

ارزیابی اثر جایگاه شیب و تخریب جنگل بر روی شاخص کیفیت خاک

سروه مرادی^۱ کمال نبی‌اللهی^{۲*} و سید محمد طاهر حسینی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان

۲- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان

چکیده	تاریخچه مقاله
<p>اثر جایگاه شیب و تخریب جنگل بر روی کیفیت خاک شناخته شده و مهم است. پایش تغییرات شاخص‌های کیفیت خاک، روشی ساده و معمول جهت ارزیابی کیفیت خاک است. در این پژوهش، اثر تخریب جنگل و جایگاه شیب بر روی شاخص کیفیت خاک وزنی تجمعی و نمره در جنگل‌های مریوان در استان کردستان بررسی شد. تعداد ۸ نیمرخ خاک در جایگاه‌های مختلف دو شیب تپه، تحت کاربری‌های جنگل و جنگل تخریب شده حفر و تشریح شدند. افزون بر این، در هر کاربری در هر موقعیت شیب، ۳ نمونه خاک از عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری برداشت شد. ۱۵ ویژگی خاک اندازه‌گیری و به‌عنوان مجموعه کل داده‌ها استفاده شدند؛ سپس با استفاده از روش تجزیه مولفه اصلی هفت ویژگی خاک (کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، رطوبت قابل دسترس، فسفر قابل دسترس، ازت کل، جرم مخصوص ظاهری و فرسایش پذیری خاک) به‌عنوان مجموعه حداقل داده‌ها انتخاب شدند. وزن و نمره هر ویژگی به‌ترتیب با استفاده از واریانس مشترک و توابع نمره‌دهی مشخص شدند و در نهایت شاخص کیفیت وزنی تجمعی خاک محاسبه شد. میانگین مقادیر شاخص‌های کیفیت خاک در جنگل تخریب شده به‌طور معنی‌داری، کمتر از کاربری جنگل بود؛ همچنین میانگین شاخص‌های کیفیت خاک در موقعیت شانه شیب به‌طور معنی‌داری کمتر از سایر موقعیت‌های شیب بود. ضریب همبستگی معنی‌دار قوی (۰/۹۸) بین شاخص‌های کیفیت وزنی تجمعی خاک محاسبه شده با استفاده از مجموعه کل داده‌ها و مجموعه حداقل داده‌ها به‌دست آمد.</p>	<p>دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۳۰ پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۰۸/۲۱</p> <p>کلمات کلیدی: کیفیت خاک، مجموعه حداقل داده، تجزیه به مولفه‌های اصلی، شیب تپه</p> <p>* عهده دار مکاتبات Email: k.nabiollahi@uok.ac.ir</p>

۳۶، و تخریب جنگل به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین منشاها، انسانی تصاعد کربن بر روی کیفیت خاک موثر است (۵۴، ۳۰، ۵۱). اهمیت جایگاه شیب و تخریب جنگل عمدتاً از تاثیر آن‌ها بر روی فرسایش خاک ناشی می‌شود (۱۵) و فرسایش خاک اغلب یک شاخص کلیدی در ارزیابی

مقدمه

کیفیت خاک عبارت از توانایی خاک جهت حفظ توان تولید بیولوژیک، بهبود کیفیت آب و هوا و همچنین تأمین سلامت انسان، گیاه و حیوان است (۲۸). جایگاه شیب به‌عنوان یکی از مهم‌ترین فاکتورهای توپوگرافی (۳۲، ۵۸

تغییرات عمده‌ای را در ساختار توده‌های جنگلی به دلیل تغییر کاربری ایجاد می‌کند و باعث تحول و کاهش کیفیت خاک‌های این منطقه شده است.

خرمالی و همکاران^۱ (۲۰۰۹) در بررسی اثر تخریب جنگل بر روی کیفیت خاک در استان گلستان نشان دادند که تخریب جنگل منجر کاهش ماده آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، پایداری خاکدانه و میزان تنفس میکروبی خاک شده است (۳۳).

خالدیان و همکاران^۲ (۲۰۱۱) در استان گلستان به این نتیجه رسیدند که با افزایش تخریب جنگل، میانگین وزنی قطر و پایداری خاکدانه‌ها کاهش و جرم مخصوص ظاهری خاک‌ها افزایش می‌یابد (۳۲).

آسفا و همکاران^۳ (۲۰۱۷) هم نشان دادند که تغییر کاربری اراضی منجر به کاهش و تخلیه کربن آلی خاک می‌شود (۷). بنابراین بررسی اثر تخریب جنگل و موقعیت شیب بر روی کیفیت خاک با استفاده از شاخص‌های کمی خاک در این مناطق شیب‌دار ضروری بوده و می‌تواند منجر به مدیریت پایدار خاک شود. هدف در این پژوهش، بررسی اثرات تخریب جنگل و جایگاه شیب بر روی کیفیت خاک با استفاده از شاخص کیفیت خاک در غرب استان کردستان می‌باشد.

مواد و روش

محدوده مطالعاتی، نمونه‌برداری و آنالیزهای آزمایشگاهی

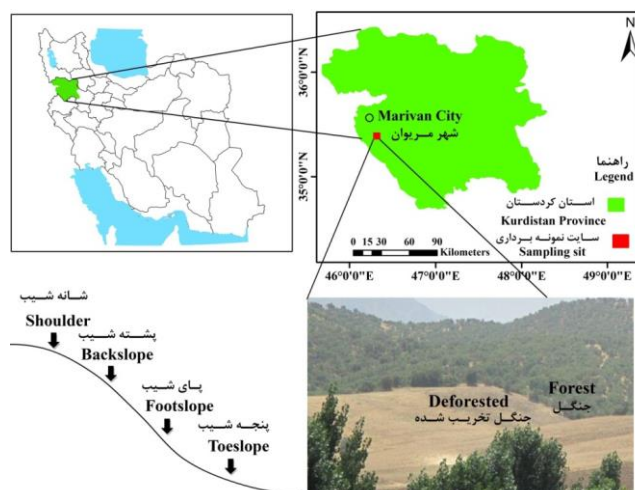
منطقه مورد پژوهش در ۱۰ کیلومتری شهرستان مریوان در غرب استان کردستان (با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه، ۲۶ دقیقه و ۱۶-۲۴ ثانیه و طول جغرافیایی ۴۶ درجه، ۲۱ دقیقه و ۱۳-۲۶ ثانیه) قرار دارد که دارای متوسط بارندگی سالیانه ۸۱۳ میلی-متر و متوسط درجه حرارت سالیانه ۱۳/۸ درجه سانتی‌گراد است رژیم رطوبتی و حرارتی خاک منطقه به ترتیب زیریک و مزیک می‌باشد (شکل ۱).

کیفیت خاک است (۱۲، ۳۵). مشخص شده است که تخریب جنگل منجر به افزایش فرسایش خاک می‌شود (۱۴)؛ همچنین میزان فرسایش خاک در جایگاه‌های متفاوت شیب متفاوت است (۳۹). شیب تپه، معمول‌ترین لندفرم است که دارای پنج واحد شیب شامل قله، شانه، پشته، پای و پنجه شیب است (۴۹). جایگاه‌های شیب تپه بر روی خصوصیات ظاهری و فرایندهای ژئوشیمیایی خاک موثر است و به فرایندهای فرسایش حساس هستند (۲۳، ۲۲). پژوهش‌های متعددی، اثر جایگاه شیب و تخریب جنگل بر روی خصوصیات خاک؛ را نشان داده‌اند (۱۶، ۴۲). از آنجا که کیفیت خاک به طور مستقیم، قابل اندازه‌گیری نیست، بنابراین از ویژگی‌های مربوطه باید استنتاج شود. ویژگی‌های کیفیت خاک، مجموعه‌های از ویژگی‌های قابل اندازه‌گیری خاک هستند که به تغییر کاربری اراضی، مدیریت یا عملیات حفاظتی حساس می‌باشند (۶، ۱۸). به دلیل این که تفسیر تعداد زیادی از ویژگی‌های خاک و نتیجه‌گیری از آن‌ها بسیار مشکل است، این ویژگی‌ها در یک شاخص تحت عنوان شاخص کیفیت خاک تلفیق می‌شوند. شاخص‌های کیفیت خاک یک راه آسان و معمول جهت ارزیابی کیفیت خاک می‌باشد (۴، ۱۸) و می‌توانند منجر به بهبود فهم اکوسیستم‌های خاک و مدیریت مؤثر خاک شوند. شاخص کیفیت وزنی تجمعی خاک (Weighted additive soil quality index) یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کیفیت خاک است که برای اهداف مختلف توسط محققین مختلف به کار برده شده است (۴۵، ۳۶، ۱۳، ۸). مجموعه‌های متفاوتی از ویژگی‌های تأثیرگذار بر کیفیت خاک برای تعیین و محاسبه شاخص‌های کیفیت خاک پیشنهاد شده است که دو رویکرد جهت انتخاب ویژگی‌های مؤثر کیفیت خاک تحت عنوان مجموعه کل داده‌ها (Total data set) و حداقل داده‌ها (Minimum data set) وجود دارد که به طور گسترده جهت ارزیابی کیفیت خاک به کار برده شده‌اند (۱۹، ۳۷، ۶۲). بهره‌برداری‌های سنتی در منطقه مریوان استان کردستان با توجه به افزایش جمعیت و متعاقباً افزایش نیاز به غذا،

