش شامل تعیین عوامل اصلی کنترل‌کننده تغییرات کیفی در خاک‌های حوضه آبخیز لردگان با استفاده از تحلیل تجزیه به مولفه‌های اصلی و تحلیل تشخیص و نیز بررسی تاثیر نوع کاربری زمین (شامل کاربری‌های جنگل، مرتع، کشت دیم و آبی) بر شاخص‌های منتخب کیفیت خاک است.

مواد و روش‌ها

معرفی حوضه مورد مطالعه و نمونه‌برداری خاک: پژوهش حاضر در بخشی از حوضه آبخیز لردگان با مساحت ۳۹۰ کیلومترمربع در حد فاصل عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۳ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۳۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه ۱۳ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۵۶ دقیقه شرقی و در ارتفاع متوسط ۲۳۰۰ متری از سطح دریا انجام شد. این منطقه دارای آب و هوای نیمه‌مرطوب با تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های نیمه‌سرد است (شکل ۱). میانگین دمای سالانه منطقه ۱۴/۹ درجه سلسیوس و میانگین بارش سالانه آن ۶۵۰ میلی‌متر است که حداکثر مقدار بارش در ماه‌های آبان تا بهمن رخ می‌دهد. رژیم رطوبتی و حرارتی منطقه به‌ترتیب زریک و مزیک است (Ministry of Agriculture, 1367). کلاس بافتی خاک‌های منطقه که در یک بستر آهکی توسعه یافته‌اند، عمدتا در محدوده لوم رسی تا لوم رسی سیلتی قرار دارد. پوشش گیاهی حوضه شامل مرتع (۴۷ درصد)، جنگل بلوط (۵ درصد) و زراعت دیم و آبی (۴۸ درصد) است. بخشی از جنگل‌ها و مراتع منطقه در اثر تغییر کاربری اراضی، به اراضی کشت دیم تبدیل شده‌اند. به‌منظور تعیین نقاط نمونه‌برداری، ابتدا بر اساس نقشه‌های توپوگرافی، خاک و کاربری اراضی و با استفاده از نرم‌افزار SWAT[1]، سطح حوضه به ۵۰ واحد کاری تقریبا یکنواخت تقسیم شد (Winchell *et al.*, 2013). تعداد ۱۲، ۹، ۱۲ و ۱۷ نمونه خاک به‌ترتیب از کاربری‌های مرتع، جنگل، کشت دیم و آبی جمع‌آوری شد. نمونه‌های خاک از هر واحد کاری از سه لایه ۵-۰، ۱۵-۵ و ۳۰-۱۵ سانتیمتری (در مجموع ۱۵۰ نمونه) برداشت شدند. هر یک از نمونه‌ها در هر لایه، از چهارگوشه مربعی به ابعاد تقریبی ۳۰ متر برداشت شده و پس از مخلوط کردن آن‌ها، یک نمونه مرکب که معرف شرایط منطقه باشد، به آزمایشگاه منتقل گردید. ویژگی‌های مورد بررسی، در نمونه‌های هر لایه به صورت جداگانه اندازه‌گیری شده و میانگین وزنی آن‌ها با توجه به عمق لایه‌ها محاسبه شده و وارد تحلیل‌های آماری شد.

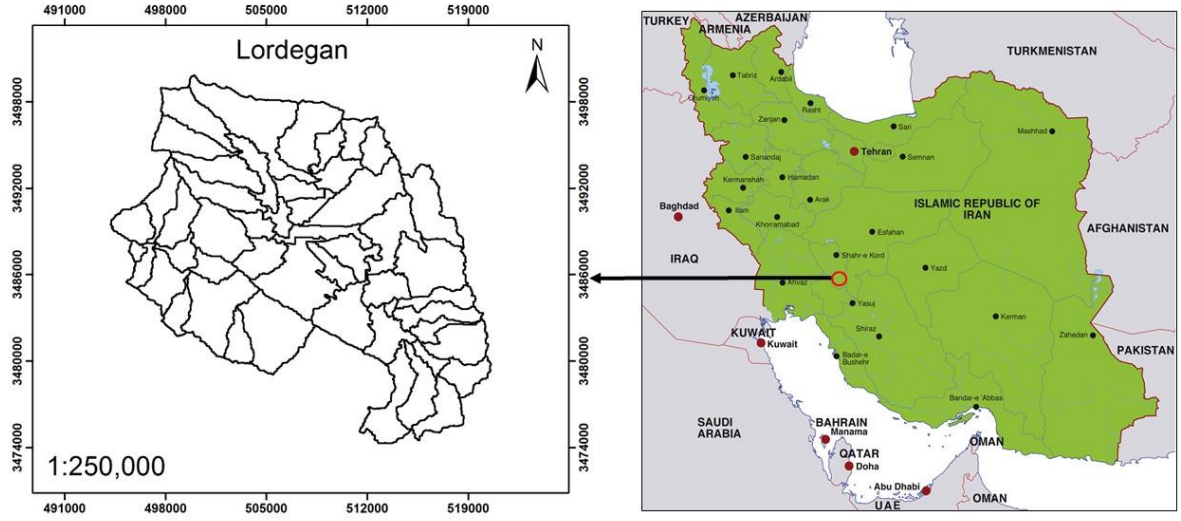
1. Soil and water assessment tool

www.SID.ir

Archive of SID

روش‌های آزمایشگاهی و آماری

بافت خاک به روش هیدرومتری (Gee *et al.*, 1986)، جرم مخصوص ظاهری به روش سیلندر (Blake & Hartge, 1986)، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها به روش الک تر و با استفاده از سری الک‌ها (Cambardella & Elliott, 1993)، کربن آلی به روش واکلی‌بلک (Walkley & Black, 1934)، pH و هدایت الکتریکی در عصاره ۱ به ۲/۵ خاک به آب (Page, 1982)، آهک (Nelson & Sumner, 1982)، ظرفیت تبادل کاتیونی (Sumner & Miller, 1996)، نیتروژن به روش کجلدال (Bremner & Mulvaney, 1982) و تنفس میکروبی به روش خنثی-سازی با سود و تیتراسیون با اسیدکلریدریک (Anderson, 1982) اندازه‌گیری شدند. مقدار دما و بارش برای هر یک از نقاط نمونه‌برداری بر اساس درون‌یابی داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی منطقه و به روش IDW در نرم-افزار Arc GIS 10.1 محاسبه شد. به منظور تعیین عوامل اصلی کنترل‌کننده تغییرات کیفی در خاک‌های منطقه از تحلیل تجزیه به مولفه‌های اصلی و تحلیل تشخیص استفاده شد.



