

ارزیابی شاخص‌های کیفیت خاک در مناطق تغییر کاربری یافته جنگل‌های زاگرس شمالی (مطالعه موردی: اشنویه - استان آذربایجان غربی)

* میرحسن رسولی صدقیانی^۱، کمال قدرت^۲، ساناز اشرفی سعیدلو^۳، مراد جعفری^۴ و حبیب خداوردیلو^۱

^۱ دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه ارومیه، ^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه ارومیه،
^۳ دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه ارومیه، ^۴ دانشیار گروه اصلاح و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشگاه ارومیه

تاریخ دریافت: ۹۴/۷/۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۲/۱۷

چکیده

سابقه و هدف: رشد جمعیت جهان، نیاز غذایی انسان، دخالت انسان در اکوسیستم‌های طبیعی و تغییر ویژگی‌های ذاتی خاک از طریق تخریب آن، نیاز به بررسی اثرات تغییر کاربری اراضی بر کیفیت خاک را افزایش می‌دهد. این مطالعه به منظور بررسی اثرات تغییر کاربری اراضی بر برخی شاخص‌های کیفیت خاک در مناطق تغییر کاربری یافته جنگل‌های زاگرس شمالی انجام گردید.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش تعداد ۹۶ نمونه خاک از خاک‌های جنگلی زاگرس شمالی و مناطق تغییر کاربری یافته هم‌جوار تهیه شدند. برخی خصوصیات خاک شامل تنفس پایه (BR)، تنفس برانگیخته (SIR)، کربن بیومس میکروبی (MBC)، واکنش خاک، هدایت الکتریکی، نیتروژن کل، فسفر قابل استفاده، پتاسیم محلول و تبادل، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)، ماده آلی، نسبت جذب سدیم (SAR) و درصد سدیم تبادل (ESP) اندازه‌گیری گردیدند. شاخص کیفیت خاک (SQI) با استفاده از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) تعیین گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد در اثر تغییر کاربری جنگل به سایر کاربری‌ها، کربن بیومس میکروبی، تنفس پایه، تنفس برانگیخته، مقدار کلسیم و پتاسیم محلول، کلسیم، منیزیم و سدیم تبادل، ماده آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، نسبت جذب سدیم و پتاسیم به طور معنی‌داری کاهش یافتند. به طوری که در اثر تغییر کاربری، مقدار ماده آلی در مرتع، باغ و زراعت در مقایسه با جنگل به ترتیب ۱۶، ۴۷ و ۵۷/۵ درصد کاهش یافت. شاخص کربن بیومس میکروبی نیز، در اثر تغییر کاربری جنگل به مرتع، باغ و زراعت به ترتیب ۲۸/۳۴، ۴۸/۶۶ و ۵۸/۲۸ درصد کاهش نشان داد. میزان نیتروژن کل، پتاسیم و ظرفیت تبادل کاتیونی در کاربری جنگل نسبت به زراعت به ترتیب ۲/۵، ۱/۳۹ و ۱/۴ برابر بیش تر بود. هم‌چنین، در کاربری‌های مختلف اثر عمق بر تمام پارامترهای اندازه‌گیری شده معنی‌دار بود. به طوری که نتایج نشان‌دهنده وجود بیش‌ترین مقدار پتاسیم، نیتروژن، ظرفیت تبادل کاتیونی، تنفس پایه، کربن بیومس میکروبی و تنفس برانگیخته در خاک سطحی (۰-۱۵ سانتی‌متری) کاربری جنگل بود. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) نشان داد از میان ۱۶ ویژگی مورد بررسی کیفیت خاک (TDS)، ویژگی‌های ماده آلی، شاخص قابلیت دسترسی کربن (CAI)، نسبت کربن میکروبی به کربن آلی، فسفر قابل استفاده، اسیدیته خاک و نسبت جذب سدیم به عنوان حداقل ویژگی‌های

* مسئول مکاتبه: m.rsadaghiani@urmia.ac.ir

مؤثر بر کیفیت خاک (MDS)، بیش‌ترین تأثیر را بر کیفیت خاک‌های مورد مطالعه داشتند. هم‌چنین بر اساس مدل شاخص تجمعی کیفیت خاک (SQI)، کیفیت خاک برای جنگل (۰/۷۵۶) و مرتع (۰/۷۳) درجه II (محدودیت کم) و برای کاربری‌های زراعت (۰/۶۴۶) و باغ (۰/۶۲۶) درجه III (دارای محدودیت برای رشد گیاه) تعیین گردید. نتیجه‌گیری: چنین استنباط می‌گردد که هر گونه مدیریت و تغییر کاربری (جنگل به باغ و زراعت) که باعث افزایش دست‌خوردگی خاک می‌شود، کاهش کیفیت خاک و افزایش حساسیت اراضی به فرسایش خاک را در پی دارد. بنابراین لازم است به‌منظور حفظ کیفیت خاک عملیات مدیریتی مناسبی انجام گردد.

واژه‌های کلیدی: تغییر کاربری، شاخص کیفیت خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی، جنگل، کربن زیست‌توده میکروبی

مقدمه

شیمیایی نیز چشم‌گیر است (۱۳). بررسی برخی شاخص‌های شیمیایی کیفیت خاک در خاک‌های آهکی نشان داد که کشت درازمدت زمین‌های بکر باعث کاهش معنی‌دار مقدار کربن آلی خاک، ازت کل، پتاسیم قابل دسترس، پتاسیم تبادلی، مقدار جذب پتاسیم و مقدار اشباع پتاسیم می‌شود (۳۶). شاخص‌های بیولوژیکی کیفیت خاک بسیار پویا بوده و کمیت و کیفیت تغییرات آن‌ها نسبت به کاربری اراضی در خاک‌های مختلف متفاوت خواهد بود. هم‌چنین این خصوصیات بیولوژیکی، شاخص‌های بسیار حساس کیفیت خاک هستند که در کوتاه‌مدت پاسخ قطعی به تغییرات مدیریت اراضی ارائه می‌دهند (۲۳، ۳۴).

تغییر کاربری اراضی به‌عنوان یکی از دخالت‌های مهم بشر در اکوسیستم بوده و بر فرآیندهای مختلف آن به‌ویژه میزان معدنی‌شدن کربن و نیتروژن توسط میکروارگانیسم‌ها اثرگذار است (۳۴). تغییر کاربری اراضی، استفاده از سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی و انجام عملیات کشاورزی در اراضی بکر، باعث کاهش ورود بقایای گیاهی تازه به خاک می‌شود که احتمالاً این امر ناشی از تشدید تجزیه میکروبی ماده آلی از طریق افزایش فعالیت میکروبی با تأمین اکسیژن لازم برای اکسیداسیون می‌باشد. به‌طورکلی در بیش‌تر مناطق جهان یکی از عوامل اصلی تخریب و فرسایش خاک، مرتع‌زدایی و جنگل‌تراشی (تخریب پوشش گیاهی از

تغییر کاربری اراضی از جمله تبدیل جنگل به زراعت باعث افزایش انتشار CO_2 به اتمسفر و هم‌چنین افزایش گرمای جهانی شده است. افزایش روزافزون جمعیت جهان، بشر را در تأمین نیازهای اولیه با مشکل روبرو کرده است. نیاز غذایی با افزایش سطح زیر کشت از طریق تغییر کاربری اراضی و افزایش تولید در واحد سطح (مصرف نهاده‌های کشاورزی از جمله کودهای آلی و شیمیایی، سموم دفع آفات نباتی) در طی چند سال گذشته تا حدودی تأمین شده است ولی هم‌زمان اثرات زیان‌باری به محیط زیست وارد گردیده است (۲۷، ۴۴). یکی از آسیب‌های جدی وارد شده به محیط زیست، در اثر تغییر کاربری اراضی، کاهش کیفیت خاک می‌باشد (۲، ۹، ۴۵). کیفیت خاک دو جنبه دارد: ۱) کیفیت ذاتی^۱ که توانایی طبیعی خاک در انجام وظایف خود (تولید بیولوژیک، بهبود کیفیت آب و هوا و تأمین سلامت گیاه، انسان و حیوان) می‌باشد و به خاکسازي و عوامل مؤثر بر آن بستگی دارد و تحت‌تأثیر مدیریت خاک قرار نمی‌گیرد و ۲) کیفیت پویای خاک^۲ که بسته به نوع مدیریت خاک متغیر است (۱۰، ۱۲، ۲۰). اگرچه کیفیت خاک اغلب بر جنبه بیولوژیکی تأکید دارد، با وجود این اهمیت فاکتورهای فیزیکی و