1- Khormali et al.

2- Khaledian et al.

3- Assefa et al.



شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعاتی
Figure(1) Location of study area

معادل به روش حجم سنجی (۵۵)، کربن آلی به روش والکلی-بلک (۴۱)، جرم ویژه ظاهری به روش استوانه‌های فلزی و جرم ویژه حقیقی نیز به روش پیکنومتر (۹)، تخلخل خاک با استفاده از جرم ویژه ظاهری و جرم ویژه حقیقی، ازت کل به روش کجلدال (۲۷)، فسفر قابل جذب به روش اولسن (۴۳)، پتاسیم قابل استفاده از طریق جایگزین کردن استات آمونیوم (۴۸)، سدیم موجود محلول به وسیله دستگاه فلیتومترومتر و مقدار کلسیم و منیزیم محلول با استفاده از عصاره اشباع خاک از طریق تیتراسیون با EDTA اندازه‌گیری شد (۲۵). نسبت جذب سطحی سدیم (SAR) به وسیله سدیم، کلسیم و منیزیم محلول محاسبه شد. شدت تنفس میکروبی به روش تصاعدی اکسید کربن (۱)، بافت خاک به روش هیدرومتری (۱۷) و شن‌ریز با استفاده از الک تر (۵۲) اندازه‌گیری شد. سرعت نفوذ نهایی با استفاده از روش استوانه‌های مضاعف و فرسایش‌پذیری خاک بر اساس معادله ویشمایر و اسمیت برآورد شد (۶۱).

انتخاب ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک

۱۵ ویژگی اندازه‌گیری شده در این پژوهش به‌عنوان ویژگی‌های مجموعه کل داده‌ها انتخاب شدند

در این پژوهش یک تپه با شیب کلی رو به غرب و مواد مادری شیل در نظر گرفته شد که تحت کاربری جنگل طبیعی بلوط بود و قسمت‌هایی از آن تحت کشت زراعت گندم (با سابقه کشت ۵۰ ساله) قرار داشت (شکل ۱).

نمونه‌برداری خاک و آنالیزهای آزمایشگاهی

۸ خاک‌رخ خاک در امتداد زمین‌نمای تپه و در موقعیت‌های مختلف شیب (شانه، پشته، پای و پنجه-شیب) با کاربری زراعت و جنگل حفر و مطابق با سیستم طبقه‌بندی آمریکایی تشریح شدند (۵۳). منطقه نمونه‌برداری به دلیل نداشتن شرایط خاص توپوگرافیک، فاقد موقعیت قله بود؛ علاوه بر این، در هر کاربری ۱۲ نمونه خاک و در مجموع ۲۴ نمونه خاک از عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری (۳ نمونه در هر جایگاه شیب) برداشت شد. (شکل ۱). پایداری خاکدانه به روش الک تر (۳۱)، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) به روش باور (۱۰)، رطوبت قابل استفاده گیاه از تفاضل رطوبت در مکش‌های ۳۳ و ۱۵۰۰ کیلوپاسکال، هدایت الکتریکی و اسیدیته در عصاره گل اشباع به ترتیب با دستگاه‌های هدایت‌سنج الکتریکی (۳۸) و pH متر (۴۷)، کربنات کلسیم

کاهش کیفیت خاک می شود همچون pH) وجود دارد. در این پژوهش تابع بیشتر بهتر برای ویژگی های ظرفیت تبادل کاتیونی (۵۰)، کربن آلی خاک (۴۰)، فسفر در دسترس (۱۹)، پتاسیم در دسترس (۳۷)، ازت کل (۸)، تنفس میکروبی، (۶۲)، رطوبت قابل استفاده (۴۰) و میانگین پایداری خاکدانه (۴۵)، تابع کمتر بهتر برای ویژگی های فرسایش پذیری خاک (۴۶)، SAR (۵۷)، کربنات کلسیم معادل (۴۷) و جرم مخصوص ظاهری (۶) و تابع بهینه برای ویژگی های تخلخل خاک (۳۰)، pH (۴۷) و هدایت الکتریکی (۴۷) استفاده شد (جدول ۱). حدود آستانه ۵۰ درصد (۲۴)، ۷ (۲) و محدوده ۰/۲ تا ۲ دسی زیمنس بر متر (۳) به ترتیب برای ویژگی های تخلخل خاک، pH و هدایت الکتریکی جهت نمره دهی بر اساس تابع نمره-دهی بهینه استفاده شد.

وزن دهی ویژگی های موثر بر کیفیت خاک

جهت وزن دهی ویژگی های مؤثر در هر دو مجموعه کل داده ها، و حداقل داده ها ابتدا سهم هر ویژگی (Communality) به روش تجزیه عاملی (Factor analysis) در محیط SPSS نسخه ۲۰ محاسبه شد؛ سپس وزن هر ویژگی، از تقسیم مقدار سهم آن ویژگی بر سهم کل ویژگی ها در هر مجموعه محاسبه شد (۲۶).

محاسبه شاخص های وزنی تجمعی و نمره کیفیت خاک

ویژگی های انتخاب شده در هر دو مجموعه کل داده ها و حداقل داده ها به طور جداگانه در رابطه ۱ و ۲ وارد شده و شاخص های کیفیت وزنی تجمعی و نمره محاسبه شد.

$$SQIw = \sum_{i=1}^n W_i N_i \quad (\text{رابطه ۱})$$

در این رابطه W_i وزن هر ویژگی، N_i مقدار نمره هر ویژگی و n تعداد ویژگی ها است.

و تاثیر آن ها بر روی کیفیت خاک بررسی شد. این ۱۵ ویژگی، توسط پژوهشگران مختلفی به عنوان ویژگی های مناسبی جهت ارزیابی کیفیت خاک توصیه شده-اند (۸، ۳۷، ۵۷، ۴۷، ۴۰، ۶۲). جهت انتخاب ویژگی های مجموعه، حداقل داده ها از روش تجزیه به مولفه های اصلی با استفاده از نرم افزار SPSS v. ۲۰ نسخه استفاده شد. مولفه های که دارای ارزش ویژه (Eigenvalues) بزرگتر یا مساوی یک بودند، انتخاب شدند (۴). بعد از انتخاب تعداد مولفه های اصلی، مهم ترین متغیرها در داخل هر مولفه اصلی انتخاب شد. در هر مولفه متغیرهای که دارای بیشترین وزن ((قدر مطلق آن) یا در در محدوده ۱۰ درصد بیشترین وزن موجود در آن مولفه بودند، به عنوان مجموعه حداقل داده ها انتخاب شدند (۴). در صورتی که دو متغیر دارای ضریب همبستگی بیشتر از ۰/۶ با همدیگر باشند یکی از دو متغیر که وزن بیشتری داشته باشد در نهایت انتخاب می شود و اگر ضریب همبستگی کمتر از ۰/۶ با همدیگر داشته باشند، هر دو انتخاب می شوند (۵۰).