شکل ۱- موقعیت زیرحوضه لردگان

Figure 1. Location of Lordegan watershed

مولفه‌های اصلی یک مجموعه داده، عبارتند از ترکیبات خطی از متغیرها که بیشترین تغییرات بین داده‌ها را بیان می‌کنند. اولین مولفه دارای بزرگ‌ترین مقدار ویژه[1] بوده و بیشترین درصد واریانس بین داده‌ها را نشان می‌دهد. مولفه‌های بعدی مقادیر باقی‌مانده واریانس بین داده‌ها را تبیین می‌نمایند. معیار انتخاب مهم‌ترین مولفه‌ها در تحلیل PCA مقدار ویژه بزرگ‌تر از ۱ است. به منظور شناسایی بهتر روابط بین متغیرها و مولفه‌ها می‌توان از عمل دوران استفاده کرد که متداول‌ترین نوع متعامد آن، دوران واریماکس[2] است که با حفظ استقلال بین عوامل خارجی، کمترین تعداد متغیرهای دارای بار عاملی بزرگ را مشخص می‌کند (Johnson & Wichern, 1982). امکان انجام تحلیل PCA بر روی داده‌ها با استفاده از ضریب KMO[3] و آزمون بارتلت[4] مورد ارزیابی قرار گرفت. مقدار ضریب KMO بزرگتر از ۰/۵ و آزمون بارتلت معنی‌دار، نشان‌دهنده مناسب‌بودن داده‌ها برای تحلیل تجزیه به مولفه‌های اصلی است. همچنین به منظور تعیین مهم‌ترین متغیرها در هر یک از مولفه‌ها از معیار انتخاب (SC[5]) استفاده شد که براساس رابطه ۱ محاسبه گردید (Cox *et al.*, 2003):

$$SC = {0.5}/{(PC\ eigenvalue)^{1/2}} \qquad (۱)$$

در رابطه ۱ SC، معیار انتخاب و PC eigenvalue، مقدار ویژه مولفه مربوطه است. در هر مولفه، متغیرهایی مهم

1. Eigenvalue
2. Varimax
3. Kaiser-Meyer-Olkin Coefficient
4. Bartlett's test
5. Selection criteria, SC

www.SID.ir

Archive of SID

هستند که مقدار ویژه آن‌ها از معیار انتخاب، بزرگ‌تر باشد.

از تحلیل تشخیص به منظور بررسی قابلیت جداسازی کلاس‌ها یا طبقات متغیر وابسته (در این مطالعه انواع کاربری اراضی) با استفاده از متغیرهای مستقل مختلف و انتخاب قدرتمندترین متغیرها استفاده می‌شود (Mohammadi *et al.*, 2005). تحلیل تشخیص عبارت است از به دست آوردن ترکیبی خطی از متغیرهای مستقل که بتوانند تعدادی از گروه‌های از پیش تعیین شده را از هم تفکیک کنند. تفکیک گروه‌ها با دادن وزن‌های مناسب به هر یک از متغیرها بر اساس حداکثر کردن واریانس بین‌گروهی نسبت به واریانس درون‌گروهی انجام می‌شود. به این منظور هر یک از متغیرهای مستقل در وزن مربوط ضرب شده و با هم جمع می‌شوند. نتیجه این کار، یک نمره Z تشخیص مرکب برای هر یک از مشاهدات در تحلیل است. با میانگین‌گیری از نمرات تشخیص تمام افراد موجود در هر گروه، میانگین گروه (مرکز ثقل) به‌دست می‌آید. مرکز ثقل، معمول‌ترین محل هر یک از افراد از یک گروه به‌خصوص است و مقایسه مراکز ثقل، فاصله و اختلاف گروه‌ها را در طول بعد (تابع) مورد نظر نشان می‌دهد. اگر هم‌پوشانی در توزیع‌ها کم باشد، تابع تشخیص به خوبی گروه‌ها را از هم تفکیک خواهد کرد. اگر هم‌پوشانی زیاد باشد، تابع قادر به جداسازی قابل قبولی نخواهد بود (Hair *et al.*, 1998). شرط نرمال بودن توزیع داده‌ها در تحلیل تشخیص، با اساس آزمون شاپیرو-ویلک[1] سنجیده شده و داده‌های غیرنرمال با استفاده از تبدیل جانسون[2]، نرمال شدند. همچنین عدم وجود هم‌خطی چندگانه بین متغیرها با استفاده از معیارهای عدد تحمل[3] و عامل تورم واریانس[4] مورد بررسی قرار گرفت. پس از انجام تحلیل تشخیص، وضعیت متغیرهای منتخب این مرحله در بین انواع کاربری‌ها مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور تجزیه واریانس و مقایسه میانگین به روش آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد و در قالب طرح کاملا تصادفی انجام شد. همبستگی بین متغیرها به روش پیرسون مورد بررسی قرار گرفت. همه تحلیل‌های آماری در نرم‌افزارهای SPSS 20 و Minitab 17 انجام شد.

نتایج و بحث

تجزیه به مولفه‌های اصلی: به منظور انجام تجزیه به مولفه‌های اصلی از متغیرهای جرم مخصوص ظاهری (BD)، درصد رس (Clay)، درصد شن (Sand)، کربنات کلسیم معادل (CaCO3)، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)، pH، هدایت الکتریکی (EC)، کربن آلی (OC)، نیتروژن کل (TN)، نسبت کربن به نیتروژن (C/N)، تنفس پایه میکروبی (.Res)، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD)، میانگین دمای ماهانه (.Tem)، میانگین بارش سالیانه (.Pre)، ارتفاع (.Ele) و شیب نقاط نمونه‌برداری (Slope) به عنوان متغیرهای ورودی استفاده شد. مقدار ضریب KMO برابر با ۰/۶۰۳ به‌دست آمد و آزمون بارتلت نیز معنی‌دار بود که نشان‌دهنده مناسب‌بودن این مجموعه داده برای استفاده از روش PCA است. با توجه به توزیع مناسب متغیرها در هر یک از مولفه‌ها، از دوران داده‌ها استفاده نشد. نتیجه تحلیل PCA نشان داد که ۵ مولفه اول که مقادیر ویژه آن‌ها بیشتر از ۱ بود، در مجموع قادر به توجیه ۸۱/۱۳ درصد از تغییرات بودند (جدول ۱). به عبارت دیگر تغییرات ویژگی‌های خاک‌های منطقه عمدتا تحت تاثیر ۵ مولفه اصلی قرار دارد. مولفه‌هایی که مقدار ویژه آن‌ها کمتر از ۱ بود، قادر به تبیین تغییرات بیشتری در خاک‌های منطقه نبودند (Sharma, 1996). هر عامل، ترکیبی خطی از متغیرها با وزن‌های مختلف است که این وزن‌ها نشان‌دهنده مقدار ضریب همبستگی بین عامل مربوطه و آن متغیر است (Shukla *et al.*, 2004) (جدول ۲). هر متغیر در عاملی قرار می‌گیرد که با آن عامل همبستگی معنی‌داری داشته باشد. با افزایش شماره عامل از تعداد متغیرهای آن کاسته می‌شود و دو عامل اول که در مجموع ۵۵/۳۸ درصد از واریانس را توجیه می‌کنند، دارای بیشترین تعداد متغیرها هستند. به منظور تعیین و تفسیر متغیرهای موثر در یک مولفه از شاخص معیار انتخاب (SC) استفاده شد (جدول ۱).