1- Inherent soil quality

2- Dynamic soil quality

شاخص کیفیت نمودار^۴ (۱۹) برای محاسبه شاخص کیفیت خاک توسعه پیدا کرده است. در این مطالعه، اثرات تغییر کاربری اراضی، بر برخی از شاخص‌های کیفیت خاک بررسی گردیده و تعیین پارامترهایی که به‌عنوان مهم‌ترین یا حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک، بیش‌ترین تأثیر را بر کیفیت خاک‌های مورد مطالعه داشتند، مورد ارزیابی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه بخشی از جنگل‌های زاگرس شمالی در شهرستان اشنویه در جنوب‌غربی استان آذربایجان‌غربی در محدوده عرض جغرافیایی شمالی ۳۶ درجه و ۵۸ دقیقه و طول جغرافیایی شرقی ۴۵ درجه قرار داشت (شکل ۱). متوسط ارتفاع منطقه از سطح دریا ۱۷۱۰ متر، میانگین شیب ۱۹٪ و مساحت آن تقریباً ۲۰۰۰ هکتار بوده و به‌صورت انبوه با درختان جنگلی زالزالک طبیعی (*Crataegus oxyacantha*)، ۳۰ الی ۴۰ ساله پوشیده شده است. رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک به‌ترتیب مزیک و زریک می‌باشند. (با تابستان‌های گرم و زمستان‌های سرد و آب و هوای خشک و نیمه‌خشک). در سال‌های اخیر بخش زیادی از جنگل‌های منطقه، توسط فعالیت‌های انسان تغییر کاربری یافته و به‌مدت ۵۰ سال (۶۹-۱۳۱۹) تحت کشت دوره‌ای یونجه (*Medicago sativa*)، گندم (*Tritium aestivum*) و جو (*Hordeum vulgare*) قرار گرفته است.

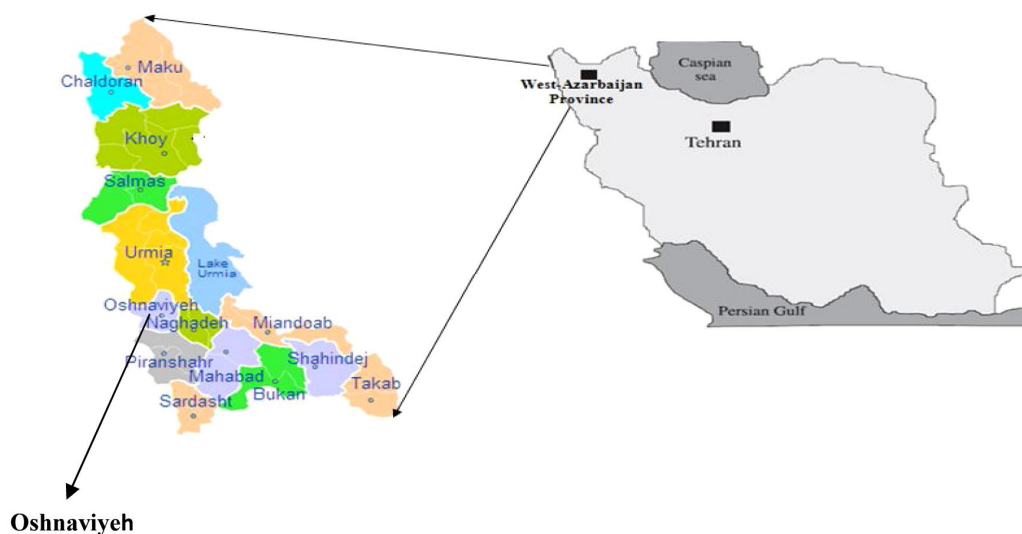
طریق چرای مفرط، فعالیت‌های کشاورزی و بهره‌برداری بیش از حد برای مصارف محلی و فعالیت‌های صنعتی) عنوان شده است (۴). بنابراین روش‌هایی برای ارزیابی کمی استفاده پایدار از اراضی مورد نیاز است. بدین‌منظور تعریف و تعیین شاخص‌های پایداری و کیفیت خاک ضروری می‌باشد (۱۳). از جمله این روش‌ها می‌توان به روش‌های تعیین شاخص کیفیت خاک (۱۲، ۱۳) و روش‌های کریجینگ چندمتغیره (۳۰) اشاره کرد. در بین این روش‌ها، تعیین شاخص‌های کیفیت خاک متداول‌ترین روش می‌باشد (۷) که قابلیت استفاده آسان، انعطاف‌پذیری و کمی بودن، از دلایل برتری آن است. شاخص‌های کیفیت خاک به نوع عملیات مدیریتی خاک نیز بستگی دارند زیرا در این شاخص‌ها از مشخصات محلی خاک که در اثر فعالیت‌های بشر در طول زمان تغییر می‌کنند، استفاده می‌شود (۴۴). پژوهش‌گران متعدد، مجموعه‌های مختلفی از ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک را برای تعیین شاخص کیفیت خاک پیشنهاد و شاخص کیفیت خاک را براساس مجموعه کل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک^۱ تعیین کرده‌اند (۱۲، ۲۰، ۳۵). هم‌چنین تعداد محدودتری از ویژگی‌های خاک، که نماینده بهتری از کیفیت خاک هستند، به‌عنوان مجموعه حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک^۲ پیشنهاد شده‌اند. انتخاب این ویژگی‌ها بر حسب بیش‌ترین همبستگی با کل کیفیت خاک (شاخص کلی) و سهولت اندازه‌گیری آن‌ها، صورت گرفته است (۷، ۱۶). این موضوع تعداد ویژگی‌های مورد نظر را کاهش داده و موجب سهولت و کاهش هزینه تعیین شاخص کیفیت خاک می‌شود. مدل‌های کمی زیادی مانند شاخص کیفیت تلفیقی^۳ (۱۲) و

1- Total data set

2- Minimum data set

3- Integrated quality index

4- Nemer quality index



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه.
Figure 1. Location of study area.

آندرسون (۵)، تنفس برانگیخته به روش الف و نانپیری (۳) و کربن زیتوده میکروبی به روش تدخین- استخراج (۱۹) اندازه‌گیری شدند. پس از اندازه‌گیری ویژگی‌های شیمیایی و بیولوژیکی، شاخص کیفیت خاک^۱ تعیین گردید. برای انتخاب حداقل سری داده‌ها یا MDS (به‌عنوان نماینده‌ای از کل ویژگی‌های اندازه‌گیری‌شده) از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی^۲ استفاده گردید (۱۲). روش PCA به‌عنوان ابزار کاهش‌دهنده برای انتخاب تعداد مناسبی شاخص از بین ویژگی‌ها یا شاخص‌های مورد مطالعه در منطقه استفاده می‌شود. در این روش می‌توان تعداد متغیرهای مستقل را کاهش داده و مشکلات چندخطی را حل نمود (۳۹). به‌منظور جلوگیری از تأثیر زیاد یک یا دو متغیر روی مؤلفه‌های اصلی، معمولاً در شروع تجزیه متغیرها را استاندارد می‌کنند تا دارای میانگین صفر و واریانس یک باشند. انتخاب MDS بر اساس اندریوز و همکاران (۲۰۰۲) به‌ترتیبی انجام گردید که فقط PCs با ارزش ویژه بزرگ‌تر از

تعداد ۹۶ نمونه خاک از چهار کاربری هم‌جوار، شامل جنگل، مرتع، باغ و زراعت از دو عمق (۱۵-۰ سانتی‌متری) و (۳۰-۱۵ سانتی‌متری) به‌صورت تصادفی برداشت گردیدند. نمونه‌ها پس از هوا خشک شدن، از الک ۲ میلی‌متری گذرانده شدند و برخی خصوصیات بیولوژیکی و شیمیایی خاک شامل اسیدیته و هدایت الکتریکی در گل اشباع (۳۱)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون با سود (NaOH) (۴۰)، ظرفیت تبادل کاتیونی با استات سدیم ۱ نرمال (۳۷)، درصد سدیم تبادل از طریق اندازه‌گیری سدیم تبادل با استفاده از فلیمفتومتر و مقادیر ظرفیت تبادل کاتیونی (۳۳)، نسبت جذب سدیم از طریق تعیین میزان کلسیم، منیزیم و سدیم محلول در عصاره گل اشباع (۳۷)، نیتروژن کل به روش کج‌لدال (۳۱)، فسفر با استفاده از بی‌کربنات سدیم نیم نرمال (۳۲)، کلسیم و منیزیم محلول به روش تیتراسیون با EDTA ۰/۰۱ نرمال، سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم تبادل با استات آمونیوم ۱ نرمال (۴۳)، ماده آلی خاک به روش والکلی- بلاک (۳۳)، تنفس میکروبی پایه به روش