نمره دهی ویژگی های موثر بر کیفیت خاک

با توجه به آن که ویژگی های مورد بررسی دارای واحدهای مختلفی بوده و قابل جمع یا ضرب نمودن نیستند، هر ویژگی کیفیت خاک برای بی واحد شدن در محدوده ۰ تا ۱ با استفاده از توابع استاندارد نمره دهی (Standard Scoring Function)، نمره آن ها به روش آماری و فازی مشخص شد (۲۹). سه تابع کلی استاندارد نمره دهی تحت عنوان بیشتر بهتر (برای ویژگی هایی که افزایش آن ها موجب بهبود کیفیت خاک می شود؛ همچون ظرفیت تبادل کاتیونی)، کمتر بهتر (برای ویژگی های که افزایش آن ها موجب کاهش کیفیت خاک می شود همچون SAR) و بهینه وجود دارد (برای ویژگی های که افزایش یا کاهش آن ها بیش از حد بهینه موجب

جدول (۱) توابع نمره دهی و ویژگی های خاک

Table (1) Standard scoring functions and soil properties.

منبع	تابع نمره دهی Scoring function	ویژگی خاک Soil property
Rahmanipour et al., (2014), Andrews et al., (2004), Vasu et al., (2016)	بهینه	پ هاش (pH)
Kassa et al., (2017)	بهینه	تخلخل (Porosity)
Lal, (1994), Nakajima et al., (2015), Rahmanipour et al., (2014)	بهینه	هدایت الکتریکی (Electrical Conductivity)
Andrews et al., (2002),	کمتر بهتر	نسبت جذب سطحی سدیم (SAR)
Askari et al., (2015), Biswas et al., (2017), Nakajima et al., (2015)	کمتر بهتر	جرم مخصوص ظاهری (Bulk Density)
Rahmanipour et al., (2014)	کمتر بهتر	فرسایش پذیری خاک (Soil Erodibility)
Guo et al., (2017)	بیشتر بهتر	فسفر (Phosphorus)
Liu et al., (2018)	بیشتر بهتر	پتاسیم (Potassium)
Nakajima et al., (2015), Gorj et al., (2018)	بیشتر بهتر	رطوبت قابل دسترس (Available Moisture)
Yu et al., (2018)	بیشتر بهتر	تنفس میکروبی (Microbial Respiration)
Rahmanipour et al., (2014); Sanchez-Navarro et al., (2015)	بیشتر بهتر	ظرفیت تبادل کاتیونی (Cation Exchange Capacity)
Nakajima et al., (2015), Raiesi and Kabiri, (2016)	بیشتر بهتر	میانگین پایداری خاکدانه (Aggregate stability average)
Lal, (1994), Nakajima et al., (2015); Rahmanipour et al., (2014)	بیشتر بهتر	کربن آلی (Organic Carbon)
Biswas et al., (2018)	بیشتر بهتر	ازت (Nitrogen)
Rahmanipour et al., (2014)	بیشتر بهتر	کربنات کلسیم معادل (Carbonate Calcium Equivalent)

(فاکتور ۱: کاربری در دو سطح و فاکتور ۲: موقعیت شیب در چهار سطح) در قالب طرح کاملاً تصادفی، اجرا شد. مقایسه میانگین متغیرها با استفاده از آزمون دانکن و تی در سطح ۱ درصد در محیط SPSS نسخه ۲۰ انجام گرفت.

نتایج و بحث

میانگین کربن آلی خاک و پ هاش در منطقه، نشان-دهنده کربن آلی متوسط و قلیایی بودن خاک می باشد. میزان کربنات کلسیم معادل، SAR و شوری کم و کلاس بافت خاک لوم سیلتی تا لومرسی سیلتی می باشد.

(رابطه ۲)

$$SQIn = \sqrt{\frac{P_{ave}^2 + P_{min}^2}{2} \times \frac{n-1}{n}}$$

که در آن P_{ave} میانگین مقادیر ویژگی های انتخاب-شده برای هر نمونه خاک، P_{min} حداقل نمره موجود در بین ویژگی های انتخاب شده، برای هر نمونه و n تعداد ویژگی های مورد نظر است..

آنالیزهای آماری

قبل از آنالیزهای آماری، نرمال بودن داده ها با استفاده از تست اسمیرنوف کولموگروف انجام شد (SPSS v. نسخه ۲۰). برای آنالیز آماری داده ها، آرایش فاکتوریل

بر اساس آنالیز واریانس مشترک (سهم هر ویژگی) جرم مخصوص ظاهری خاک، دارای بیشترین وزن (۰/۰۷۷) \geq ، فسفر در دسترس دارای کمترین وزن (۰/۰۱۸) \leq و سایر ویژگی‌ها، شامل میانگین پایداری خاکدانه (۰/۰۶۰)، SAR (۰/۰۴۷)، pH (۰/۰۴۷)، هدایت الکتریکی (۰/۰۴۳)، رطوبت در دسترس (۰/۰۵۲)، کربنات کلسیم معادل (۰/۰۵۵)، پتاسیم در دسترس (۰/۰۵۸)، کربن آلی (۰/۰۶۲)، شدت تنفس میکروبی (۰/۰۶۲)، تخلخل (۰/۰۶۰)، ازت کل (۰/۰۴۰)، فرسایش پذیری خاک (۰/۰۵۸) و ظرفیت تبادل کاتیونی (۰/۰۵۹) دارای اوزان متوسط بودند. نتایج مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون تی، نشان داد که میانگین مقادیر شاخص‌های کیفیت وزنی تجمعی و نمو خاک در خاک‌های جنگلی تبدیل شده به زراعت، به طور معنی‌داری در مقایسه با خاک‌های جنگلی کمتر بود (شکل ۲). همچنین نتایج نشان داد که مقادیر نمرات ویژگی‌های میانگین پایداری خاکدانه و جرم مخصوص ظاهری (به سبب خرد شدن خاک در اثر عملیات خاک‌ورزی)، کربن آلی (به دلیل افزایش سرعت تجزیه مواد آلی در اثر عملیات خاک‌ورزی و انتقال خاک سطحی در اثر فرسایش)، ظرفیت تبادل کاتیونی (به دلیل زیاد بودن ماده آلی و رس خاک)، رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای و رطوبت نقطه پژمردگی دائم (به دلیل نگهداشت آب کمتر)، هدایت الکتریکی، پ‌هاش (آبشویی و نفوذ کمتر)، ازت کل (به دلیل رواناب بیشتر)، پتاسیم در دسترس (به دلیل برداشت بیشتر توسط گیاه زراعی)، شدت تنفس میکروبی (کاهش کربن آلی)، تخلخل (به سبب خرد شدن خاک در اثر عملیات خاک‌ورزی و جای‌گیری ذرات ریز در منافذ درشت خاک)، نسبت جذب سطحی سدیم (به دلیل بیشتر بودن سدیم) و رطوبت قابل استفاده (به دلیل رطوبت ظرفیت زراعی کمتر) در خاک‌های جنگلی تبدیل شده به زراعت به طور معنی‌داری در مقایسه با خاک‌های جنگلی کمتر بودند (جدول ۲).