1. Shapiro-wilk's test
2. Johanson transformation
3. Tolerance
4. Variance inflation factor (VIF)

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- مقادیر ویژه، واریانس و معیار انتخاب مربوطه برای هر یک از عامل‌های اصلی تجزیه

Table 1. Eigenvalues, variance and selection criterion for each principal component

Component	Eigenvalue	Variance (%)	Cumulative Variance	Selection Criteria
1	5.158	32.24	32.24	0.220
2	3.703	23.14	55.38	0.260
3	1.770	11.06	66.44	0.376
4	1.280	8.00	74.44	0.442
5	1.070	6.69	81.13	0.483

در هر مولفه، متغیرهایی که مقدار قدر مطلق بردار ویژه آن‌ها بزرگ‌تر از معیار انتخاب بود، مهم تشخیص داده شده و مورد تفسیر قرار می‌گیرند. بر اساس جدول ۲ متغیرهای کربن آلی، نیتروژن کل، تنفس میکروبی، میانگین دمای ماهانه، pH، نسبت C/N و میانگین قطر خاکدانه‌ها، در مولفه (عامل) ۱ قرار گرفته‌اند که در مجموع ۳۲/۲۴ درصد از واریانس را توجیه می‌کند. در این مولفه، متغیر pH علامت منفی دارند که نشان‌دهنده اثر معکوس و کاهنده این متغیر در مولفه ۱ است. به طور کلی می‌توان این مولفه را عامل ویژگی‌های شیمیایی و بیولوژیکی نام‌گذاری کرد که این ویژگی‌ها تحت تاثیر دمای منطقه (عامل اقلیمی) هستند. با توجه به جدول ۳، همبستگی قوی بین متغیرهای قرار گرفته شده در این مولفه وجود دارد و می‌توان گفت که این شاخص‌ها تحت تاثیر اقلیم منطقه هستند. مولفه ۲ شامل متغیرهای درصد شن، ظرفیت تبادل کاتیونی، درصد رس، کربنات کلسیم معادل و جرم مخصوص ظاهری است که این عامل نیز ۲۳/۱۴ درصد از تغییرات واریانس را توجیه می‌کند. در این عامل، متغیرهای ظرفیت تبادل کاتیونی و رس علامت منفی دارد که نشان‌دهنده اثر معکوس و کاهنده این متغیرها در عامل ۲ است. با توجه به اینکه عمدتاً متغیرهای فیزیکی خاک در این عامل قرار گرفته‌اند، می‌توان آن را عامل ویژگی‌های فیزیکی خاک نامید. به‌طور کلی می‌توان گفت که این عامل، نقش مواد مادری در ایجاد تغییرات در خاک‌ها را بیان می‌کند.

جدول ۲- بردار ویژه (بار عاملی) متغیرها در عامل‌های اصلی

Table 2. Eigenvalues (loading weight) of variables in principal components

Variables	Component				
	1	2	3	4	5
Clay		- 0.727			
Sand		0.838			
BD		0.674			
MWD	0.635				
CCE		0.699			
CEC		- 0.823			
pH	- 0.669				
EC				0.387	
OC	0.942				
TN	0.873				
C/N	0.666				
Res.	0.790				
Tem.	0.733				
Pre.			0.678		
Ele.			0.579		
Slope					- 0.623

در جدول فوق، Clay: درصد رس، Sand: درصد شن، BD: جرم مخصوص ظاهری، MWD: میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، CCE: کربنات کلسیم معادل، CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی، EC: هدایت الکتریکی، OC: کربن آلی، TN: نیتروژن کل، C/N: نسبت کربن به نیتروژن، .Res: تنفس پایه میکروبی، .Tem: میانگین دمای ماهانه، .Pre: بارش سالیانه، .Ele: ارتفاع و Slope: شیب نقاط نمونه‌برداری است.

با توجه به اینکه دو مولفه اول در مجموع ۵۵/۳۸ درصد از تغییرات واریانس کل را بیان می‌کنند، می‌توان گفت که اقلیم و مواد مادری نقش مهمی در ایجاد این تغییرات دارند. مهم‌ترین متغیرهای تشکیل‌دهنده مولفه

www.SID.ir

Archive of SID

سوم که ۱۱/۰۶ درصد از تغییرات را توجیه می‌کند، شامل بارندگی و ارتفاع منطقه است. همبستگی مثبت و غیرمعنی‌داری بین این دو متغیر وجود دارد (جدول ۳). در مولفه چهارم، مقدار ویژه متغیر هدایت الکتریکی (۰/۳۸۷) کمتر از مقدار معیار انتخاب مولفه چهارم (۰/۴۴۲) بود و بنابراین مهم تشخیص داده نشد. مولفه پنجم نیز درصد بسیار کوچکی از واریانس کل را (۶/۷٪) توجیه می‌کند و می‌توان از آن صرف‌نظر کرد.

در پژوهش نبی‌اللهی و همکاران (Nabiollahi *et al.*, 2017) نیز با به‌کارگیری تحلیل PCA، متغیرهای درصد سدیم تبادلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، جرم مخصوص ظاهری، هدایت الکتریکی و pH به‌عنوان مهم‌ترین شاخص‌های کیفیت خاک که بیشترین سهم را در ایجاد تغییرات در خاک‌های منطقه داشتند، برگزیده شدند. ماده آلی، فسفر، کلسیم و pH، شاخص‌های منتخب در پژوهش انگو امبوگبا و همکاران (Ngo-Mbogba *et al.*, 2015) بودند که ۸۸ درصد تغییرات کیفیت خاک را تبیین نمودند. در هر مولفه می‌توان یکی از شاخص‌هایی را که همبستگی زیادی با یکدیگر دارند، حذف نموده و به حداقل تعداد شاخص‌های مهم تبیین‌کننده تغییرات خاک دست یافت. چنانچه همبستگی معنی‌داری بین متغیرهای سازنده هر مولفه نباشد، همه متغیرهای موجود حفظ می‌شوند (Sanchez-Navarro *et al.*, 2015). بر این اساس می‌توان گفت که در مولفه اول کربن آلی مهم‌ترین شاخص کیفیت خاک است و همبستگی معنی‌داری با سایر متغیرهای موجود در این مولفه دارد. شوکلا و همکاران (Shukla *et al.*, 2006) نیز کربن آلی خاک را به عنوان مهم‌ترین شاخص کیفیت خاک تشخیص دادند. در مولفه دوم نیز درصد شن خاک حداکثر مقدار بار عاملی را داشته و همبستگی معنی‌داری با سایر متغیرهای این مولفه دارد. اما در مولفه سوم همبستگی معنی‌داری بین دو متغیر بارندگی سالیانه و ارتفاع نقاط دیده نشد. بنابراین هر دو متغیر این مولفه مهم تشخیص داده شدند. رابطه بین بارندگی و ارتفاع منطقه تحت تاثیر عوامل متعددی است که برآیند آن‌ها در هر منطقه متفاوت است. معمولا با افزایش ارتفاع که با کاهش دما و رسیدن به نقطه شبنم همراه است، بارندگی افزایش می‌یابد. البته افزایش ارتفاع همواره باعث افزایش بارش نخواهد بود. در هر منطقه تا ارتفاع مشخصی که مرز فوقانی حداکثر بارش نامیده می‌شود، با افزایش ارتفاع، بارندگی افزایش یافته و پس از آن کاهش می‌یابد (Mojarrad & Moradifar, 2003). در منطقه مورد مطالعه در این پژوهش نیز ممکن است ارتفاع نقاط از مرز فوقانی حداکثر بارش، بیشتر باشد که این مسئله باعث همبستگی غیرمعنی‌دار بین دو متغیر بارندگی و ارتفاع نقاط شده است. بنابراین با استفاده از تحلیل تجـزیه به مولفه‌های اصلـی می‌توان مهم‌ترین شاخص‌های کیفیت خاک را که باعث ایجاد مهم‌ترین تغییرات در خاک‌های منطقه می‌شوند، در قالب مولفه-های اصلی شناسایی کرده و از این مجموعه برای ارزیابی کیفیت خاک استفاده نمود.