1- Soil quality index
2- Principal component analysis

درصد) و کم‌ترین میزان در کاربری زراعی (۱/۳ درصد) مشاهده شد (جدول ۱). مطالعات مختلفی که توسط پژوهش‌گران انجام شده بیانگر کاهش معنی‌دار کربن آلی خاک به دنبال تغییر کاربری اراضی و کشت و زرع می‌باشد (۱۵، ۲۷، ۵۰). ایوبی و همکاران (۲۰۱۱) گزارش نمودند که میزان ماده آلی خاک در اثر جنگل‌زدایی و کشت و کار، ۷۱/۵ درصد کاهش یافت (۸). آن‌ها بیان کردند که بهم خوردگی خاک در اثر خاک‌ورزی از طریق تغییر دما، رطوبت و تهویه خاک، می‌تواند سرعت تجزیه مواد آلی را افزایش دهد از طرفی استفاده مستمر از ماشین‌آلات سنگین کشاورزی منجر به تشدید تلفات ماده آلی از طریق فرسایش می‌گردد. خرمالی و همکاران نیز (۲۰۰۹) نشان دادند که مقدار ماده آلی در خاک‌های جنگلی (۲/۴ درصد) در مقایسه با خاک‌های کشت و کار شده (۰/۷ درصد) تقریباً ۳ برابر بیش‌تر بود (۲۴). آن‌ها کاهش ورودی سالانه مواد آلی به خاک در اثر جنگل‌زدایی و همچنین اکسیداسیون سریع مواد آلی را مسئول کاهش قابل‌توجه کربن آلی (بیش از ۷۰ درصد) می‌دانند. کاهش مقدار کربن آلی در اثر زراعت، بیش‌تر در ارتباط با تخریب خاکدانه‌های درشت می‌باشد که توزیع اندازه حفرات، جرم مخصوص ظاهری، خاکدانه‌سازی و پایداری آن‌ها از ویژگی‌های مهم فیزیکی خاک هستند که می‌توانند به‌شدت در اثر عملیات کشاورزی و تغییر کاربری تحت‌تأثیر قرار گیرند (۲۸، ۴۶). بین ماده آلی و خاکدانه‌ها به‌خصوص خاکدانه‌های درشت رابطه متقابلی وجود دارد. خاکدانه‌ها با حفاظت فیزیکی از ماده آلی، مانع در معرض قرار گرفتن آن برای تجزیه و معدنی‌شدن کربن می‌شوند و از طرفی ماده آلی از عوامل مهم در ایجاد و پایداری خاکدانه‌های درشت است (۱۴). در اثر شکسته شدن خاکدانه‌ها به‌وسیله عملیات خاک‌ورزی و برداشت محصول در مزارع کشاورزی و نیز گاهی

۱، انتخاب شدند (۷). سپس در درون هر PC خاص تنها متغیرهایی با وزن بالا برای MDS باقی ماندند. بعد از تعیین MDS وزندهی هر یک از مولفه‌های اصلی انتخاب شده انجام شد. برای وزندهی، سهم PC حاوی آن ویژگی در تبیین واریانس بر سهم جمعی PC‌های با ارزش ویژه بزرگ‌تر از ۱ تقسیم گردید. توابع نمره‌دهی به‌طور گسترده‌ای استفاده می‌شوند (۲۱). نمره‌دهی به‌صورت فازی و بین ۰ تا ۱ اعمال گردید به‌گونه‌ای که برای ویژگی‌هایی که در آن عملکرد بالا از نظر تولید وجود داشت نمره ۱ داده شد و برای عملکردهای پایین‌تر میزان نمره‌دهی کاهش یافت. سپس با ایجاد توابع رگرسیونی برای شاخص‌هایی که در MDS قرار داشتند نمره‌دهی صورت گرفت. برآورد شاخص کیفیت خاک در هر کاربری از رابطه زیر محاسبه گردید (۱۲).

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

که در آن، W_i وزن هر PC_s با ارزش ویژه بزرگ‌تر از یک و N_i نمره شاخص‌های برگزیده بود.

آزمایش در قالب طرح آشیانه‌ای یا نستند انجام شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها و مقایسه‌های میانگین با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد و با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام گرفت.

نتایج و بحث

مواد آلی خاک: مقایسه‌های میانگین نشان داد مقدار ماده آلی در کاربری‌های مختلف دارای اختلاف معنی‌داری بود ($P \leq 0/05$). با تغییر کاربری، مقدار ماده آلی در مرتع، باغ و زراعت در مقایسه با جنگل به‌ترتیب ۱۶، ۴۷ و ۵۷/۵ درصد کاهش یافت و بیش‌ترین مقدار ماده آلی در خاک‌های جنگلی (۳/۲)

بخشیدن به فرسایش خاک و نیز افزایش هدررفت مواد آلی در اثر رواناب، منجر به کاهش مواد آلی می‌شود (۱، ۵۰). چرای دام‌ها منجر به کاهش میزان لاشبرگ اضافه شده به خاک در کاربری مرتع شده و شخم‌زنی با افزایش سطح تماس مواد آلی و میکروارگانیسم‌ها منجر به تسریع تجزیه مواد آلی در کاربری‌های زراعی می‌گردد (۲). در کاربری جنگل به‌هم‌خوردگی خاک به دلیل عدم انجام عملیات شخم و تردد محدود ماشین‌آلات، کم‌تر بوده در نتیجه اکسیداسیون مواد آلی کاهش یافته و تجمع کربن آلی اتفاق می‌افتد. به‌علاوه ریزش شاخ و برگ درختان نیز می‌تواند منجر به افزایش مواد آلی در جنگل شود. چرا که این مواد به‌عنوان کود سبز عمل می‌نمایند (۳۵).

سوزاندن بقایای محصولات در طی مراحل آماده‌سازی زمین برای کشت، تجزیه ماده آلی افزایش می‌یابد و در نتیجه مقدار کربن آلی خاک کاهش پیدا می‌کند (۴۷). علاوه بر این مصرف نامتعادل کودهای شیمیایی به این صورت که کودهای شیمیایی به‌خصوص کودهای ازته بدون افزودن کودهای آلی به خاک‌ها اضافه شوند با برهم‌زدن تعادل خاک و نسبت C/N موجبات تجزیه بیش‌تر ماده آلی توسط میکروارگانیسم‌ها را فراهم می‌آورند (۲۵، ۲۹).

عملیات شخم، سرعت و میزان معدنی‌شدن مواد آلی را افزایش داده و به‌تبع آن مقدار مواد آلی در اراضی تحت کشت کاهش می‌یابد. کشت‌وکار از طریق به‌هم‌زدن خاک سطحی، افزایش اکسیداسیون مواد آلی، تسریع تجزیه بیولوژیک مواد آلی، شدت

جدول ۱- مقایسه میانگین اثرات تغییر کاربری در کاربری‌های جنگل، مرتع، باغ و زراعی بر ویژگی‌های مختلف خاک.

Table 1. Mean comparison of land use change effects on different soil properties in forest, pasture, garden and agriculture.

SOM (g kg ⁻¹)	K	Na	Mg	Ca	K	Na	Mg	Ca	کاربری (Land use)
	تبادلی (exchangeable) (cmolc kg ⁻¹)				محلول (dissolved) (meq L ⁻¹)				
32.00 ^a	1.43 ^a	1.95 ^a	6.55 ^a	25.46 ^a	0.34 ^a	3.83 ^a	14.58 ^b	34.45 ^a	جنگل (forest)
26.82 ^b	0.91 ^{ab}	1.46 ^b	5.41 ^{ab}	21.0 ^b	0.30 ^{ab}	3.05 ^a	21.38 ^a	20.48 ^{ab}	مرتع (pasture)
16.83 ^c	0.85 ^b	1.20 ^c	4.26 ^{bc}	20.00 ^b	0.17 ^{bc}	3.11 ^a	16.06 ^a	17.31 ^b	باغ (garden)
13.60 ^c	0.49 ^b	0.88 ^d	3.33 ^c	15.93 ^c	0.16 ^c	2.51 ^a	14.0 ^b	17.08 ^b	زراعی (agriculture)

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری (P≤۰/۰۵) ندارند.