ارتباط بین تخریب جنگل، جایگاه شیب و تحول خاک

خاک‌های جنگلی در رده مالی‌سولز (Typic Haploxerllos در پشته شیب، پای شیب و پنجه شیب و Lithic Haploxerolls در شانه شیب) و خاک‌های جنگلی تبدیل شده به زراعت در رده اینسپتی‌سولز (Typic Haploxerepts در پشته شیب، پای شیب و پنجه شیب) و انتی‌سولز (Lithic Xerorthents در شانه شیب) طبقه‌بندی شدند. خاک‌های جنگلی، دارای افق مشخصه سطحی مالیک و افق مشخصه زیر سطحی کمیک بودند. در مقابل خاک‌های جنگلی تبدیل شده به زراعت، دارای افق مشخصه سطحی اکریک بودند. عدم وجود افق مشخصه سطحی مالیک در خاک‌های جنگلی تبدیل شده به زراعت، نشان‌دهنده وجود فرسایش خاک ناشی از کشت و کار می‌باشد. کشت و کار منجر به نازک شدن ضخامت افق مشخصه سطحی مالیک و متعاقباً کاهش کربن آلی آن شده و موجب تبدیل شدن آن به افق مشخصه سطحی اکریک شده است. در خاک‌های جنگلی تبدیل شده به زراعت سطوح ناپایدار ژئومورفیک و تناوب فرسایش و رسوب‌گذاری از تکامل این خاک‌ها ممانعت به عمل آورده است. ضخامت افق مالیک و عمق خاک در جایگاه‌های شیب پست‌تر (پای‌شیب و پنجه‌شیب) در مقایسه با جایگاه‌های بالاتر (شانه‌شیب و پشته‌شیب) به دلیل رسوب‌گذاری مواد از قسمت‌های بالاتر شیب بیشتر بودند. وب و دولینگ (۲۰۰۵) هم بیان کردند که جایگاه شیب بیشترین تأثیر را در عمق خاک دارد و موقعیت‌های میانه و بالای شیب دارای خاک‌های کم عمق‌تری در مقایسه با موقعیت‌های پایین شیب هستند (۵۹). جایگاه شیب اثر زیادی بر روی عمق خاک دارد و جایگاه‌های بالای شیب، خاک کم عمق‌تری در مقایسه با جایگاه‌های پست‌تر دارند (۳۹).

ارتباط بین تخریب جنگل و شاخص‌ها و ویژگی‌های کیفیت خاک

مجموعه کل داده‌ها

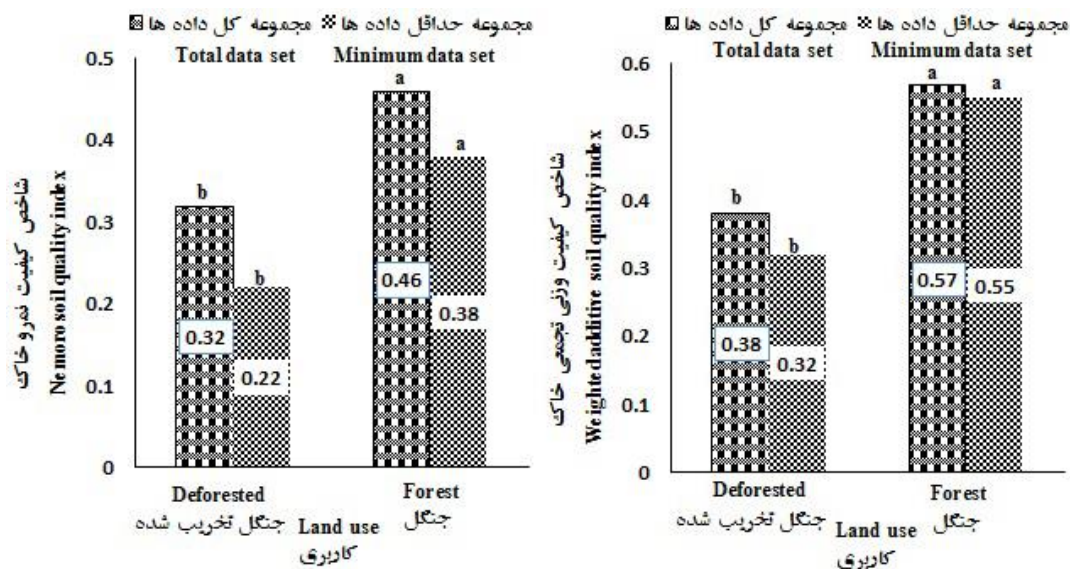
جدول (۲) میانگین نمرات ویژگی‌های خاک در کاربری‌های جنگل و جنگل تخریب شده مطابق با آزمون تی در سطح ۵ درصد ($p > 0.05$)

Figure(4) Continuous Removal Curves for the Reflecting Spectral of the studied soils

P value	جنگل تخریب شده (Deforested)	جنگل (Forest)	ویژگی خاک (Soil property)
< 0.05**	0.63	0.88	پ‌هاش (pH)
< 0.05**	0.56	0.77	نسبت جذب سطحی سدیم (SAR)
ns	0.90	0.91	هدایت الکتریکی (Electrical Conductivity)
< 0.05**	0.36	0.83	کربنات کلسیم معادل (Carbonate Calcium Equivalent)
< 0.05**	0.45	0.75	کربن آلی (Organic Carbon)
< 0.05**	0.40	0.67	جرم مخصوص ظاهری (Bulk Density)
< 0.05**	0.28	0.68	ظرفیت تبادل کاتیونی (Cation Exchange Capacity)
< 0.05**	0.33	0.62	تنفس میکروبی (Microbial Respiration)
< 0.05**	0.38	0.83	فرسایش پذیری خاک (Soil Erodibility)
< 0.05**	0.50	0.68	تخلخل (Porosity)
< 0.05**	0.28	0.63	رطوبت قابل دسترس (Available Moisture)
ns	0.19	0.25	ازت (Nitrogen)
ns	0.20	0.38	فسفر (Phosphorus)
ns	0.42	0.61	پتاسیم (Potassium)
< 0.05**	0.45	0.75	میانگین پایداری خاکدانه (Aggregate stability average)

** و ns به ترتیب معنی داری و عدم معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد

**and ns, is significant and non-significant at the level 0.05, respectively.



شکل (۲) میانگین مقادیر شاخص‌های وزنی تجمعی و نمره کیفیت خاک در خاک‌های جنگل و جنگل تخریب شده با استفاده از مجموعه کل داده‌ها و مجموعه حداقل داده‌ها (میانگین‌هایی که حروف مشترک دارند مطابق با آزمون تی در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری باهم ندارند)

Figure(2) Mean values of nemoro and weighted additive soil quality indices in forest and deforested soils using the total data set (TDS) and minimum data set (MDS). Means ($n = 2$) that do not share a letter are significantly different at the 0.01 level ($p < 0.05$) according to Independent –Samples T test's.

مجموعه حداقل داده‌ها

بر اساس آنالیز مولفه‌های اصلی، سه مولفه ابتدایی (با ارزش ویژه بزرگتر از یک) حدود ۸۵/۹۰ درصد از واریانس کل را تحت پوشش قرار می‌دهند (جدول ۳). در مولفه اصلی اول، ویژگی کربن آلی، دارای بیشترین وزن بود و بر اساس ۱۰ درصد وزن این متغیر، ویژگی‌های فرسایش‌پذیری خاک، جرم مخصوص ظاهری، ظرفیت تبادل کاتیونی و رطوبت قابل استفاده هم انتخاب شدند (جدول ۳). با توجه به آن که این متغیرها، دارای همبستگی قابل توجهی باهم نبودند بنابراین تمام آن‌ها به عنوان ویژگی‌های تاثیر گذار بر کیفیت خاک در مولفه اصلی اول انتخاب شدند. در مولفه اصلی دوم و سوم به ترتیب ویژگی فسفر در دسترس و ازت کل دارای بیشترین وزن (جدول ۳) بودند؛ بنابراین به عنوان ویژگی تاثیر گذار بر کیفیت خاک، این مولفه‌ها انتخاب شدند. مشابه با مجموعه کل داده‌ها، در مجموعه حداقل داده‌ها نتایج مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون تی نشان داد که میانگین مقادیر شاخص‌های کیفیت وزنی تجمعی و نمره خاک در خاک‌های جنگلی تبدیل شده به زراعت به‌طور معنی‌داری در مقایسه با خاک‌های جنگلی کمتر بود (شکل ۲). کیفیت خاک در خاک‌های جنگلی تبدیل شده به زراعت توسط مقادیر کم ویژگی‌های کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، رطوبت قابل استفاده، شدت تنفس میکروبی، تخلخل خاک و میانگین پایداری خاکدانه و مقادیر زیاد ویژگی‌های فرسایش‌پذیری خاک، SAR، جرم مخصوص ظاهری و pH محدود شده و در کل دارای کیفیت پایین بودند (جدول ۲). این کاهش کیفیت، می‌تواند به دلیل تخریب ویژگی‌های خاک در اثر کشت و کار دراز مدت و فرسایش خاک ناشی از آن ایجاد شده است.