تحلیل تشخیص

به‌منظور تعیین تاثیرگذاری هم‌زمان متغیرهای مورد بررسی در تفکیک داده‌ها بر اساس نوع کاربری زمین، تحلیل تشخیص انجام شد. پیش از انجام تحلیل تشخیص، فرض‌های این تحلیل مورد بررسی قرار گرفتند. لذا داده‌ها از نظر نرمال‌بودن و عدم وجود هم-خطی چندگانه بررسی شدند. متغیرهای درصد شن، هدایت الکتریکی، کربن آلی، نیتروژن کل، تنفس میکروبی، نسبت C/N، دما، بارش، ارتفاع و شیب نقاط نمونه‌برداری از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کردند که با استفاده از تبدیل جانسون، نرمال شدند. آنگاه به منظور بررسی عدم وجود هم‌خطی چندگانه بین متغیرها از معیارهای عدد تحمل (Tolerance) و عامل تورم واریانس (VIF) استفاده شد. بر این اساس دو متغیر درصد شن و نسبت C/N به دلیل داشتن هم‌خطی با سایر متغیرها، از مجموعه داده حذف شده و تحلیل با استفاده از ۱۵ متغیر جرم مخصوص ظاهری (BD)، درصد رس (Clay)، درصد سیلت (Silt)، کربنات کلسیم معادل ($CaCO_3$)، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)، pH، هدایت الکتریکی (EC)، کربن آلی (OC)، نیتروژن کل (TN)، تنفس پایه میکروبی (.Res)، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD)، میانگین دمای ماهانه (.Tem)، میانگین بارش سالیانه (.Pre)، ارتفاع (.Ele) و شیب نقاط نمونه‌برداری (Slope) انجام شد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- همبستگی اسپیرمن بین متغیرهای مورد بررسی

Table 3. Pearson correlation between studied variables

	BD	Clay	Sand	CCE	CEC	pH	EC	OC	TN	Res.	C/N	MWD	Tem.	Pre.	Ele.	Slop.
BD	1	-0.49**	0.61**	0.32*	-0.59**	-0.20	0.23	-0.30*	-0.33*	-0.02	-0.16	0.03	-0.10	-0.33*	-0.12	-0.06
Clay		1	-0.88**	-0.39**	0.72**	0.07	0.14	0.40**	0.47**	0.13	0.06	-0.03	0.12	-0.17	-0.21	0.13
Sand			1	0.50**	-0.77**	-0.05	-0.07	-0.32*	-0.44**	-0.05	0.06	0.14	-0.17	0.10	0.11	-0.13
CCE				1	-0.62**	0.03	0.21	0.00	-0.27	0.14	0.30*	0.20	0.06	0.13	-0.05	-0.28*
CEC					1	-0.04	-0.17	0.32*	0.44**	-0.00	0.04	-0.10	0.28	-0.06	-0.12	0.33*
pH						1	-0.56**	-0.51**	-0.53**	-0.57**	-0.17	-0.51**	-0.60**	-0.08	0.54**	-0.15
EC							1	0.50**	0.55**	0.62**	0.12	0.53**	0.20	0.03	-0.49**	-0.04
OC								1	0.85**	0.77**	0.65**	0.55**	0.58**	0.32*	-0.55**	0.14
TN									1	0.62**	0.19	0.51**	0.46**	0.22	-0.47**	0.16
Res.										1	0.50**	0.55**	0.44**	0.30*	-0.56**	0.03
C/N											1	0.32*	0.41**	0.26	-0.33*	0.08
MWD												1	0.37**	0.38**	-0.29*	0.03
Tem.													1	0.26	-0.60**	0.04
Pre.														1	0.07	-0.01
Ele.															1	0.02
Slop.																1

در جدول فوق، BD: جرم مخصوص ظاهری، Clay: رس، Sand: شن، CCE: کربنات کلسیم معادل، CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی، EC: هدایت الکتریکی، OC: کربن آلی، TN: نیتروژن کل، .Res: تنفس پایه میکروبی، C/N: نسبت کربن به نیتروژن، MWD: میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، .Tem: میانگین دمای ماهانه، .Pre: بارش سالیانه، .Ele: ارتفاع و Slope: شیب نقاط نمونه‌برداری است.

(significant at * P<0.05 and ** P<0.01 probability level)

www.SID.ir

Archive of SID

در این تحلیل، سه تابع (ترکیب متغیرها) مستقل یا متعامد به دست آمد (جدول ۴). اولین تابع بیشترین سهم را در جداسازی گروه‌ها داشته و توابع بعدی در رتبه‌های پایین‌تر قرار گرفتند. با توجه به جدول ۴ دیده می‌شود که تابع ۳ معنی‌دار نیست و نمی‌توان از آن برای طبقه‌بندی استفاده کرد. تنها دو تابع ۱ و ۲ برای طبقه-بندی مناسب هستند.

بر اساس توابع به‌دست‌آمده، دقت کلی طبقه‌بندی ۹۴ درصد بود. یعنی ۹۴ درصد از داده‌ها در گروه صحیح خود جای گرفتند. ضریب تبیین مرحله اعتبارسنجی مدل بر اساس روش ارزیابی متقابل نیز ۷۰ درصد به-دست آمد (جدول ۵). درصد زیاد طبقه‌بندی صحیح داده‌ها در گروه‌های مربوطه نشان‌دهنده توان تحلیل تشخیص در جداسازی انواع کاربری‌ها بر اساس شاخص-های تعریف‌شده است.