ماده آلی خاک (SOM)، کلسیم (Ca)، منیزیم (Mg)، سدیم (Na)، پتاسیم (K).

Means with similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test.

Soil organic matter (SOM), Calcium (Ca), Magnesium (Mg), Sodium (Na), Potassium (K).

دادند افزودن کود دامی می‌تواند باعث افزایش ۱۰۰ تا ۱۳۰ کیلوگرم فسفر در هکتار به خاک شود (۵۴). با توجه به اطلاعات محلی کسب شده مصرف کود فسفره توسط کشاورزان نیز می‌تواند دلیلی بر بالا بودن مقدار فسفر در این اراضی باشد. از دلایل افزایش مقدار فسفر در جنگل و باغ، بازگشت بقایای گیاهی به خاک می‌باشد که باعث افزایش مقدار مواد آلی خاک شده و فسفر خاک حفظ می‌شود. رضاپور و صمدی (۲۰۱۱) نیز افزایش مقدار فسفر خاک‌های جنگلی در مقایسه با مرتع و زراعی را ناشی از تجزیه مواد آلی و چرخه بیولوژیک فسفر بیان نمود (۳۶). هم‌چنین گسترش سیستم ریشه، کیفیت و کمیت مواد اضافه شده به خاک، فعالیت‌های آنزیمی برون‌سلولی، کلات‌های آلی تولید شده در خاک بر پراکنش فسفر مؤثرند. برخی مطالعات مقدار فسفر بیش‌تری را برای اراضی مرتعی نسبت به جنگل و اراضی کشاورزی گزارش دادند (۲۳). آن‌ها کارایی بالای پوشش گیاهی مرتعی در آزاد نمودن و جذب فسفر را دلیل این امر دانستند. وو و همکاران (۲۰۰۳) بیان کردند که ممکن است در اثر افزایش کود فسفره در اراضی تحت کشت مقدار فسفر افزایش یابد (۴۸). زنگ و همکاران (۲۰۰۶) نیز در مطالعه خود استفاده از کودهای شیمیایی در اراضی تحت کشت را دلیل بیش‌تر بودن فسفر در این اراضی در مقایسه با اراضی مرتعی بیان کردند (۵۳).

واکنش خاک: نتایج مقایسه‌های میانگین بیانگر معنی‌دار بودن روند تغییرات واکنش خاک در چهار کاربری مورد مطالعه ($P \leq 0/05$) بود (جدول ۲). هم‌چنین در تمام کاربری‌ها در عمق ۱۵-۳۰ سانتی‌متری pH بالاتر از عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری بود. نتایج متفاوتی درباره تأثیر تغییر کاربری اراضی بر مقدار pH خاک ارائه شده است. به‌نظر می‌رسد که در قسمت‌های سطحی خاک‌های مورد مطالعه، بالا بودن مقدار مواد آلی و

نیترژن خاک: مقدار نیترژن کل در خاک‌های زراعی در مقایسه با سایر کاربری‌ها کم‌تر بود (جدول ۲). بالا بودن مقدار نیترژن کل در خاک‌های جنگل، مرتع و باغ دور از انتظار نبود، چرا که مقدار مواد آلی در این کاربری‌ها بالاتر از کاربری زراعی بود و همبستگی بالایی بین مقدار نیترژن کل و کربن آلی خاک‌ها گزارش شده است. کاهش مقدار نیترژن خاک پس از تغییر کاربری، به‌دلیل کاهش ورودی بقایای گیاهی، افزایش تهویه خاک در اثر شخم، افزایش میکروارگانیسم‌ها و به‌هم خوردن تعادل نیترژن خاک می‌باشد (۱۱، ۲۶، ۵۲). در خاک جنگلی به‌دلیل عدم کشت و زرع و نیز وجود لاشبرگ فراوان، بین تجزیه و تجمع، توازن وجود داشته اما در اراضی زراعی و باغی این توازن به‌چشم نمی‌خورد. حساسیت بیش‌تر اراضی کشاورزی در برابر فرسایش نیز، عامل دیگری برای کاهش نیترژن خاک بوده که به‌صورت محلول همراه با رواناب از دسترس خارج می‌شود (۱۷، ۴۱). به‌علاوه عملیات خاک‌ورزی سبب مخلوط شدن لایه‌های زیرین خاک (با میزان کربن آلی کم‌تر) با خاک‌رویی (حاوی مقدار کربن آلی بیش‌تر) می‌شود و در نتیجه منجر به کاهش کربن آلی سطحی در مقایسه با حالت اولیه می‌گردد و نهایتاً سبب افزایش معدنی شدن نیترژن و کاهش نیترژن خاک می‌گردد (۱۷، ۵۱).

فسفر خاک: از نظر مقدار فسفر خاک بین کاربری‌های مختلف و در اعماق مختلف اختلاف معنی‌دار وجود داشت ($P \leq 0/05$). به‌طوری‌که مقدار این عنصر به‌ترتیب در کاربری‌های زراعی < جنگل < باغ < مرتع بود. هم‌چنین در تمام کاربری‌ها مقدار فسفر در خاک سطحی (۱۵-۰ سانتی‌متری) نسبت به خاک عمقی بیش‌تر بود (جدول ۲). بالا بودن مقدار فسفر در کاربری زراعی می‌تواند به‌دلیل استفاده از کودهای دامی و شیمیایی باشد. زو و همکاران (۱۹۹۷) نشان

آلی می‌شود و در نهایت باعث کاهش pH خاک می‌گردد. هم‌چنین با توجه به این‌که شخم زیاد، زیرو رو کردن خاک و آبیاری مداوم همواره موجبات شستشوی خاک را فراهم می‌کنند، در شرایط زهکشی مناسب املاح از لایه‌های سطحی خاک به طرف اعماق حرکت کرده و منجر به افزایش pH در خاک‌های عمقی می‌شود (۵۱).

وجود کمپلکس‌های اسیدهای آلی باعث کاهش pH شده است. بالا بودن زیست‌توده میکروبی و در نتیجه افزایش فشار گاز CO₂ نیز در کاهش pH مؤثر بوده است. در ضمن استفاده از کودهای شیمیایی نیز می‌تواند مقدار pH را تحت‌تأثیر قرار دهد. به‌علاوه عملیات شخم از طریق افزایش سطح تماس مواد آلی با میکروارگانیسم‌ها منجر به افزایش معدنی‌شدن مواد

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات عمق در کاربری‌های جنگل، مرتع، باغ و زراعی بر ویژگی‌های مختلف خاک.

Table 2. Mean comparison of depth effects on different soil properties in forest, pasture, garden and agriculture.

K	P	N	ESP	SAR	CEC	CaCO ₃	EC	pH	عمق (depth) (cm)	کاربری (Land use)
	(mg kg ⁻¹)		(%)	(mmol L ^{-0.5})	(Cmolc kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(dS m ⁻¹)			
416.0 ^a	17.68 ^b	0.33 ^a	4.23 ^{bc}	4.1 ^b	31.90 ^a	4.87 ^{ab}	0.56 ^b	6.77 ^{ab}	0-15	جنگل (forest)
405.0 ^{ab}	16.07 ^b	0.18 ^{bc}	4.52 ^{bc}	4.23 ^b	29.83 ^{ab}	4.33 ^c	0.57 ^b	7.13 ^a	15-30	
372.6 ^{bc}	10.89 ^{cdc}	0.19 ^b	5.43 ^b	3.76 ^c	29.83 ^{ab}	4.5 ^{bc}	0.45 ^c	7.51 ^a	0-15	مرتع (pasture)
348.6 ^c	9.26 ^{dc}	0.15 ^{cd}	5.49 ^b	4.90 ^b	27.70 ^{ab}	4.54 ^{bc}	0.7 ^{ab}	7.49 ^a	15-30	
305.6 ^d	15.61 ^{bcd}	0.15 ^{cd}	4.5 ^{bc}	3.93 ^c	25.66 ^{bc}	4.92 ^{ab}	0.64 ^b	6.75 ^{ab}	0-15	باغ (garden)
283.3 ^e	6.99 ^c	0.12 ^{dc}	5.06 ^b	3.93 ^c	24.23 ^{bcd}	4.88 ^{ab}	0.47 ^c	6.83 ^{ab}	15-30	
312.3 ^d	31.79 ^a	0.11 ^c	6.05 ^a	5.33 ^a	21.33 ^{cd}	5.13 ^a	0.87 ^{ab}	6.90 ^{ab}	0-15	زراعی (agriculture)
298.6 ^{dc}	15.22 ^{bcd}	0.10 ^c	6.85 ^a	5.80 ^a	19.86 ^d	5.04 ^a	1.05 ^a	6.98 ^a	15-30	

میانگین‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری (P≤۰/۰۵) ندارند.