خرمالی و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که پس از تخریب جنگل، مقادیر میانگین پایداری خاکدانه، ذخیره کربن آلی خاک، ازت کل، شدت تنفس میکروبی و

سرعت نفوذپذیری خاک کاهش و مقدار جرم مخصوص ظاهری افزایش یافت (۳۲).

کاسا و همکاران^۱ (۲۰۱۷) اثر تخریب جنگل بر بعضی خصوصیات خاک را در چهار عمق (۰-۲۰، ۲۰-۴۰، ۴۰-۶۰ و ۶۰-۸۰ سانتی‌متری) در اتیوپی ارزیابی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که خاک‌های جنگلی از لحاظ خصوصیات شن، سیلت، pH، جرم مخصوص ظاهری، ازت کل، فسفر در دسترس، کربن آلی خاک و ظرفیت تبادل کاتیونی دارای تفاوت معنی‌داری در مقایسه با خاک‌های زراعی بودند (۳۰).

اوزگوز و همکاران^۲ (۲۰۱۳) نشان دادند که مقادیر کربن آلی خاک، میانگین پایداری خاکدانه، فسفر در دسترس و جرم مخصوص ظاهری در دو کاربری مرتع و زراعت در مناطق خشک و نیمه خشک دارای تفاوت معنی‌داری بودند (۴۴). آسفا و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که تغییر کاربری اراضی از جنگل به زراعت در آمازون منجر به کاهش ذخایر کربن آلی خاک و نیتروژن خاک شده است (۷).

هنوک و همکاران^۳ (۲۰۱۷)، تسفای و همکاران^۴ (۲۰۱۷) و لی و همکاران^۵ (۲۰۱۷) هم کاهش حاصل-خیزی و افزایش فرسایش خاک را در اثر تغییر کاربری اراضی گزارش کردند (۳۵، ۵۶، ۲۱).

ارتباط بین جایگاه شیب و شاخص‌ها و ویژگی-**های کیفیت خاک**

بر اساس دو نوع شاخص کیفیت وزنی تجمعی (شامل شاخص کیفیت وزنی تجمعی به روش مجموعه حداقل داده‌ها و مجموعه حداکثر داده‌ها) جایگاه شانه شیب، در هر دو خاک جنگلی و جنگلی تخریب شده به زراعت دارای کیفیت خاک پایینی بود (شکل ۳). کیفیت خاک در این جایگاه شیب به‌طور معنی‌داری

1- Kassa et al.
2- Ozgoz et al.
3- Henok et al.
4- Tesfaye et al.
5- Li et al.

فرسایش پذیری خاک، SAR، جرم مخصوص ظاهری و pH در مقایسه با جایگاه شانه شیب هستند (جدول ۳). جایگاه محدب شانه شیب به مقدار زیادی در معرض فرسایش است و در مقابل جایگاه‌های پست تر (پای شیب و پنجه شیب) که مقعر هستند، دارای رسوب گذاری مواد از قسمت‌های بالایی شیب هستند (۲۰). این نتایج، به روشنی نشان داد که ویژگی‌های کیفیت خاک، دارای ارتباط خوبی با جایگاه شیب می‌باشند و جایگاه شیب اثرات معنی دار زیادی بر روی فرایندهای که در ارتباط با کیفیت خاک مهم هستند، می‌گذارد. پژوهش‌های زیادی نشان داده‌اند که جایگاه شیب دارای اثر قابل توجهی بر روی خصوصیات خاک است.

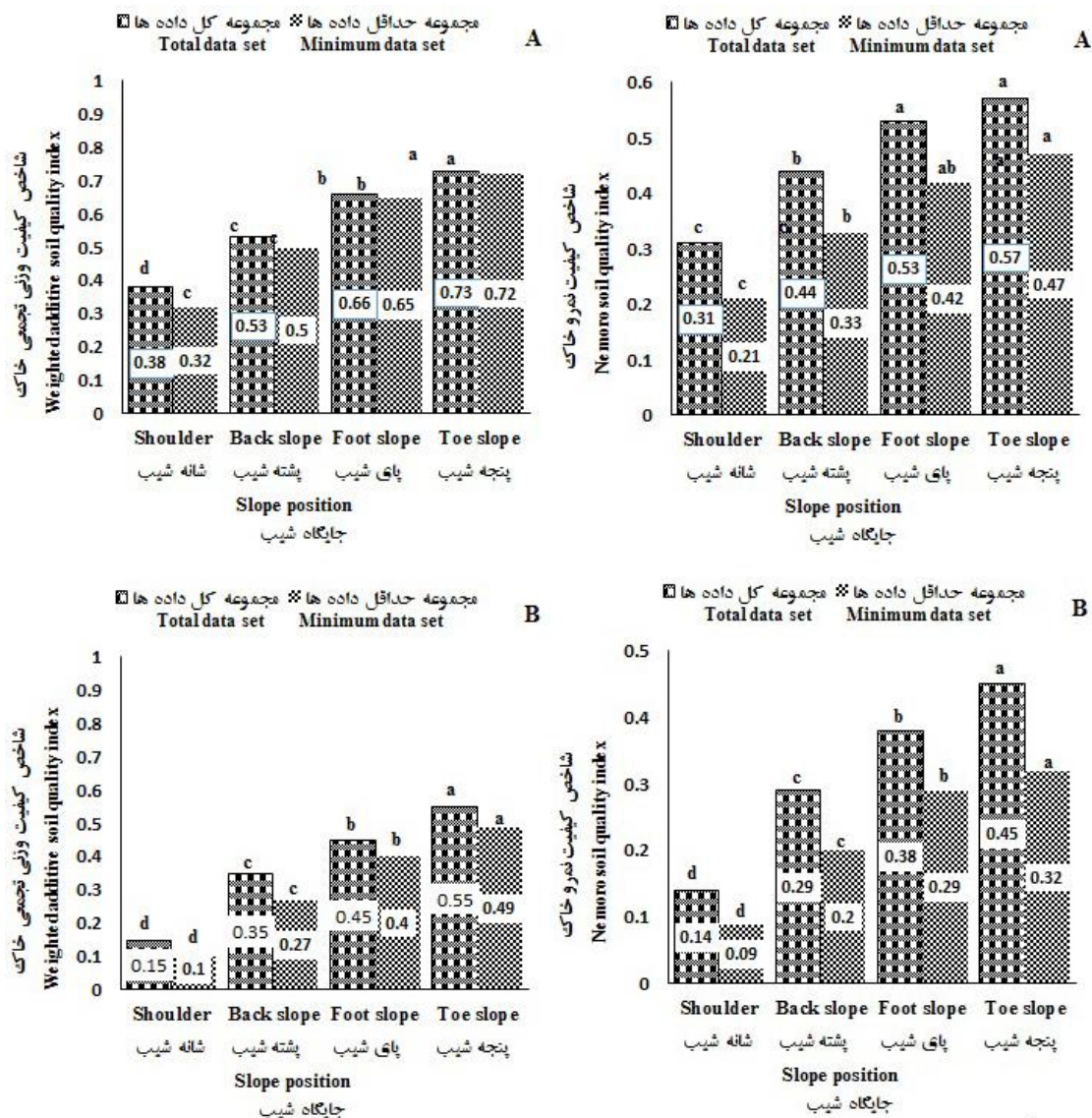
توسط مقادیر کم ویژگی‌های کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، فسفر در دسترس، پتاسیم در دسترس، رطوبت قابل استفاده، شدت تنفس میکروبی، تخلخل خاک، ازت کل و میانگین پایداری خاکدانه و مقادیر زیاد فرسایش پذیری خاک، SAR، جرم مخصوص ظاهری و pH محدود شده و بنابراین دارای کیفیت خاک پایین می‌باشد. در مقابل جایگاه‌های پست شیب (شامل پای شیب و پنجه شیب) دارای کیفیت خاک بالایی هستند (شکل ۲). این جایگاه‌های پست شیب (شامل پای شیب و پنجه شیب) دارای مقادیر بیشتر کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، فسفر در دسترس، پتاسیم در دسترس، رطوبت قابل استفاده، شدت تنفس میکروبی، تخلخل خاک و میانگین پایداری خاکدانه و مقادیر کمتر

جدول (۳) نتایج تجزیه به مولفه اصلی برای ویژگی‌های خاک

Table (5). Results of PCA for soil properties.