جدول ۴- مشخصات توابع حاصل از تحلیل تشخیص

Table 4. Function characteristics in Discriminant Analysis

Function	Eigenvalue	Variance (%)	Cumulative Variance	Wilk's lambda	Chi-square	Sig.
1	6.812	72.2	72.2	0.030	139.155	0.000
2	2.324	24.6	96.8	0.231	57.954	0.001
3	0.305	3.2	100.0	0.767	10.503	0.652

جدول ۵- ماتریس شباهت بین مقادیر واقعی و تخمین‌زده شده بر اساس انواع کاربری

Table 5. Similarity matrix between measured and predicted values in different land uses

Measured/Predicted	Pasture	Forest	Rain-fed farmland	Irrigated farmland
Pasture	100.0	0	0	0
Forest	0	100.0	0	0
Rain-fed farmland	16.7	0	75.0	8.3
Irrigated farmland	0	0	0	100.0

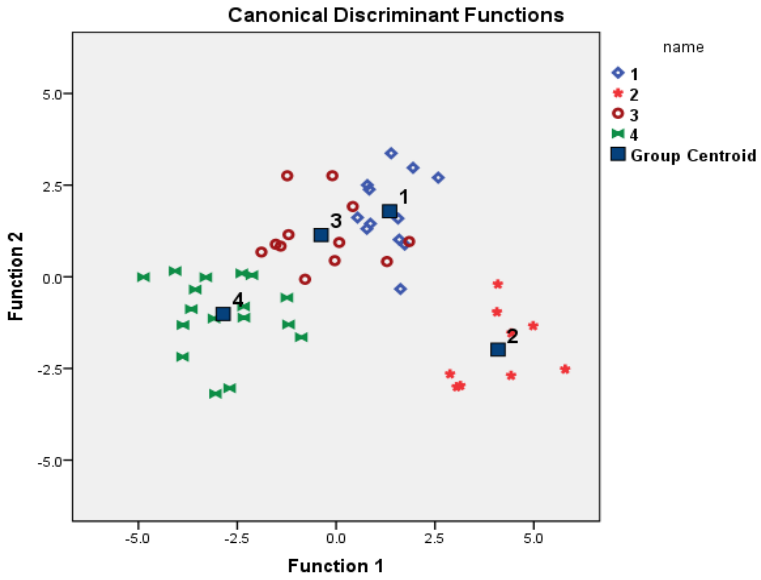
نتیجه تحلیل تشخیص در قالب شکل ۲ ارائه شده که بر اساس توابع ۱ و ۲ رسم شده و انواع کاربری‌ها را از یکدیگر تفکیک کرده است. با توجه به شکل ۲، کاربری جنگل به خوبی از سایر کاربری‌ها جدا شده است. دو کاربری مرتع و کشت دیم تاحدی دارای هم‌پوشانی هستند که نشان می‌دهد توابع ۱ و ۲ قادر به تفکیک کامل آن‌ها نیستند. باتوجه به مشاهدات صحرایی می-توان گفت که علت این امر، ماهیت مشابه این کاربری-هاست. خاک‌های تحت کشت دیم که در حدفاصل مرتع و کشت آبی قرار گرفته‌اند، در اصل مراتعی بوده‌اند که به زیر کشت رفته‌اند و در واقع ترکیبی از ویژگی‌های هر دو کاربری مرتع و زراعت را نشان می‌دهند. به عبارت دیگر علت هم‌پوشانی کاربری‌های ذکرشده، ناهمگن‌بودن هر یک از آن‌هاست که باعث کاهش دقت این روش تحلیلی در تفکیک آن‌ها از یکدیگر می‌شود (Mohammadi *et al.*, 2005). دو تابع تعریف‌شده در این تحلیل، سه کاربری مرتع، جنگل و کشت آبی را کاملا از یکدیگر متمایز کرده‌اند. بر اساس ماتریس ساختاری تحلیل تشخیص (جدول ۶)، مهم‌ترین متغیرهای سازنده تابع ۱، شامل بارش سالیانه، ظرفیت تبادل کاتیونی، جرم مخصوص ظاهری و شیب نقاط نمونه‌برداری بودند. در تابع ۲ نیز متغیرهای ارتفاع، pH، میانگین دمای ماهانه، میانگین قطر خاکدانه‌ها، هدایت الکتریکی، تنفس میکروبی، کربن آلی و نیتروژن کل، بیشترین امتیاز را کسب کردند. تابع ۱ حدود ۷۲ درصد و تابع ۲ حدود ۲۵ درصد از تغییرات واریانس را تبیین کردند (جدول ۴). شکل ۲ نشان می‌دهد که تابع ۱ توان بیشتری در تمایز انواع کاربری‌ها دارد.

با توجه به نتایج می‌توان گفت که در بررسی وضعیت کیفی خاک در انواع کاربری‌ها، توجه توأمان به انواع شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و شاخص‌های محیطی (توپوگرافی و اقلیم) ضروری است. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین تک‌تک این شاخص‌ها نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین انواع کاربری‌ها از نظر شاخص‌های بارش سالیانه، ظرفیت تبادل کاتیونی، جرم مخصوص ظاهری، ارتفاع نقاط، pH، میانگین دمای ماهانه، میانگین قطر خاکدانه‌ها، هدایت الکتریکی، تنفس میکروبی، کربن آلی و نیتروژن کل وجود دارد (جدول

www.SID.ir

Archive of SID

۷). مقایسه انواع کاربری‌ها نشان داد که خاک‌های جنگلی دارای بیشترین ظرفیت تبادل کاتیونی بوده و اختلاف معنی‌داری با زمین‌های تحت کشت آبی دارند. ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌های مرتعی و دیم‌زارها تقریبا مشابه بوده و کمتر از خاک‌های جنگلی بود. ظرفیت تبادل کاتیونی بیش‌تر درخاک‌های جنگلی را می‌توان به ماده آلی زیاد این خاک‌ها نسبت داد (جدول ۷). بیشترین و کم‌ترین مقدار جرم مخصوص ظاهری خاک به ترتیب در زمین‌های تحت کشت آبی و مراتع دیده شد و اختلاف معنی‌داری بین انواع کاربری‌ها از این نظر وجود داشت (جدول ۷). تردد ماشین‌های خاک-ورزی، تخریب خاکدانه‌ها و تجزیه ماده آلی محصور و همچنین بافت درشت خاک، باعث افزایش جرم مخصوص ظاهری در اراضی تحت کشت (به ویژه کشت آبی) شده است. زارعی و شکل‌آبادی (Zarei & Sheklabadi, 2015) نیز روند مشابهی را در اراضی تحت مطالعه خود در شهر مریوان استان کردستان گزارش کردند.



شکل ۲- وضعیت جداسازی انواع کاربری‌ها بر اساس توابع ۱ و ۲ (۱: مرتع، ۲: جنگل، ۳: کشت دیم و ۴: کشت آبی)

Figure 2. Discrimination of different land uses based on functions 1 and 2 (1: Pasture, 2: Forest, 3: Rain-fed farmland and 4: Irrigated farmland)

جدول ۶- ضرایب ساختاری متغیرها در هر یک از توابع

Table 6. Structural coefficients in discriminant functions

Variable	Function	
	1	2
Pre.	0.214*	- 0.021
CEC	0.169*	0.021
BD	- 0.163*	- 0.131
Slope	0.078*	0.056
Ele.	- 0.042	0.586*
pH	- 0.027	0.583*
Tem	0.316	- 0.515*
MWD	0.141	- 0.482*
EC	- 0.148	- 0.468*
Res.	0.130	- 0.432*
OC.	0.245	- 0.349*
TN	0.114	- 0.332*

