نشریه علوم آب و خاک
سال بیست و هفتم / شماره سوم / پاییز ۱۴۰۲/مقاله علمی-پژوهشی: صفحات ۵۷ تا ۷۵

اثرهای تغییر کاربری بر برخی ویژگی‌های حاصل‌خیزی و زیستی خاک در منطقه جنگلی یاسوج

حمیدرضا اولیایی[۱*]، ابراهیم ادهمی[۱] و مهدی نجفی قیری[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱/۲۷)

چکیده

منابع خاکی از اجزای مهم زیست‌بوم بوده که کیفیت آن باید در نظر گرفته شود. از عوامل مهم اثرگذار بر کیفیت خاک‌ها، تغییر کاربری آنها است. پژوهش حاضر به‌منظور بررسی اثرهای تغییر کاربری اراضی و جنگل‌تراشی بر برخی ویژگی‌های حاصل‌خیزی و زیستی خاک در منطقه جنگلی یاسوج انجام شد. در این منطقه از چهار کاربری جنگل متراکم، جنگل تُنُک، اراضی جنگل‌تراشی‌شده (فرسایش‌یافته) و کشت دیم و در هر کاربری از دو کلاس شیب و در هر کاربری از ۱۰ نقطه سطحی به‌صورت تصادفی نمونه‌برداری انجام شد. پانزده ویژگی حاصل‌خیزی و زیستی خاک با روش‌های متداول اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که کاربری‌های جنگل متراکم و اراضی فرسایش یافته، به‌ترتیب بهترین و بدترین شرایط را از نظر شاخص‌های اندازه‌گیری شده داشتند. در میان ویژگی‌های اندازه‌گیری شده مقادیر آلکالاین فسفات، تنفس برانگیخته، نیتروژن، تنفس پایه، اسید فسفاتاز، منگنز و روی به‌ترتیب بیشترین کاهش و مقادیر فسفر و پتاسیم کمترین کاهش را در تغییر کاربری از جنگل متراکم به اراضی فرسایش‌یافته داشتند. یافته‌ها نشان داد که تبدیل زیست‌بوم‌هایی چون جنگل‌ها به اراضی زراعی و یا جنگل‌تراشی، با کاهش شدید شاخص‌های حاصل‌خیزی و زیستی خاک همراه بوده و بنابراین برنامه‌های حفاظتی از این عرصه‌ها باید بیش از پیش مورد توجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: تخریب اراضی، تغییر کاربری، ویژگی زیستی، ویژگی‌های شیمیایی

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، کهگیلویه و بویراحمد، ایران.
۲. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، فارس، ایران.
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: owliaie@gmail.com

مقدمه

استفاده پایدار از منابع طبیعی و برقراری تعادل بین مقدار تولید و بهبود کیفیت منابع طبیعی در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. در این میان خاک جزء بسیار مهم پایداری زیست‌بوم‌ها است که برای دستیابی به توسعه پایدار و استفاده مطلوب از منابع طبیعی، مطالعه آن الزامی است، اما پیچیدگی‌های موجود در خاک، اطلاعات ما را در چگونگی وظایف آن محدود کرده است (۲۰). تغییرات در کاربری اکوسیستم طبیعی به اکوسیستم مدیریت شده، اثرهای زیان‌باری بر ویژگی‌های مختلف خاک دارد. قطع کامل درختان جنگل‌ها و تبدیل مراتع به اراضی کشاورزی باعث تخریب در اکوسیستم‌های طبیعی و کاهش ظرفیت تولید فعلی یا آینده خاک می‌شود. این امر می‌تواند به‌دلیل فرسایش، کاهش حاصل‌خیزی، تغییر در رطوبت خاک و شور شدن خاک باشد. الگوهای کاربری اراضی علاوه بر تأثیر بر مقدار و کیفیت عناصر غذایی خاک، بر زیست‌توده (Biomass) و تنفس میکروبی خاک نیز تأثیر می‌گذارد (۱۰).

در سه تا چهار قرن گذشته حدود یک سوم اراضی جنگلی و مراتع طبیعی، به زمین کشاورزی تبدیل شده‌اند که این موضوع موجب اتلاف بیشتر کربن آلی و تولید گاز دی‌اکسیدکربن و انتشار آن به اتمسفر شده است. ۳۰ تا ۳۵ درصد کربن منتشر شده ناشی از تغییر کاربری اراضی و مابقی آن از طریق احتراق سوخت‌های فسیلی وارد هوا می‌شود. جنگل‌زدایی و تغییر کاربری اراضی از طریق افزایش نسبت انتشار کربن، اثرهای چشمگیری بر چرخه جهانی کربن دارند (۲۴). از طرف دیگر عامل پستی و بلندی بر تغییر کاربری در اراضی تپه‌ماهوری و ویژگی‌های خاک موثر است. پستی و بلندی با تأثیر بر ویژگی‌های خاک و شرایط زهکشی به‌عنوان یک عامل طبیعی و تغییر کاربری اراضی به‌عنوان عامل انسانی، از مهم‌ترین عوامل موثر بر تغییر و تحول خاک هستند. این عامل با اثرگذاری بر جهت و موقعیت شیب (کنترل حرکت رواناب و تأثیر بر فرسایش خاک، زهکشی و نگهداری آب)، بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مؤثر است (۳۲).