مولفه ۱ (PCA 1)	مولفه ۲ (PCA 2)	مولفه ۳ (PCA 3)	مولفه ۴ (PCA 4)	
10.41	1.40	1.06	0.54	ارزش ویژه (Eigenvalue)
69.40	09.40	07.10	3.60	واریانس (Variance)
69.40	78.80	85.90	89.50	واریانس تجمعی (Cumulative Variance)
بردارهای ویژه (Eigenvectors)				
0.250	-0.353	-0.232	-0.254	پ‌هاش (pH)
0.252	0.353	-0.069	-0.142	نسبت جذب سطحی سدیم (SAR)
0.241	0.124	0.483	-0.061	هدایت الکتریکی (Electrical Conductivity)
-0.270	0.059	-0.027	0.225	کربنات کلسیم معادل (Carbonate Calcium Equivalent)
<u>-0.291</u>	-0.092	0.013	0.526	کربن آلی (Organic Carbon)
<u>0.288</u>	-0.082	-0.032	-0.061	جرم مخصوص ظاهری (Bulk Density)
<u>-0.288</u>	0.089	0.037	0.283	ظرفیت تبادل کاتیونی (Cation Exchange Capacity)
-0.281	0.160	-0.069	-0.016	تنفس میکروبی (Microbial Respiration)
<u>0.277</u>	0.157	-0.069	-0.303	فرسایش پذیری خاک (Soil Erodibility)
-0.279	0.144	0.059	0.052	تخلخل (Porosity)
<u>-0.275</u>	-0.059	-0.099	-0.379	رطوبت قابل دسترس (Available Moisture)

-0.142	<u>0.700</u>	-0.360	-0.085	ازت (Nitrogen)
0.235	0.118	<u>-0.636</u>	-0.146	فسفر (Phosphorus)
-0.246	-0.348	-0.108	-0.250	پتاسیم (Potassium)
0.356	0.069	-0.085	-0.286	میانگین پایداری خاکدانه (Aggregate stability average)



شکل (۳) میانگین مقادیر شاخص‌های وزنی تجمعی و نمر و کیفیت خاک در جایگاه‌های مختلف شیب با استفاده از مجموعه کل داده‌ها و مجموعه حداقل داده‌ها در (A) خاک‌های جنگل و (B) جنگل تخریب شده (میانگین‌هایی که حروف مشترک دارند مطابق با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری باهم ندارند)

Figure(3) Mean value of nemoro and weighted additive Soil Quality Indices in different slope positions using the total data set (TDS) and minimum data set (MDS) in (A) forest and (B) deforested soils. Means (n = 4) that do not share a letter are significantly different at the 0.01 level ($p < 0.05$) according to Duncan's test.

هزینه مربوط به نمونه برداری و آنالیزهای نمونه‌های خاک می‌شود. نتایج نشان داد که مدل شاخص وزنی تجمعی کیفیت خاک مدل مناسبی جهت ارزیابی اثرات تخریب جنگل و جایگاه شیب بر روی کیفیت خاک می‌باشد. در مدل شاخص وزنی تجمعی کیفیت خاک برای ویژگی‌های کلیدی خاک وزن‌های اختصاص داده می‌شود و تعیین نمرات هر کدام از این خصوصیت‌ها به‌طور مستقل صورت می‌گیرد. واسو و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند که مدل شاخص وزنی تجمعی کیفیت خاک همبستگی بهتری با عملکرد محصول در مقایسه با مدل شاخص تجمعی کیفیت خاک داشت (۵۷). همچنین گو و همکاران (۲۰۱۷) مدل شاخص وزنی تجمعی کیفیت خاک و مدل شاخص نمو را برای ارزیابی اراضی کشاورزی چین مورد استفاده قرار دادند و نشان دادند که مدل شاخص تجمعی کیفیت خاک (ضریب همبستگی ۰/۶۵-۰/۷۷) در مقایسه با مدل شاخص نمو (ضریب همبستگی ۰/۵۷-۰/۷۳) بهتر بود (۱۹).

وانگ و همکاران^۱ (۲۰۱۷) نشان دادند که شدت تنفس میکروبی در جایگاه پست شیب در مقایسه با جایگاه میانه و بالای شیب بیشتر بود (۵۸). وی و همکاران^۲ (۲۰۱۴) و ژو و همکاران^۳ (۲۰۱۴) نشان دادند مقادیر رطوبت و کربن آلی خاک دارای تفاوت معنی‌داری در جایگاه‌های متفاوت شیب بودند (۶۳، ۶۰). کامباردلا و همکاران^۴ (۲۰۰۴) نشان دادند که pH در جایگاه قله شیب دارای کمترین مقدار در مقایسه با سایر جایگاه‌های شیب بود. آن‌ها همچنین نشان دادند که عملکرد محصول در جایگاه پشته شیب کمترین و در جایگاه پای شیب و پنجه شیب بیشترین بود (۱۱). خرمالی و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که ظرفیت تبادل کاتیونی و پتاسیم در دسترس به‌ترتیب در قله شیب و پنجه شیب بیشترین بودند. آن‌ها همچنین نشان دادند که کمترین سرعت نفوذپذیری و بیشترین فرسایش‌پذیری خاک در شانه شیب مشاهده شدند (۳۳).

مقایسه شاخص‌های کیفیت خاک

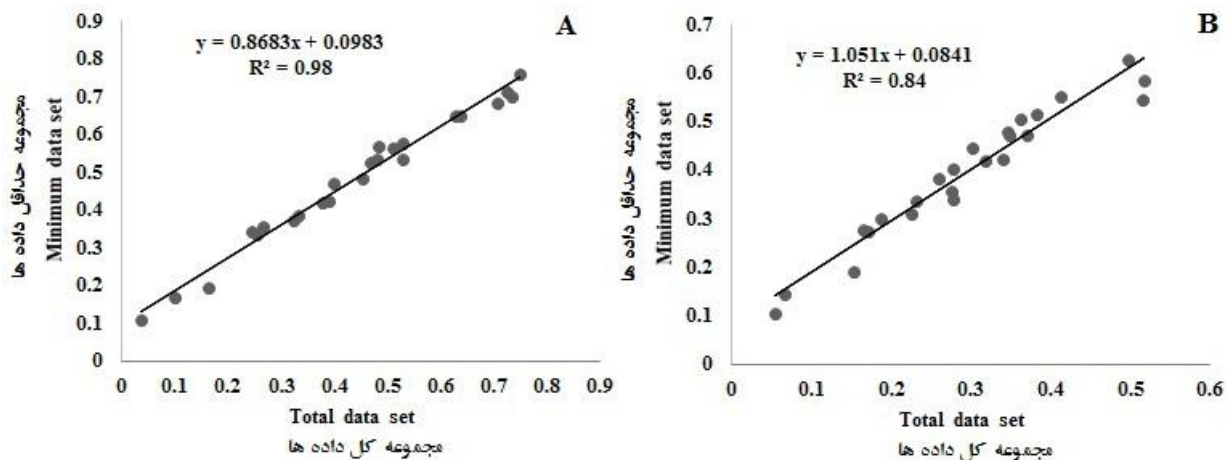
شاخص‌های محاسبه شده با استفاده از مجموعه کل داده‌ها و مجموعه حداقل داده‌ها دارای ضریب همبستگی خوب ۰/۹۸ و ۰/۸۴ با همدیگر بودند (شکل ۴). هفت ویژگی خاک (کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، رطوبت قابل دسترس، پتاسیم قابل دسترس، ازت کل و فرسایش‌پذیری خاک) که در این پژوهش به‌عنوان مجموعه حداقل داده‌ها انتخاب شدند، به‌طور گسترده‌ای توسط پژوهشگران مختلف دیگری در مطالعات پیشین به‌عنوان مجموعه حداقل داده‌ها به کار برده شده‌اند (۶۲، ۸، ۳۷، ۴۶، ۱۸، ۸). این ویژگی‌ها بر روی حاصل‌خیزی خاک، تهیه عناصر تغذیه‌ای، اسیدیته، رشد ریشه، تخلخل و فرسایش خاک موثر هستند. در روش مجموعه حداقل داده‌ها، اگرچه بعضی از اطلاعات کیفیت خاک حذف می‌شود اما در عوض منجر به صرفه‌جویی در وقت و