مقایسه میانگین ارتفاع نقاط نمونه‌برداری در هر کاربری نشان داد که مراتع در مرتفع‌ترین نقاط حوضه و اراضی جنگلی در کم‌ارتفاع‌ترین بخش‌های منطقه قرار گرفته-اند. همانطور که در جدول ۳ نیز دیده می‌شود رابطه

www.SID.ir

Archive of SID

منفی و معنی‌داری بین ارتفاع و دمای هوا وجود دارد، به طوری که مراتع دارای کم‌ترین و اراضی جنگلی دارای بیشترین دما می‌باشند. مقدار pH در خاک‌های مرتعی و دیم‌زارها بیش‌تر بوده و در زمین‌های تحت کشت و جنگل به طور معنی‌داری کمتر است. از جمله دلایل کاهش pH در خاک‌های جنگلی می‌توان به تجزیه آهسته لاشبرگ‌ها، تولید اسیدهای آلی و تاخیر در بازگشت کاتیون‌های بازی به محلول خاک اشاره کرد (Hagen-Thorn *et al.*, 2004). فرآیندهای طبیعی مانند آزاد شدن دی‌اکسید کربن در اثر تنفس ریشه گیاهان و تنفس میکروبی نیز از عوامل کنترل‌کننده pH هستند. هم‌چنین زیر و رو شدن خاک در اثر عملیات خاک‌ورزی، باعث بالاآمدن مواد آهکی به لایه‌های سطحی شده و می‌تواند یکی از دلایل بیشتر بودن pH در خاک‌های زراعی نسبت به خاک جنگلی باشد (Ajmi *et al.*, 2008). خاک‌های جنگلی و زمین‌های تحت کشت دیم به ترتیب بیشترین و کم‌ترین MWD را به خود اختصاص دادند. همبستگی مثبت و معنی‌داری (۰/۵۵) بین مقدار ماده آلی و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها به دست آمد (جدول ۳). سلیک (Celik, 2005) نیز دریافت که به زیر کشت بردن زمین‌های جنگلی باعث کاهش شاخص MWD می‌شود.

جدول ۷- مقایسه میانگین شاخص‌های مورد بررسی در چهار کاربری

Table 7. Mean comparisons of the studied indicators among the land uses

Variable	Unit	Land use type			
		Pasture	Forest	Rain-fed farmland	Irrigated farmland
Pre.	mm	549 ab	564 a	547 b	534 b
CEC	cmol kg^{-1} soil	25.5 ab	27.3 a	24.6 ab	22.4 b
BD	Mg m^{-3}	1.20 b	1.21 b	1.26 ab	1.32 a
Slope	m m^{-1}	7.92 a	7.66 a	6.05 a	4.94 a
Ele.	m	1939 a	1834 c	1896 a	1850 b
pH	-	8.03 a	7.83 c	7.98 a	7.90 b
Tem.	˚C	14.81 b	15.12 a	14.84 b	14.84 b
MWD	mm	0.95 bc	1.39 a	0.81 c	1.09 b
EC	dS m^{-1}	0.18 c	0.20 b	0.18 c	0.30 a
Res.	$mgCO_2$ kg^{-1} soil day^{-1}	17.31 b	34.44 a	18.56 b	21.26 b
OC	g kg^{-1}	10.3 b	20.2 a	9.2 b	10.1 b
TN	g kg^{-1}	0.92 b	1.37 a	0.90 b	1.04 b

بیش‌ترین مقدار هدایت الکتریکی در خاک‌های تحت کشت آبی دیده شد و سایر کاربری‌ها، تفاوت معنی‌داری از این نظر نداشتند. به‌نظر می‌رسد مصرف کودهای شیمیایی در زمین‌های تحت کشت آبی منطقه یکی از علل افزایش شوری خاک به شمار می‌آید. تنفس میکروبی خاک در خاک جنگلی بیشینه بوده و از الگوی تغییرات ماده آلی پیروی می‌کند؛ این یافته با نتایج اسلام و ویل (Islam & Weil, 2000) هماهنگی دارد. همبستگی مثبت و معنی‌داری (۰/۷۷) بین مقدار ماده آلی و تنفس میکروبی خاک دیده شد (جدول ۳). تنفس میکروبی خاک از پارامترهای وابسته به اقلیم بوده و ماده آلی زیاد، افزوده‌شدن مواد آلی جدید و تنوع و فراوانی ریزجانداران موجب افزایش آن می‌شود. جمعیت و فعالیت میکروبی در خاک‌های شخم‌نخورده نسبت به خاک‌های تحت کشت، بیش‌تر است (Cruz Ruiz *et al.*, 2015). نتایج نشان داد که مقدار کربن آلی در خاک جنگلی به طور معنی‌داری بیش‌تر از سایر کاربری‌ها بوده و در دیم‌زارها کمترین مقدار را داراست. مقدار کربن آلی خاک به چگونگی مدیریت و کاربری اراضی بسیار حساس است. میزان ذخیره و تصاعد کربن از خاک تحت تاثیر نوع کاربری است. از این رو مدیریت صحیح اراضی و انتخاب کاربری متناسب با شرایط منطقه با هدف افزایش میزان ذخیره کربن و کاهش میزان تصاعد آن، دارای اهمیت است (Singh *et al.*, 2009). به‌طور کلی شکسته شدن خاکدانه‌ها در زمین‌های زراعی در اثر عملیات خاک‌ورزی باعث کاهش حفاظت فیزیکی ماده آلی می‌شود. همچنین برداشت محصول و نیز سوزاندن بقایای گیاهی باعث کاهش بیشتر کربن آلی خاک در

www.SID.ir

Archive of SID

اراضی تحت کشت به ویژه دیم‌زارها نسبت به خاک‌های جنگلی می‌شود (Wu & Tiessen, 2002). همبستگی مثبت و معنی‌داری بین کربن آلی و نیتروژن کل خاک (۰/۸۵) وجود داشت (جدول ۳) و روند تغییرات مشابهی برای هر دو شاخص در انواع کاربری‌ها دیده شد. یافته‌های این بخش با نتایج محمدی و همکاران (Mohammadi *et al.*, 2005) هم‌خوانی داشت.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که روش‌های آماری چندمتغیره قابلیت خوبی برای بررسی تغییرات کلی خاک‌های منطقه و نیز بررسی اثر نوع کاربری زمین بر ویژگی‌های خاک به صورت هم‌زمان دارند. بررسی هم‌زمان ویژگی‌های خاک به علت روابط درون‌گروهی و بین‌گروهی این ویژگی‌ها، دارای اهمیت است. انتخاب شاخص‌های کربن آلی و درصد شن خاک، بارندگی سالیانه و ارتفاع منطقه به‌عنوان مهم‌ترین متغیرهای کنترل‌کننده تغییرات خاک‌ها، نشان‌دهنده تاثیر توأمان ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، متغیرهای اقلیمی و موقعیت نقاط در تعیین ویژگی‌های خاک است. همچنین نتایج تحلیل تشخیص نشان داد که تفاوت بین خاک‌های انواع کاربری‌ها را می‌توان با استفاده از مجموعه مشخصی از متغیرها نشان داد. از انتخاب شاخص‌های میانگین بارش سالیانه، ظرفیت تبادل کاتیونی، جرم مخصوص ظاهری، ارتفاع نقاط، pH، میانگین دمای ماهانه، میانگین قطر خاکدانه‌ها، هدایت الکتریکی، تنفس میکروبی، کربن آلی و نیتروژن کل به عنوان مهم‌ترین ویژگی‌های متمایزکننده کاربری‌ها می‌توان نتیجه گرفت که در بررسی کیفیت خاک‌ها، اکتفا‌کردن به تغییرات یک ویژگی خاص، کافی نیست و باید انواع ویژگی‌های خاکی و اقلیمی به‌طور هم‌زمان مورد توجه قرار گیرند. مقایسه شاخص‌های کیفیت خاک در بین انواع کاربری‌ها موید کیفیت خوب خاک‌های جنگل نسبت به سایر موارد بود. لذا جنگل‌تراشی و تبدیل زمین‌های جنگلی به مرتع و زمین‌های تحت کشت، باعث کاهش کیفیت خاک، خواهد شد. از سوی دیگر خاک‌های جنگلی با توجه به توان زیاد نگهداری کربن آلی و شرایط مساعد حفاظت فیزیکی از آن در درون خاکدانه‌های پایدار، پتانسیل مناسبی برای ترسیب کربن دارند. از جمله پیامدهای مدیریت و تغییر نادرست اراضی می‌توان به کاهش توان نگهداری آب خاک که منجر به جاری‌شدن سیلاب به ویژه در اراضی شیب‌دار می‌شود، اشاره کرد. همچنین تخریب خاکدانه‌ها در اثر عملیات خاک‌ورزی متعدد باعث شکسته‌شدن آن‌ها و تجزیه ماده آلی محصور در خاکدانه‌ها شده که این امر مغایر با اهداف ترسیب کربن در خاک است و علاوه بر کاهش کیفیت خاک، پیامدهای زیست‌محیطی نیز به دنبال دارد.