آهک (CaCO₃)، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)، نسبت جذب سدیم (SAR)، درصد سدیم تبادلی (ESP)، کلسیم (Ca)، نیتروژن (N)، فسفر (P)، پتاسیم (K).

Means with similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test. Lime (CaCO₃), Cation exchangeable capacity (CEC), Sodium adsorption ratio (SAR), Exchangeable sodium percentage (ESP), Calcium (Ca), Nitrogen (N), Phosphorous (P), Potassium (K).

(۱۹). تغییر کاربری جنگل‌های طبیعی به زمین‌های کشاورزی موجب کاهش چشم‌گیر در میزان کربن بیومس میکروبی می‌شود که کاهش کیفیت خاک را در پی دارد (۱۸). این کاهش می‌تواند ناشی از کاهش منابع قابل دسترس برای ریزجانداران و هم‌چنین کاهش جمعیت آن‌ها در درازمدت تحت‌تأثیر کاهش ورود بقایای آلی بر اثر برداشت محصول، آشفستگی خاک و نامساعد شدن شرایط زیستی برای ریزجانداران به‌وسیله

شاخص‌های بیولوژیکی خاک: تأثیر تغییر کاربری بر میزان کربن بیومس میکروبی، تنفس پایه و تنفس برانگیخته با سوبسترا معنی‌دار بود (P≤۰/۰۵) (جدول ۳). بیش‌ترین مقدار این شاخص‌های بیولوژیکی در کاربری جنگل مشاهده شد.

کربن بیومس میکروبی بخشی از کربن آلی خاک است که در بدن میکروب‌های زنده متمرکز شده و ۱-۳ درصد از کل کربن آلی خاک را شامل می‌شود

آلی (سوبسترا) در خاک‌های زراعی منطقه مورد مطالعه باشد.

شاخص قابلیت دسترسی به کربن میزان فراهمی کربن و قابلیت استفاده آن را برای جمعیت فعال میکروبی نشان می‌دهد. اثر تغییر کاربری بر شاخص قابلیت دسترسی به کربن از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نشان نداد ولی اثر عمق بر این شاخص معنی‌دار بود ($P \leq 0/05$). به طوری‌که با افزایش عمق مقدار این شاخص افزایش یافت. مقدار این شاخص در کاربری‌های جنگل، مرتع، باغ و زراعت برابر ۳۹، ۲۲، ۸۹ و ۳۱ درصد بود (جدول ۳).

نسبت کربن بیوماس به کربن آلی شاخص مناسبی از وضعیت توزیع کربن فعال خاک بین بخش زنده و غیرزنده بوده و کیفیت کربن خاک را بیان می‌کند (۶). در بین کاربری‌های مورد مطالعه، مقدار نسبت کربن میکروبی به کربن آلی در کاربری زراعی بیش‌تر بود (جدول ۳). در اعماق مورد بررسی نسبت کربن میکروبی به کربن آلی اختلاف معنی‌داری نشان نداد، اما عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری در تمام کاربری‌ها، مقدار $Cmic:Corg$ بیش‌تری نسبت به عمق زیرین دارا بود (جدول ۴). تغییرات این نسبت در مناطق مختلف نشان‌دهنده تفاوت در وضعیت این مناطق، در اثر اقلیم متفاوت می‌باشد و افزایش این نسبت بیان‌کننده بهبود و افزایش کربن آلی فعال (*Labile*) و در نتیجه بهبود کیفیت خاک می‌باشد (۱۸). بنابراین کیفیت کربن خاک در کاربری زراعی در مقایسه با سایر کاربری‌ها بهتر است. دلیل این امر می‌تواند کشت یونجه در کاربری زراعی باشد چه یونجه توانایی بالایی در هم‌زیستی با ریزوبیوم‌ها داشته و منجر به تولید مقدار زیادی کربن زیست‌توده میکروبی می‌شود. هم‌چنین به‌نظر می‌رسد در خاک سطحی کاربری زراعی وضعیت بیولوژیکی خاک رو به بهبود بوده و این مسأله احتمالاً ناشی از به‌هم‌خوردگی خاک و در نتیجه بهبود تهویه و رطوبت خاک برای فعالیت میکروبیوم‌ها باشد.

اعمال خاک‌ورزی و تردد ماشین‌آلات و تغییر شرایط غیرزنده و کیفیت سوبسترا در خاک به‌دلیل تغییر کاربری و پوشش اراضی باشد.

تنفس خاک اکسایش مواد آلی توسط ریزجانداران هوایی و به دنبال آن خروج دی‌اکسیدکربن از خاک بوده و مشخص‌ترین علامت معدنی‌شدن ماده آلی و بقایای گیاهی در خاک توسط فعالیت میکروبی می‌باشد (۲۲). هدررفت مواد آلی خاک بر اثر کشت‌وکار و مدیریت نامناسب خاک اغلب به‌عنوان عامل اصلی کاهش تنفس خاک در اراضی زراعی نسبت به خاک‌های بکر گزارش شده است (۵۳). دلیل بالا بودن تنفس در اراضی جنگلی را می‌توان به مقادیر بالای مواد آلی نسبت داد که سالیانه به سطح خاک افزوده می‌شوند. هم‌چنین تلفات مواد آلی در اثر عملیات شخم و مدیریت نامناسب در اراضی کشت شده دلیل کاهش تنفس در این اراضی می‌باشد (۲۳).

تنفس برانگیخته یا تنفس ناشی از سوبسترا میزان کربن معدنی متصاعدشده از تنفس میکروبی پس از اضافه کردن سوبسترای سهل‌التجزیه مانند گلوکز می‌باشد (۳۸). کاهش تنفس ناشی از سوبسترا بر اثر تغییر کاربری اراضی نشان از کاهش جمعیت و فعالیت ریزجانداران خاک بر اثر کشت و کار طولانی‌مدت و کاهش ورود بقایای آلی می‌باشد که همانند سایر شاخص‌های بیولوژیکی دیگر کاهش یافته است. تکلای و همکاران (۲۰۰۶) اثر دو کاربری اراضی شامل کشاورزی و جنگل کشت شده را در اتیوپی جنوبی بر تنفس میکروبی بعد از اضافه کردن کربن-گلوکز و فسفر یا نیتروژن معدنی به خاک بررسی نمودند (۴۲). نتایج این پژوهش نشان داد که اگرچه میزان کربن تجمعی آزاد شده از تنفس در خاک‌های جنگلی بیش‌تر از مزرعه بود، اما تنفس ناشی از سوبسترا در خاک‌های مزرعه بیش‌تر از مقادیر آن در خاک‌های جنگلی بود. این می‌تواند ناشی از فقر مواد

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین تأثیر عمق در کاربری‌های جنگل، مرتع، باغ و زراعت بر خصوصیات بیولوژیک خاک.

Table 3. Mean comparison of depth effects on soil biological properties in forest, pasture, garden and agriculture.

MBC (mg CO ₂ -C kg ⁻¹)	BR (mg CO ₂ -C kg ⁻¹ day ⁻¹)	SIR (mg CO ₂ -C mg ⁻¹ Cmic day ⁻¹)	qCO ₂ (mg CO ₂ -C mg ⁻¹ Cmic day ⁻¹)	CAI	Cmic:Corg (mg Cmic:mg Corg ⁻¹)	عمق (depth) (cm)	منابع تغییرات (Source of variation)
935.00 ^a	20.17 ^a	39.43 ^a	2.13 ^c	0.53 ^c	2.08 ^{bc}	0-15	جنگل (forest)
478.44 ^c	16.17 ^b	21.50 ^c	2.97 ^a	0.74 ^{ab}	2.07 ^{bc}	15-30	
675.00 ^b	17.63 ^b	30.06 ^b	2.75 ^b	0.59 ^c	2.32 ^{bc}	0-15	مرتع (pasture)
463.33 ^{cd}	12.03 ^c	17.03 ^d	2.10 ^c	0.72 ^{ab}	2.52 ^{bc}	15-30	
480.00 ^c	11.33 ^c	20.66 ^c	2.84 ^{ab}	0.58 ^c	1.78 ^c	0-15	باغ (garden)
416.67 ^{cd}	7.57 ^d	11.37 ^f	2.97 ^a	0.64 ^{bc}	1.45 ^c	15-30	
390.00 ^c	8.33 ^d	14.50 ^e	3.00 ^a	0.58 ^c	4.08 ^a	0-15	زراعت (agriculture)
320.00 ^f	7.07 ^d	9.93 ^f	3.00 ^a	0.76 ^a	2.93 ^{ab}	15-30	

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری (P≤۰/۰۵) ندارند.