1- Wang *et al.*

2- Wei *et al.*

3- Zhu *et al.*

4- Cambardella *et al.*



شکل (۴) ارتباط خطی بین شاخص‌های وزنی تجمعی (A) و نمو (B) محاسبه شده با استفاده از مجموعه حداقل داده‌ها و کل داده‌ها

Figure(4) Linear relationship between weighted additive (A) and nemoro (B) soil quality indices calculated using the (TDS) and (MDS) approaches

جنگلی تخریب شده به زراعت که شاخص کیفیت پایین از مشخصه‌های آن‌ها است پیشنهاد می‌شود که بهبود کیفیت خاک با تغییر به سمت عملیات پایدار (همچون جلوگیری از تخریب جنگل در اراضی شیب‌دار و جنگل کاری) انجام شود؛ علاوه بر این وجود ضریب همبستگی قوی، بین شاخص‌های کیفیت وزنی تجمعی خاک محاسبه شده با استفاده از دو مجموعه کل داده‌ها و حداقل داده‌ها، نشان داد که استفاده از شاخص کیفیت وزنی تجمعی خاک و مجموعه حداقل داده‌ها، می‌تواند منجر به صرفه‌جویی در وقت و هزینه لازم جهت بررسی ارزیابی کیفیت خاک شود.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد تخریب جنگل و فرسایش خاک ناشی از آن در منطقه مریوان، منجر به کاهش شاخص‌های وزنی تجمعی و نمو کیفیت خاک از طریق کاهش معنی‌دار کربن آلی، تنفس میکروبی، ازت کل، ظرفیت تبادل کاتیونی، تخلخل، نفوذپذیری و رطوبت قابل استفاده و افزایش معنی‌دار جرم مخصوص ظاهری، پهاش، SAR و شاخص فرسایش‌پذیری خاک شده است؛ همچنین موقعیت‌های مختلف شیب بر مقدار شاخص‌های کیفیت وزنی تجمعی و نمو خاک موثر بوده و دارای اختلاف معنی‌داری هستند. این نتایج نشان داد در جایگاه‌های شیب با فرسایش زیاد و مناطق

منابع

1. Anderson, E. and John, P. 1982. Soil respiration. Methods of Soil Analysis Part2. Amer. Soc. of Agron, Madison USA. pp: 831-870
2. Andrews, S. S., Karlen, D. L., Cambardella, C. A. 2004. The soil management assessment framework: a quantitative soil quality evaluation method. Soil Science Society of America Journal, 68: 1945-1962.
3. Andrews, S. S., Flora, C. B., Mitchell, J. P. Karlen, D. L. 2003. Grower's perceptions

- and acceptance of soil quality indices. *Geoderma*, 114: 187–213.
4. Andrews, S. S., Mitchell, J. P., Mancinelli, R., Karlen, K. L., Hartz, T. K., Horwath, W. R., Pettygrove, G. S., Scow, K. M. Munk, D. S. 2002. On-farm assessment of soil quality in California's central valley. *Agronomy Journal*, 94: 12–23.
 5. 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.
 6. Askari, M. S., O'Rourke, S. M. Holden, M. M. 2015. Evaluation of soil quality for agricultural production using visible–near-infrared spectroscopy. *Geoderma*, 243–244, 80-91.
 7. Assefa, D., Rewald, B., Sanden, H., Rosinger, C., Abiyu, A., Yitaferu, B. L. Godbold, D. 2017. Deforestation and land use strongly effect soil organic carbon and nitrogen stock in Northwest Ethiopia. *Catena*, 153: 89–99.
 8. Biswas, S., Hazra, G. C., Purakayastha, T. J., Saha, N., Mitran, T., Roy, S. S., Basak, N. Mandal B. 2017. Establishment of critical limits of indicators and indices of soil quality in rice-rice cropping systems under different soil orders. *Geoderma*, 292: 34-48.
 9. Blake, G. R. and Hartage, K. H. 1986. Bulk density, P 363-382. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part1: physical and Mineralogical Methods*, 2nd ed. *Agronomy Monograph*. 9: ASA, Madison, WI.
 10. Bower, C. A., Reitemeier, R. F. Fireman, M. 1952. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Soil Science*, 73: 251-262.
 11. Cambardella, C. A., Moorman, T. B., Andrews, S. S. Karlen, D. L. 2004. Watershed-scale assessment of soil quality in the loess hills of southwest Iowa. *Soil and Tillage Research*, 78:237–247.
 12. Chen, L. F., Hu, Z., B., Zhu, X., Du, J., Yang, J. J., Li, J. He, J. 2017. Impacts of afforestation on plant diversity, soil properties, and soil organic carbon storage in a semi-arid grassland of northwestern China. *Catena*, 147: 300–307.
 13. Das B, Chakraborty D, Singh VK, Ahmed M, Singh AK, Barman A. 2016. Evaluating Fertilization Effects on Soil Physical Properties Using a Soil Quality Index in an Intensive Rice-Wheat Cropping System. *Pedosphere*, 26 (6): 887–894.
 14. Deumlich, D., Ellerbrock, R. H. Frielinghaus, M. O. 2016. Estimating carbon stocks in young moraine soils affected by erosion. *Catena*, 162: 51–60.
 15. Eckert, S. and Engesser, M. 2013. Assessing vegetation cover and biomass in restored erosion areas in Iceland using SPOT satellite data. *Applied Geography*, 40: 179–190.
 16. Fazlollahi Mohammadi, M., Jalali, S. G., Kooch, Y. Said-Pullicino, D. 2017. The effect of landform on soil microbial activity and biomass in a Hyrcanian oriental beech stand. *Catena*, 149: 309-317.

17. Gee, G. W. and Bauder, J.W. 1986. Particle size analysis, P 383-411. In: A. Klute. (ed). *Methods of Soil Analysis. Part 1: Physical and mineralogical methods*, second edition. American Society of Agronomy, Inc., Soil Science Society of America, Inc., Madison, WI.
18. Gorji, M., Kakeh, j., and AliMohammadi, A. 2018. Quantitative soil quality assessment in different land uses at some parts of south eastern of Qazvin. *Iranian Soil and Water Research*. 48: 941-950. (In Persian)
19. Guo, L., Sun, Z. H., Ouyang, Z. H., Han, D. Li, F. 2017. A comparison of soil quality evaluation methods for Fluvisol along the lower Yellow River. *Catena*, 152: 135-143.
20. Hall, G. F. 1983. In: L.P. Wilding, N.E. Smeck, and G.F. Hall (Eds.). *Pedogenesis and Soil Taxonomy. I. Concepts and Interactions*. Elsevier, Amsterdam. pp: 117-140.
21. Henok, K., Dondeyne, S., Poesen, J., Frankl, A. Nyssen, J. 2017. Transition from Forest-based to Cereal-based Agricultural Systems: A Review of the Drivers of Land use Change and Degradation in Southwest Ethiopia. *Land Degradation and Development*, 28: 431-449.
22. Hole, F. D., and Campbell, J. B. 1985. *Soil landscape analysis*. Rowman and Allenheld, Totowa, NJ.
23. Hunckler, R. V. and Schaetzl, R. J. 1997. Spodosol development as affected by geomorphic aspect, Baraga County, Michigan. *Soil Science Society of America Journal*, 61: 1105-1115.
24. Hussain, I., Olson, K. R., Wanter, M. W. Karlen, D. L. 1999. Adaptation of soil quality indices and application to three tillage systems in southern Illinois. *Soil and Tillage Research*, 50: 237-249.
25. Jayachandran, K., Gamare, J.S., Nair, P.R., Xavier, M. Aggarwal, S.K. 2012. A novel biamperometric methodology for thorium determination by EDTA complexometric titration. *Radiochimica Acta*, 100: 311-314.
26. Johnson RA, Wichern DW. 1992. *Applied Multivariate Statistical Analysis*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
27. Jones, B. J. 2001. *Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis*. Boca Raton, London, New York and Washington, D.C. CRC Press.
28. Karlen, D.L., Gardner, J.C., and Rosek, M.J. 1998. A soil quality framework for evaluating the impact of CRP. *Journal of Production Agriculture*, 11: 56-60.
29. Karlen, D. L. and Scott, D. E. 1994. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: Doran JW, Coleman DC, Bezdicek DF, Stewart BA. (Eds.), *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. ASA and SSSA, Madison, WI, USA. pp: 53-72.
30. Kassa, H., Dondeyne, S., Poesen, J., Frankl, A. Nyssen, J. 2017. Impact of deforestation on soil fertility, soil carbon and nitrogen stocks: the case of the Gacheb