References

Ajmi M., Khormali F. and Ayobi Sh. 2008. Changes in some soil quality parameters due to land use change in different position of slope of loess land in the east of Golestan province. *Iranian Journal of Soil and Water Research,* 39(1): 15–30. (In Persian)

Alijanpour A., Banj Shafiei A. and Eshaghi Rad J. 2010. Investigation of natural regeneration characteristics in west oak forests within different levels of site factors (case study: Piranshahr region). *Iranian Journal of Forest,* 2(3): 209–219. (In Persian)

Anderson J.P.E. 1982. Soil Respiration. *In:* Page A.L., Mille R.H. and Keeney D.R. (Ed.), Methods of Soil Analysis–Part 2. Chemical and Microbiological Properties, American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison USA: 831–871.

Armenise E., Redmile-Gordon M.A., Stellacci A.M., Ciccarese A. and Rubino P. 2013. Developing a soil quality index to compare soil fitness for agricultural use under different managements in the Mediterranean environment. *Soil and Tillage Research,* 130: 91–98.

Beniston J.W., Lal R. and Mercer K.L. 2016. Assessing and managing soil quality for urban agriculture in a degraded vacant lot soil. *Land Degradation and Development,* 27: 996–1006.

Blake G.R. and Hartge K.H. 1986. Bulk density. *In:* Klute A. (Ed.), Methods of Soil Analysis—Part 1. Physical and Mineralogical Methods. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, pp. 363–375.

www.SID.ir

Archive of SID

Bremner J.M. and Mulvaney C.S. 1982. Nitrogen total. *In:* Page A.L., Mille R.H. and Keeney D.R. (Ed.s), Methods of Soil Analysis— Part 2. Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, pp. 595–624.

Cambardella C. and Elliott E. 1993. Carbon and nitrogen distribution in aggregates from cultivated and native grassland soils. *Soil Science Society of America Journal,* 57: 1071–1076.

Celik I. 2005. Land use effects on organic matter and physical properties of soil in a southern Mediterranean highland of Turkey. *Soil and Tillage Research,* 83: 270–277.

Cherubin M.R., Karlen D.L., Cerri C.E.P., Franco A.L.C., Tormena C.A., Davies C.A. and Cerri C.C. 2016. Soil quality indexing strategies for evaluating sugarcane expansion in Brazil. *PLOS ONE,* 11(3): 1–26.

Cox M.S., Gerard P.D., Warldlaw M.C. and Abshir M.J. 2003. Variability of selected soil properties and their relationships with soybean yield. *Soil Science Society of America Journal,* 67:1296–1302.

Cruz Ruiz E., Cruz Ruiz A., Vaca R., Aguila P. and Lugo J. 2015. Assessment of soil parameters related with soil quality in agricultural systems. *Life Science Journal,* 12(1): 154–161.

Duval M.E., Galantini J.A., Iglesias J.O., Canelo S., Martínez J.M. and Wall L. 2013. Analysis of organic fractions as indicators of soil quality under natural and cultivated systems. *Soil and Tillage Research,* 131: 11–19.

Fernández-Romero M.L., Parras-Alcántara L., Lozano-García B., Clark J.M. and Collins C.D. 2016. Soil quality assessment based on carbon stratification index in different olive grove management practices in Mediterranean areas. *Catena,* 137: 449–458.

Gee G.W. and Bauder J.W. 1986. Particle size analysis.p. *In*: Klute A. (Ed.) Methods of Soil Analysis. Part1. 2nd Ed. Physical and Mineralogical Methods. Agronomy Monograph 9. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI, pp: 383–411.

Hagen-Thorn A., Callesen I., Armolaitis K. and Nihlgard B. 2004. The impact of six European tree species on the chemistry of mineral topsoil in forest plantations on former agricultural land. *Forest Ecology and Management,* 195: 373–384.

Hair J.F., Anderson R.E., Tatham R.L. and Black W.C. 1998. Multivariate Data Analysis. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.

Islam K.R. and Weil R.R. 2000. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. *Agriculture, Ecosystems and Environment,* 79: 9–16.

Johnson R.A. and Wichern D.W. 1982. Applied multivariate statistical analysis. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, SA, 590p.

Karimi Dehkordi F., Jalalian A., Honarjoo N. and Mehnatkesh A. 2013. The effect of landscape position and land use on chemical, physical properties and microbial respiration of soils on Lordegan County in Chaharmahal and Bakhtiari province. *Soil Management Journal,* 2(2): 13–25. (In Persian)

Karlen D.L., Andrews S.S., Wienhold B.J. and Zobeck T.M. 2008. Soil quality assessment: Past, present and future. *Journal of Integrative Biosciences,* 6: 3–14.

Karlen D.L., Peterson G.A. and Westfall D.G. 2014. Soil and water conservation: Our history and future challenges. *Soil Science Society of America Journal,* 78: 1493–1499.

Lal R. 2009. Ten tenets of sustainable soil management. *Journal of Soil and Water Conservation,* 64: 20A–21a.

Mendham D.S., Smethurst P.J., Holz G.K., Menary R.C., Grove T.S., Weston C. and Baker T. 2002. Soil analyses as indicators of phosphorus response in young eucalypt plantations. *Soil Science Society of America Journal,* 66: 959–968.