نسبت کربن میکروبی به کربن آلی (C_{mic}:C_{org})، شاخص قابلیت دسترسی کربن (CAI)، ضریب متابولیسی (qCO₂)، تنفس برانگیخته با سوبسترا (SIR)، تنفس پایه (BR)، کربن بیومس میکروبی (MBC).

Means with similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test. Microbial and organic carbon ratio (C_{mic}:C_{org}), Carbon availability index (CAI), Metabolic quotient (qCO₂), Substrate induced respiration (SIR), Basal respiration (BR), Microbial biomass carbon (MBC).

است. همان‌طور که مشاهده می‌شود از بین ۱۶ مؤلفه، ۴ مؤلفه دارای ارزش ویژه بزرگ‌تر از یک می‌باشند و به‌عنوان مؤلفه‌های اصلی باقی می‌مانند.

ویژگی‌های مورد بررسی خاک به همراه ارزش ویژه به‌دست آمده از طریق تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA) و سهم هر مؤلفه در جدول ۴ ارائه شده

جدول ۴- مجموعه کل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک و ارزش ویژه به‌دست آمده از آنالیز تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA).

Table 4. Set of characteristics that affect soil quality and the values obtained from the principal component analysis.

سهم هر مؤلفه (The contribution of each component)	ارزش ویژه بدست آمده از PCA (The obtained value from PCA)	ویژگی مورد بررسی (studied feature)
0.472	7.55	PC1
0.154	2.46	PC2
0.101	1.61	PC3
0.074	1.18	PC4
0.061	0.97	PC5
0.047	0.76	PC6
0.030	0.47	PC7
0.018	0.28	PC8
0.017	0.27	PC9
0.010	0.16	PC10
0.006	0.10	PC11
0.005	0.07	PC12
0.003	0.04	PC13
0.001	0.01	PC14
0.000	0.003	PC15
0.000	0.00	PC16

مؤلفه‌های دارای ارزش ویژه بزرگ‌تر از ۱ به‌صورت پررنگ نشان داده شده و به‌عنوان مجموعه MDS در نظر گرفته شده‌اند.

Component with a net worth greater than 1 are shown bold and are intended as MDS.

اصلی معرفی شدند که بیش از ۸۱ درصد تغییرات را نشان می‌دهند، بنابراین این ۶ ویژگی به‌عنوان مجموعه حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک (MDS) در نظر گرفته شدند. همچنین مقادیر سهم و وزن اختصاص‌یافته به مجموعه حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک (MDS) در جدول ۵ نشان داده شده است.

ویژگی‌هایی از خاک در ۴ مؤلفه اصلی که دارای بیش‌ترین همبستگی بودند، به‌عنوان حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک (MDS) انتخاب شدند (جدول ۵). ویژگی‌های مواد آلی خاک، قابلیت دسترسی به کربن، نسبت کربن میکروبی به کربن آلی، فسفر قابل‌استفاده، اسیدیته و نسبت جذب سدیم در ۴ مؤلفه

جدول ۵- مؤلفه‌های اصلی به‌دست آمده از روش PCA.

Table 5. The main components obtained from PCA method.

مؤلفه (component)				
4	3	2	1	
-0.083	0.011	-0.221	0.331	MBC
-0.134	-0.022	-0.170	0.340	SIR
-0.041	-0.058	0.013	0.348	BR
0.319	-0.103	-0.047	-0.225	qco ₂
0.346	-0.074	-0.491	-0.081	CAI
-0.265	-0.615	-0.013	-0.094	C _{mic} :C _{org}
0.082	-0.135	-0.445	-0.156	TNV
-0.543	0.036	0.442	0.073	pH
0.288	0.122	-0.237	0.279	EC
0.085	-0.011	0.201	0.311	N _{tot}
0.103	-0.611	0.247	-0.085	P _{tot}
0.035	-0.084	0.147	-0.327	K
-0.012	0.181	-0.091	0.299	CEC
0.175	0.346	0.245	0.099	ESP
0.495	0.135	0.201	0.223	SAR
-0.041	-0.057	-0.013	0.348	SOM

جدول ۶- وزن ویژگی‌های کیفیت خاک در مجموعه حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک (MDS) با استفاده از تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA).

Table 6. Soil quality characteristics weight in minimum data set (MDS) by using principal component analysis (PCA).

مجموعه حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک (MDS) (minimum data set)		ویژگی (property)
وزن هر ویژگی (weight of each property)	سهم هر ویژگی (The contribution of each property)	
0.48	0.472	OM
0.157	0.154	CAI
0.103	0.101	C _{mic} :C _{org}
0.075	0.074	Ph
0.103	0.101	P _{ava}
0.075	0.074	SAR

جنگل بیشتر از سایر کاربری‌ها است. این مطلب بیشتر بودن شاخص کیفیت خاک را در کاربری جنگلی توجیه می‌کند. خاک‌های جنگل در عمق سطحی در محدوده خاک‌های با کیفیت بسیار خوب قرار می‌گیرد و بقیه کاربری‌ها در محدوده خاک‌های با کیفیت متوسط قرار می‌گیرند. در عمق زیرین نیز کیفیت خاک جنگل در محدوده خاک‌های با کیفیت بسیار خوب قرار داشت و سایر کاربری‌ها در محدوده خاک‌های با کیفیت متوسط هستند. رضاپور و صمدی (۲۰۱۱) در پژوهشی با مقایسه کاربری‌های جنگل، مرتع و زراعت از نظر برخی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک به این نتیجه رسیدند که شاخص کیفیت خاک در اثر تغییر کاربری جنگل به زراعت ۱۷ درصد کاهش یافت. آن‌ها شاخص‌های مواد آلی، pH و EC را به‌عنوان فاکتورهای اصلی مؤثر در کیفیت خاک بیان کردند (۳۶).

شاخص ISQI با استفاده از مجموعه حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک برآورد شد (جدول ۷). بر اساس یافته‌های یانینگ و همکاران (۲۰۰۹) چهار درجه کیفیت خاک تعیین شده است که در این درجه‌بندی خاک‌های درجه یک $ISQI_{MDS} > 0.78$ مناسب برای رشد گیاه، درجه دو $0.68 < ISQI_{MDS} < 0.78$ مناسب برای رشد گیاه ولی با مقداری محدودیت، درجه سه $0.58 < ISQI_{MDS} < 0.68$ دارای محدودیت بیشتری نسبت به درجه دو و درجه چهار $ISQI_{MDS} < 0.58$ دارای محدودیت زیاد برای رشد گیاه است (۴۹). شاخص ISQI در زراعت و باغ نسبت به جنگل در سطح به‌ترتیب $17/02$ و $20/76$ درصد کاهش یافت در عمق نیز شاخص ISQI در جنگل نسبت به سایر کاربری‌ها به‌طور معنی‌داری بالاتر بود. نتایج مقایسه ویژگی ماده آلی بیش‌ترین وزن را در بین ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک به خود اختصاص داده است و مقدار آن در کاربری

جدول ۷- مقایسه میانگین شاخص‌های کیفیت خاک در نمونه‌های خاک کاربری جنگل، مرتع، باغ و زراعت.

Table 7. Mean comparison of soil quality indicators in forest, pasture, garden and agriculture soils.

شاخص‌های کیفیت خاک ($ISQI_{MDS}$) (soil quality indicators)		نوع کاربری (Land use)
15-30 cm	0-15 cm	
0.69 ^a	0.756 ^a	جنگل (forest)
0.61 ^b	0.73 ^{ab}	مرتع (pasture)
0.516 ^c	0.626 ^c	باغ (garden)
0.569 ^b	0.646 ^{bc}	زراعت (agriculture)

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد می‌باشند.

Means with similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's Multiple Range. Test.