- catchment in the White Nile Basin, Ethiopia. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 247: 273-282.
31. Kemper, W.D., and Rosenau, R. C. 1986. Aggregate stability and size distribution. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part I: Physical Analysis*. SSSA, Madison, WI. pp: 425–442.
 32. Khaledian, Y., Kiani, F., Ebrahimi, S., and Movahedi Naeini, A. 2011. Impact of forest degradation, changing land use and building villas on some indicators of soil quality in the watershed, Golestan province. *Journal of Soil and Water Conservation*, 18: 167-184. (In Persian)
 33. Khormali, F., Ajami, M., Ayoubi, S., Srinivasarao, Ch. Wani, S.P. 2009. Role of deforestation and hill slope position on soil quality attributes of loess-derived soils in Golestan province, Iran. *Journal of Agriculture Ecosystems and Environment*, 134: 178–189.
 34. Lal, R., 1994. *Methods and Guidelines for Assessing Sustainable Use of Soil and Water Resources in the Tropics*. The Ohio State University.
 35. Li, Zh., Liu, Ch., Dong, Y., Chang, X., Nie, X., Liu, L., Xiao, H., Lu, Y. Zenga, G. 2017. Response of soil organic carbon and nitrogen stocks to soil erosion and land use types in the Loess hilly–gully region of China. *Soil and Tillage Research*, 166:1-9.
 36. Lin, Y., Deng, H., Du, K., Li, j., Lin, H., Chen, C., Fisher, L. Wu, C. 2017. Soil quality assessment in different climate zones of China’s Wenchuan earthquake affected region. *Soil and Tillage Research*, 165: 315-324.
 37. Liu, J., Wu, L., Chen, D., Yu, Zh. Wei, Ch. 2018. Development of a soil quality index for *Camellia oleifera* forestland yield under three different parent materials in Southern China. *Soil and Tillage Research*, 176: 45-50.
 38. McLean, E.O. 1982. Soil pH and lime requirement, P 199–224 .9. In: Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 2 Chemical and Microbiological Properties*, 2nd ed. ASA-SSSA, Madison, WI.
 39. Moorman, T. B., Cambardella, C. A., James, D. E., Karlen, D. L. Kramer, L. A. 2004. Quantification of tillage and landscape effects on soil carbon in small Iowa watersheds. *Soil and Tillage Research*, 78: 225–236.
 40. Nakajima, T., Lal, R. Jiang, S. 2015. Soil quality index of a crosby silt loam in central Ohio. *Soil and Tillage Research*, 146: 323-328.
 41. Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. P 539-594 In: Page, A.L., R.H., D.R., Keeney (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 2-Chemical and Microbiological Properties*. ASA-SSSA, Madison, WI.
 42. Nosrati, K. 2017. Ascribing soil erosion of hillslope components to river sediment yield. *Journal of Environmental Management*, 194: 63-72.
 43. Olsen, S. R. and Sommers, L. 1982. phosphorus, P 403-430. In: AL. Page: *Methods of*

- soil analysis, Agron. No. 9, Part2: Chemical and microbiological properties, (ed.), Am. Soc. Agron., Madison, WI, USA.
44. Ozgoz, E., Gunal, H., Acir, N., Gokmen, F., Birol, M., Budak, M. 2013. Soil quality and spatial variability assessment of land use effects in a Typic Haplustoll. *Land Degradation and Development*, 24: 277–286.
 45. Raiesi, F, and Kabiri, V. 2016. Identification of soil quality indicators for assessing the effect of different tillage practices through a soil quality index in a semi-arid environment. *Ecological Indicators*, 71:198–207.
 46. Rahmanipour, F., Marzaioli, R., Hossein Ali, B., Fereidouni, Z. Sima, R. B. 2014. Assessment of soil quality indices in agricultural lands of Qazvin Province, Iran. *Ecological Indicators*, 40:19–26.
 47. Rhoades, J. D. 1982. Soluble salts. In: Page, A.L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part II*, 2nd ed., ASA, Monograph No. 9, Madison, WI. pp: 167–179.
 48. Richards, L. A. 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Washington: United States Salinity Laboratory, 160 p.
 49. Ruhe, R. V. 1960. Elements of the soil landscape. *Transactions of the Seventh International Congress of Soil Science*, Madison 4, pp: 165–170.
 50. Sanchez-Navarro, A., Gil-Vazquez, J. M., Delgado-Iniesta, M. J, Marin-Sanleandro, P., Blanco-Bernardeau, A. Ortiz-Silla, R. 2015. Establishing an index and identification of limiting parameters for characterizing soil quality in Mediterranean ecosystems. *Catena*, 131: 35-45.
 51. Sewerniak, P., Jankowski, M., and Dąbrowski, M. 2017. Effect of topography and deforestation on regular variation of soils on inland dunes in the Torun Basin (N Poland). *Catena*, 149: 318–330.
 52. Shirazi, M.A. Boersma, L. 1984. A unifying quantitative analysis of soil texture. *Soil Science Society of America Journal*, 48: 142-147. (In Persian)
 53. Soil Survey Staff, 2014. *Keys to Soil Taxonomy*, 12th edn. United States Department of Agriculture, Washington.
 54. Sohng J, Singhakumara BMP, Ashton MS. 2017. Effects on soil chemistry of tropical deforestation for agriculture and subsequent reforestation with special reference to changes in carbon and nitrogen. *Forest Ecology and Management*, 389: 331–340.
 55. Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A., Leoppert, R. H., Soltanpour, P. N., Tabatabai, M. A., Johnston, G. T. Summer, M. E. 1996. *Methods of Soil Analysis*. Soil Science Society of American Journal. Book Series No. 5. ASA and SSSA, Madison, Wisconsin, WI, USA.
 56. Tesfaye, M. A., Bravo, F., Ruiz-Peinado, R., Pando, V. Bravo-Oviedo, A. 2016. Impact of changes in land use, species and elevation on soil organic carbon and total nitrogen in Ethiopian central highlands. *Geoderma*, 261: 70-79.

57. Vasu, D., Singh, S. K., Ray, S. K., Duraisami, V. P., Tiwary, P., Chandran, P., Nimkar, A. M. Anantwar, S. G. 2016. Soil quality index (SQI) as a tool to evaluate crop productivity in semi-arid Deccan plateau, India. *Geoderma*, 282: 70-79.
58. Wang, Zh., Wang, R., Sun, Q., Du, L., Zhao, M. Hu, Y. 2017. Soil CO₂ emissions from different slope gradients and positions in thesemiarid Loess Plateau of China. *Ecological Indicators*, 105: 231-239.
59. Weeb, A. A. Dowling, A. J. 2005. Characterization of basaltic clay soils (Vertisols) from the Oxford land system in central Queensland. *Australian Journal of Soil Research*, 28: 841-856.
60. Wei, S., Zhang, X., Mclaughlin, N. B., Liang, A., Jia, S. Chen, X. 2014. Effect of soil temperature and soil moisture on CO₂ flux from eroded landscape positions on black soil in Northeast China. *Soil and Tillage Research*, 144: 119-125.
61. Wischmeier, W. H. Smith, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. In *Agriculture Handbook 537*, USA. Department of Agriculture, Washington, DC 58p.
62. Yu, P., Liu, Sh., Zhang, L., Li, Q. Zhou, D. 2018. Selecting the minimum data set and quantitative soil quality indexing of alkaline soils under different land uses in northeastern China. *Science Total Environment*, 616-617: 564-571.
63. Zhu, H., Wu, J., Guo, Sh., Huang, D., Zhu, Q., Ge, T. Lei, T. 2014. Land use and topographic position control soil organic C and N accumulation in eroded hilly watershed of the Loess Plateau. *Catena*, 120: 64-72.