Ministry of Agriculture. 1367. Comprehensive plan for the restoration and development of agriculture and natural resources of the north Karoun watershed. Volume II. Climatology. (In Persian)

Mohammadi J., Khademi H. and Nael M. 2005. Study the variability of soil quality in selected ecosystems of central Zagros. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources,* 9(3): 105–120. (In Persian)

Mojarrad F. and Moradifar H. 2003. Modelling the relationship between precipitation and elevation in Zagros. *Human Sciences MODARES,* 7(2): 163–182. (In Persian)

Muñoz A., López-Piñeiro A. and Ramírez M. 2007. Soil quality attributes of conservation management regimes in a semi-arid region of southwestern Spain. *Soil and Tillage Research,* 95: 255–265.

www.SID.ir

Archive of SID

Nabiollahi K., Taghizadeh-Mehrjardi R., Kerry R. and Moradian Sh. 2017. Assessment of soil quality indices for salt-affected agricultural land in Kurdistan Province, Iran. *Ecological Indicators*, 83: 482–494.

Nakajima T., Lal R. and Jiang S. 2015. Soil quality index of a crosby silt loam in central Ohio. *Soil & Tillage Research,* 146: 323–328.

Nelson R.E. 1982. Carbonate and gypsum. *In:* Page A.L., Mille R.H. and Keeney D.R. (Ed.), Methods of Soil Analysis— Part 2. Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, pp. 181–199.

Ngo-Mbogba M., Yemefack M. and Nyeck B. 2015. Assessing soil quality under different land cover types within shifting agriculture in South Cameroon. *Soil & Tillage Research,* 150: 124–131.

Ogle S.M., Swan A. and Paustian K. 2012. No-till management impacts on crop productivity, carbon input and soil carbon sequestration. *Agriculture, Ecosystems and Environment,* 149: 37–49.

Page A.L. 1982. Methods of soil analysis–Part 2. Chemical and Microbiological Properties. *American Society of Agronomy and Soil Science Society of America*. 1142p.

Post W.M. and Kwon K.C. 2000. Soil carbon sequestration and land use change: processes and potential. *Global Change Biology,* 6: 317–327.

Rasouli-Sadaghiani M.H. and Sheikhloo F. 2016. Effects of agronomic, orchard and forest land uses on Soil Quality Index (SQI) in west Azerbaijan province. *Water and Soil science,* 26(2-1): 141–153. (In Persian)

Salchow E., Lal R., Fausey N.R. and Ward A. 1996. Pedotransfer functions for variable alluvial soils in southern Ohio. *Geoderma,* 73: 165–181.

Sanchez-Navarro A., Gil-Vazquez J.M., Delgado-Iniesta M.J., Marin-Sanleandro P., Blanco-Bernardeau A. and Ortiz-Silla, R. 2015. Establishing an index and identification of limiting parameters for characterizing soil quality in Mediterranean ecosystems. *Catena,* 131: 35–45.

Sharma S. 1996. Applied Multivariate Techniques. John Wiley and Sons, New York.

Shukla M.K., Lal R. and Ebinger M. 2004. Principal component analysis for predicting corn biomass and grian yield. *Soil Science,* 169: 215–224.

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

Singh K.P., Ghoshal N. and Singh S., 2009. Soil carbon dioxide flux, carbon sequestration and crop productivity in a tropical dryland agroecosystem: Influence of organic inputs of varying resource quality. *Applied Soil Ecology,* 42(3): 243–253.

Stockmann U., Adams M.A., Crawford J.W., Field D.J., Henakaarchchi N., Jenkins M., Minasny B., McBratney A.B., Courcelles V.d.R.d., Singh K., Wheeler, I., Abbott, L., Angers, D.A., Baldock, J., Bird, M., Brookes, P.C., Chenu, C., Jastrow, J.D., Lal, R., Lehmann, J., O'Donnell, A.G., Parton, W.J., Whitehead, D., Zimmermann, M. 2013. The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. *Agriculture, Ecosystems and Environment,* 164: 80–99.

Sumner M.E. and Miller W.P. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients. *In:* Sparks D.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods. *American Society of Agronomy and Soil Science Society of America*, Madison. WI, pp. 1201–1229.

Walkley A. and Black I.A. 1934. An examination of digestion method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science,* 37: 29–38.

Winchell M., Srinivasan R., Di Luzio, M.and Arnold J. 2013. ArcSWAT interface for SWAT2012: user's guide. Blackland Research and Extension Center, Texas Agrilife Research. Grassland. *Soil and Water Research Laboratory, USDA Agricultural Research Service, Texas, 3*.

Wu R. and Tiessen H. 2002. Effect of land use on soil degradation in Alpine grassland soil, China. *Soil Science Society of America Journal,* 66: 1648–1655.

Zarei W. and Sheklabadi M. 2015. Soil quality assessment in different land uses using multivariate statistical analysis. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources,* 18(70): 101–111. (In Persian)

Zhao G., Mu X., Wen Z., Wang F. and Gao P. 2013. Soil erosion, conservation, and eco environment changes in the Loess Plateau of China. *Land Degradation and Development,* 24: 499–510.

Zhao X., Wu P., Gao X. and Persaud N. 2015. Soil quality Indicators in relation to land use and topography in a small catchment on the Loess Plateau of China. *Land Degradation and Development,* 26: 54–61.

www.SID.ir

Archive of SID

Application of Multivariate Statistical Methods for Evaluating Soil Quality Indices in Lordegan Semiarid Region

Elham Alidoust[1*], Majid Afyuni[2], Mohammad Ali Hajabbasi[2], Mohammad Reza Mosaddeghi[2]

(Received: January 2018 Accepted: April 2018)

Abstract

Soil quality is affected by the type of land use and management. Evaluation of soil quality indices is a suitable guide for adopting sustainable management practices and preventing soil degradation. The goals of this research were to explain soil variations and to determine the most important soil quality assessment indices. Therefore, totally 50 soil samples were collected from four land uses including forest, pasture, rain fed and irrigated farmlands in Lordegan watershed. Then soil characteristics consisted of soil bulk density, soil texture components, calcium carbonate equivalent, cation exchange capacity, pH, electrical conductivity, organic carbon, total nitrogen, carbon to nitrogen ratio, microbial basal respiration and mean weight diameter of aggregates were measured. Also, average monthly temperature, annual precipitation, elevation and slope of sampling points were determined. The results of principal component analysis illustrated that organic carbon, sand content, annual precipitation and elevation were the most important factors causing soil variations in the area. This method could explain 81% of soil variations in the region by creating 5 principal components. Furthermore, various kind of land uses were distinguished successfully according to a set of selected soil attributes using Discriminant Analysis. The percentage of correct classification in this analysis was 94%. The results of this study emphasize on the applicability of multivariate statistical methods in the assessment of soil quality. The individual examination for each of selected indices indicated the high quality of forest soils compared to the other land uses. However, rain fed farmlands had a poor quality situation. Therefore, achieving sustainable management in the area requires the prevention of land use change and the restoration of degraded lands for improving soil quality.

Keywords: Land use, Soil organic carbon, Principal component analysis, Discriminant analysis

Alidoust A., Afyuni A., Hajabbasi M.A., Mosaddeghi M.R.2019. Application of multivariate statistical methods for evaluating soil quality indices in Lordegan semiarid region. *Applied Soil Research*, 7(3):192-206.

1- PhD candidate, Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Iran
2- Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Iran
* Corresponding Author Email: elham.alidoust@gmail.com

www.SID.ir