نتیجه گیری

تخریب اراضی مرتفع مانند اراضی رشته کوه زاگرس یکی از مهم ترین مشکلات تهدیدکننده توسعه کشاورزی و امنیت غذایی در این منطقه و به تبع آن در کل کشور می باشد. نتایج این پژوهش نشان داد که هر گونه مدیریت و تغییر کاربری که باعث افزایش دست خوردگی خاک گردد کاهش کیفیت خاک و افزایش حساسیت اراضی به فرسایش خاک را در پی دارد. طبق یافته های این پژوهش ۶ ویژگی مواد آلی خاک، قابلیت دسترسی به کربن، نسبت کربن میکروبی به کربن آلی، فسفر قابل استفاده، اسیدیته و نسبت جذب سدیم قابل اعتمادترین ویژگی ها برای بررسی کیفیت خاک در این منطقه می باشند. این نکته توانایی بالای این ویژگی ها در تفکیک اثرات کاربری های مختلف بر روی کیفیت خاک را نشان می دهد. از آنجایی که مقدار تمامی این پارامترها به نحوی با مقدار مواد آلی ارتباط و به آن بستگی دارند و نیز به دلیل تأییراتی که مواد آلی بر خصوصیات فیزیکی، بیولوژیکی

و شیمیایی خاک مانند قدرت نگهداری آب و در دسترس قرار دادن آن، چرخه عناصر غذایی، رشد ریشه گیاهان و شدت جریان گازها دارد، نقش تعیین کننده ای در پایداری کیفیت خاک، تولید محصول و کیفیت محیط زیست ایفا می کند و شاخص مناسبی برای بررسی اثرات تغییر کاربری اراضی بر کیفیت خاک در منطقه محسوب می شود. در ارتباط با سیستم مرتعی نکته ای که باید به آن توجه داشت این است که تنوع حداکثری گونه های گیاهی، ضامن خود پایداری چرخه عناصر و آنتروپی پایین می باشد. جایگزینی پوشش گیاهی جنگلی با پوشش های مرتعی و زراعی، این آنتروپی پایین را نابود می سازد. مواد مغذی جذب شده از خاک توسط محصولات مرتعی و کشاورزی، وارد زنجیره های غذایی خارج از منطقه کشت آن محصولات می شوند و این امر به تنزل سایر شاخص های فیزیکی و شیمیایی و کیفیت خاک منجر می گردد.

منابع

1. Aguilar, R., Kelly, E.F., and Heil, R.D. 1988. Effect of cultivation on soil in northern Great Plains rangeland. *Spil Sci. Soc. Am. J.* 52: 1081-1085.
2. Ahmadi, A., Hajabbasi, M., and Jalalian, A. 2003. Effect of land use change on runoff production, soil loss and quality in Dorahan of Chahar Mahal Bakhtyari. *J. Sci. Tech. Agric. Natur. Resour.* 6: 103-116. (In Persian)
3. Alef, K., and Nannipieri, P. 1995. *Methods in applied soil microbiology and biochemistry.* Academic Press, London.
4. Allen Jonse, A. 1983. Effect of soil texture on critical bulk densities for root growth. *Soil Sci. Amer. J.* 47: 1208-1211.
5. Anderson, J.P.E. 1982. Soil respiration. P 831-871, In: A.L. Page and R.H. Mille (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 2, Chemical and Micro Biological Properties,* American Society of Agronomy, Madison, WI, USA.
6. Anderson, T.H. 2003. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. *Agric. Ecosyst. Environ.* 98: 285-293.
7. Andrews, S.S., Karlen, D.L., and Mitchell, J.P. 2002. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. *Agric. Ecosyst. Environ.* 90: 25-45.
8. Ayoubi, S., Khormali, F., Sahrawat, K.L., and Rodrigues de Lima, A.C. 2011. Assessing impacts of land use change on soil quality indicators in a loessial soil in Golestan province, Iran. *J. Agr. Sci. Tech.* 13: 727-742.

9. Azarabin, M., Jalalian, A., and Karimian-Eghbal, M. 2004. Evaluate effect of land use change on some soil properties in Kohrang region of Chahar-Mahal Bakhtiari province. Eighth Congress of Soil Science in Iran, Pp: 884-885. (In Persian)
10. Carter, M.R., and Gregorich, E.G. 1997. Concepts of soil quality and their significance. P 1-9, In: E.G. Gregorich and M.R. Carter (Eds.), Methods for assessing Soil Quality. Soil Soc. Am. Special Pub., No. 49, Madison, WI.
11. Cleveland, C.C., Townsend, A.R., Constance, B.C., and Schmidt, S.K. 2003. Soil microbial dynamics and biogeochemical cycling in lowland tropical rain forests and pastures of southwestern Costa Rica. *Ecol. Appl.* 13: 314-326.
12. Doran, J.W., and Parkin, B.T. 1994. Defining and assessing soil quality. P 3-21, In: J.W. Doran, D.C. Coleman, D.F. Bezdicek, and B.A. Stewart (Eds.), Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Soil Science Society of America, Inc., Madison, WI, USA.
13. Doran, J.W., and Jones, A.J. 1996. Methods for Assessing Soil Quality. Soil Science Society of America Special Publication, vol. 49. Soil Science Society of America, Madison, WI.
14. Eynard, A., Schumacher, T.E., Lindstrom, M.J., and Malo, D.D. 2004. Aggregate sizes and stability in cultivated South Dakota prairie Ustolls and Usterts. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 1360-1365.
15. Gebrekidan, H., and Negass, W. 2006. Impact of land use and management practices on chemical properties of some soils of Bako area, western Ethiopia. *Ethiop. J. Natur. Resour.* 8: 2. 177-197.
16. Govaerts, B., Sayre, K.D., and Deckers, J. 2006. A minimum data set for soil quality assessment of wheat and maize cropping in the highlands of Mexico. *Soil till Res.* 87: 163-174.
17. Gregorich, E.G., Carter, M.R., Angers, D.A., Monreal, C.M., and Ellert, B.H. 1994. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Can. J. Soil Sci.* 74: 367-386.
18. Islam, K.R., and Weil, R.R. 1998. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. *Biol. Fertil. Soils.* 27: 408-416.
19. Jenkinson, D.S., and Ladd, J.N. 1981. Microbial biomass in soil measurement and turnover. P 415-471, In: E.A. Paul and J.N. Ladd (Eds.), Soil Biochemistry, Marcel Dekker, Inc., NY.
20. Karlen, D.L., Gardner, J.C., and Rosek, M.J. 1998. A soil quality framework for evaluating the impact of CRP. *J. Prod. Agric.* 11: 56-60.
21. Karlen, D.L., Andrews, S.S., and Mitchell, J.P. 1999. A soil quality index for vegetable production. In 1999 Agron. abstr. ASA, 23: 437-451. Madison, WI, 219p.
22. Kennedy, A.C., and Papendick, R.I. 1995. Microbial characteristics of soil quality. *J. Soil Water Cons.* 50: 243-248.
23. Khormali, F., and Shamsi, S. 2009. Micromorphology and quality attributes of the loess derived soils affected by land use change: a case study in Ghapan watershed, Northern Iran. *J. Mt Sci. Eng.* 6: 197-204. (In Persian)
24. Khormali, F., Ajami, M., Ayoubi, S., Srinivasarao, Cl., and Wani, S.P. 2009. Role of deforestation and hillslope position on soil quality attributes of loess-derived soils in Golestan province, Iran. *Agric. Ecosyst. Environ.* 134: 178-189.
25. Kiani, F., Jalalian, A., Pashae, A., and Khademi, H. 2007. Effect of Deforestation, Grazing exclusion and Rangeland Degradation on Soil Quality Indices in Loess-Derived Landforms of Golestan Province. *JWSS - Isfahan University of Technology.* 11: 453-464. (In Persian)
26. Manna, M.C., Swaru, A., Wanjari, R.H., Mishra, B., and Shahi, D.K. 2007. Long-term fertilization, manure and liming effects on soil organic matter and crop yields. *Soil Till. Res.* 94: 397-409.
27. Merino, A., Pérez-Batallón, P., and Macías, F. 2004. Responses of soil organic matter and greenhouse gas fluxes to soil management and land use change in a humid temperate region of southern Europe. *Soil Biol. Biochem.* 36: 917-925.
28. Motaghian, H.R., and Mohammadi, J. 2011. Comparison of some soil physical quality indices in different land uses in Marghmalek Catchment, Shahrekord (Chaharmahal-va-Bakhtiari Province). *J. Water Soil.* 25: 115-124. (In Persian)

29. Nael, M., Khademi, H., and Hajabbasi, M. 2004. Response of soil quality indicators and their spatial variability to land degradation in central Iran. *Applied soil Ecology*. 27: 221-228.
30. Nazzareno, D., and Michele, C. 2004. Multivariate indicator kriging approach using a GIS to classify soil degradation for Mediterranean agricultural lands. *Ecol. Ind.* Pp: 177-187.
31. Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. P 539-580, In: A.L. Page (Ed.), *Methods of soil analysis. Part 2*. Madison: American Society of Agronomy.
32. Olsen, S.R., and Sommers, L.E. 1982. Phosphorus. P 403-430, In: A L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds.), *Methods of soil analysis, Part 2*. Madison: American Society of Agronomy.
33. Page, A.L., Miller, R.H., and Jeeney, D.R. 1992. *Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical properties*. SSSA Pub., Madison, 1750p.
34. Raiesi, F. 2007. The conversion of overgrazed pastures to almond orchards and alfalfa cropping systems may favor microbial indicators of soil quality in Central Iran. *Agric. Ecosyst. Environ.* 121: 309-318.
35. Reynolds, W.D., Drury, C.F., Tan, C.S., Fox, C.A., and Yang, X.M. 2009. Use of indicators and pore volume function characteristics to quantify soil physical quality. *Geoderma*. 152: 252-263.
36. Rezapour, S., and Samadi, A. 2011. Soil quality response to long-term wastewater irrigation in Inceptisols from a semi-arid environment. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 91: 269-280. (In Persian)
37. Rhoades, J.D. 1982. Cation exchange capacity. P 149-158, In: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds.), *Methods of soil analysis. Part2*. 2nd. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
38. Riyahi, M. 2009. Effects of Livestock Grazing on soil microbial and enzymatic activity in some Reference Pastures of chaharmahal Va Bakhtiyari Province. M.Sc. Thesis, Shahrekord University. Shahrekord, Iran. (In Persian)
39. Sena, M.M., Frighetto, R.T.S., Valarini, O.J., Tokeshi, H., and Poppi, R.J. 2002. Discrimination of management effects on soil parameters by using principal component analysis: a multivariate analysis case study. *Soil Till. Res.* 67: 171-181.
40. Tandon, H.L.S. 1998. *Methods of Analysis of Soils, Plants, Waters and Fertilizers*. Fertilizers Development and Consultancy Organization, New Dehli.
41. Tejada, M., and Gonzalez, J.L. 2008. Influence of two organic amendments on the soil physical properties, soil losses, sediments and runoff water quality. *Geoderma*. 145: 325-334.
42. Teklay, T., Nordgren, A., and Malmer, A. 2006. Soil respiration characteristics of tropical soils from agricultural and forestry land-uses at Wondo Genet (Ethiopia) in response to C, N and P amendments. *Soil Biol. Biochem.* 38: 125-133.
43. Thomas, G.W. 1982. Exchangeable cations. P 159-166, In: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney. (Eds.), *Methods of soil analysis, Part 2*. Madison: Soil Science Society of American.
44. Wang, G.X., Wang, Y.B., and Cheng, H.Y. 2007. Influences of alpine ecosystem responses to climatic change on soil properties on the Qinghai-Tibet Plateau, China. *Catena. Relational analysis. J. Environ. Manage.* 82: 250-259.
45. Wen-bin, W., Peng, Y., Hua-Jun, T., Luca, O., and Ryosuke, S.K. 2007. Regional variability of the effects of land use systems on soil properties. *Agr. Sci. China*. 6: 1309-1375.
46. Whalen, J.K., and Chang, C. 2002. Macro aggregate characteristics in cultivated soils after 25 annual manure applications. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 1637-1647.
47. Wu, R., and Tiessen, H. 2002. Effect of land use on soil degradation in Alpine grassland soil, China. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 1648-1655.
48. Wu, L., Feng, G., Letey, J., Ferguson, L., Mitchell, J., Mccullough-Sanden, B., and Markegard, G. 2003. Soil management effects on the nonlimiting water range. *Geoderma*. 114: 401-414.

49. Yanbing, Q., Darilek, J.L., Biao, H., Yongcun, Z., Sun, W., and Gu, Z. 2009. Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China. *Geoderma*. 149: 325-334.
50. Yifru, A., and Taye, B. 2011. Effects of land use on soil organic carbon and Nitrogen in soils of bale, southeastern Ethiopia. *Agro-Ecosystems*. 14: 229-235.
51. Yousefifard, M., Jalilian, A., and Khademi, H. 2007. Estimating soil and nutrient loss as the result of land use change of pasture by using rainfall simulator. *J. Sci. Tech. Agric. Natur. Resour.* 40: 93-106. (In Persian)
52. Zach, A., Tiessen, H., and Noellemeyer, E. 2006. Carbon turnover and ¹³C natural abundance under land use change in the semiarid La Pampa, Argentina. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 1541-1546.
53. Zhang, J.H.T., Lobb, A., Li, Y., and Ge, F.L. 2006. Stocks and dynamics of SOC in relation to soil redistribution by water and tillage erosion. *Global Change Biol.* Pp: 1834-1841.
54. Zhou, J.Z., Davey, M.E., and Figueras, J.B. 1997. Phylogenetic diversity of a bacterial community determined from Siberian tundra soil DNA. *Microbiology*. 143: 3913-3919.



Evaluation of soil quality indicators in a deforested region of Northern Zagros (Case study: Oshnavieh-West Azerbaijan)

*M.H. Rasouli-Sadaghiani¹, K. Ghodrat², S. Ashrafi-Saeidlou³,
M. Jafari⁴ and H. Khodaverdiloo¹

¹Associate Prof., Dept. of Soil Science, Urmia University, ²M.Sc. Student, Dept. of Soil Science, Urmia University, ³Ph.D. Student, Dept. of Soil Science, Urmia University, ⁴Associate Prof., Dept. of Plant Breeding and Biotechnology, Urmia University

Received: 09/23/2015; Accepted: 03/07/2016

Abstract

Background and Objectives: World population growth, human need of food, his interference in natural ecosystems and changing soil intrinsic properties by degradation, increases the need of evaluating land use changes impacts on soil quality. This study was carried out to evaluate the effects of land use change on some of soil quality indicators in a deforested area of Northern Zagros.

Materials and Methods: In this study, about 96 soil samples were taken from North Zagros forests as well as adjacent areas with land use change. Some soil properties including basal respiration (BR), substrate induced respiration (SIR), microbial biomass carbon (MBC), pH, electrical conductivity, total nitrogen, available phosphorus, dissolved and exchangeable potassium, cation exchange capacity (CEC), soil organic matter (SOM), sodium adsorption ratio (SAR) and exchangeable sodium percent (ESP) were measured. Soil quality index (SQI) was determined using principal component analysis (PCA).

Results: The results showed that changing forest to other land uses significantly reduced microbial biomass carbon, basal respiration, substrate induced respiration, the amount of dissolved calcium and potassium, exchangeable calcium, magnesium and sodium, organic matter, CEC, SAR and potassium. Soil organic matter amount in pasture, garden and agriculture decreased 16, 47 and 57.5 percent compared to forest, respectively. As a result of changing forest to pasture, gardens and agriculture MBC amount decreased 28.34, 48.66 and 58.28, respectively. The amount of total nitrogen, potassium and CEC in forest were 2.5, 1.39 and 1.4 times more than agricultural land, respectively. Also, in different land uses, depth effect on all measured parameters was significant. As the results showed, the highest amount of potassium, nitrogen, cation exchange capacity, basal respiration, microbial biomass carbon and substrate induced respiration was seen in forest surface soils. Principal component analysis showed that among 16 properties assessed, soil quality as total data set (TDS), organic matter, carbon availability, microbial carbon proportion to organic carbon, available phosphorus, pH and SAR, as the minimum data set or MDS had the greatest impact on the quality of studied soils. According to the cumulative soil quality index (SQI), soil quality for forest (0.756) and pasture (0.73) were II (low restriction) and for agriculture (0.646) and garden (0.626) were III (with limitation for plant growth).

Conclusion: Therefore, any management and land use change that increases soil disturbance, will reduce soil quality and increase land susceptibility to soil erosion. So, in order to maintain soil quality, appropriate management practices should be done.

Keywords: Land use change, Soil quality index, Cation exchangeable capacity, Forest, Microbial biomass carbon

* Corresponding Authors; Email: m.rsadaghiani@urmia.ac.ir