مطالعات به نسبت زیادی در سطح دنیا در ارتباط با اثر تغییر کاربری بر ویژگی‌های خاک صورت گرفته است. تغییر کاربری اکوسیستم‌های جنگلی در چین سبب کاهش مواد آلی، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل دسترس شده است، در حالی‌که تغییر کاربری از زراعت به جنگل طی حدود ۲۰ سال منجر به افزایش مواد آلی (۲۱٪)، نیتروژن کل (۱۸٪)، نیتروژن قابل دسترس (۶۵٪)، فسفر قابل دسترس (۱۷٪) و پتاسیم قابل دسترس (۱۷٪) شد. تغییر کاربری اراضی و عملیات کشاورزی در اراضی بکر، باعث کاهش ورود بقایای گیاهی تازه به خاک می‌شود، این بقایا شامل مقادیر قابل توجهی از ترکیباتی هستند که به راحتی تجزیه می‌شوند (۹).

صفری و همکاران (۴۱) نیز در مطالعه تغییرات حاصل‌خیزی خاک در منطقه میان‌کوه شهرکرد در پی تخریب جنگل‌های بلوط اعلام نمودند که تبدیل اراضی جنگلی به دیم‌زار، موجب کاهش مقادیر میانگین مواد آلی خاک از ۲/۳ به ۰/۱ درصد و کاهش میانگین نیتروژن کل خاک از ۰/۱۱ به ۰/۰۵ درصد شد؛ در حالی‌که مقادیر فسفر با کاهش جزیی همراه بود و مقادیر پتاسیم تبادلی خاک در اثر تغییر کاربری اراضی از ۶۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم در اراضی جنگلی به ۶۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم در دیم‌زار افزایش یافت. عملیات شخم در کشاورزی سنتی، فعالیت‌های میکروبی را با تأمین اکسیژن لازم برای اکسیداسیون و تجزیه میکروبی ماده آلی تشدید می‌کند و علاوه بر این در این مدیریت‌ها بخش مهمی از ماده خشک گیاهی به‌صورت محصول برداشت شده از زمین خارج شده که باعث کاهش کیفیت خاک می‌شود (۴۷). از جمله شاخص‌های زیستی کیفیت خاک می‌توان به جمعیت جانداران ریز، متوسط و بزرگ، تنفس خاک، فعالیت‌های آنزیمی، زیست‌توده میکروبی، جمعیت قارچی و شدت معدنی‌شدن عناصر غذایی اشاره نمود. به نظر می‌رسد زیست‌توده میکروبی، تنفس خاک و فعالیت‌های آنزیمی بیشتر از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی به تغییرات کاربری اراضی حساس هستند (۴۴).

آنزیم‌های خاک از منابع گیاهی و میکروبی منشا می‌گیرند. فعالیت اندازه‌گیری شده آنها نشان‌دهنده ترکیبی از آنزیم‌های داخل سلولی، برون سلولی محلول و آنزیم‌های ترکیب‌شده با رس‌ها و مواد آلی است که ثابت شده است این فعالیت‌ها در تشخیص کیفیت خاک تحت کاربردهای مختلف، انواع تخریب‌های انسانی و غیرانسانی و انواع متفاوتی از رویشگاه‌ها مفید هستند (۲۶). فسفاتازها از آنزیم‌های کلیدی در چرخه فسفر خاک‌ها هستند و فعالیت آنها شاخصی مناسب برای تعیین قابلیت معدنی شدن فسفر آلی و فعالیت‌های زیستی خاک است. فسفاتازهای خاک، آنزیمی برون سلولی بوده و توسط ریشه گیاهان و ریزموجودات ترشح می‌شوند. فسفاتازها به خاک، وضعیت پوشش گیاهی، تغییرات انجام شده ناشی از مدیریت‌های مختلف و رطوبت و دمای خاک واکنش نشان می‌دهند (۱۲). در پژوهش صورت گرفته در جنگل‌های بارانی منطقه آمازون که تغییر کاربری از جنگل به مرتع همراه با چرای دام به مدت ۲۵ سال صورت گرفته، کاهش معنی‌دار فعالیت‌های آنزیمی خاک همراه با اتلاف کربن آلی و نیتروژن خاک گزارش شده است (۴۶). متین‌زاده و همکاران (۲۸) با مطالعه در دو رویشگاه دست خورده و دست نخورده بلوط در چهار محال و بختیاری نشان دادند که فعالیت آنزیم‌های اسید فسفاتاز و آلکالین فسفاتاز در منطقه دست‌نخورده به‌طور معنی‌داری از منطقه دست‌خورده بیشتر است. ضمن آنکه در منطقه دست‌خورده تغییرات فعالیت آنزیم‌ها با افزایش عمق دارای نظم نبوده است.

همچنین تنفس برانگیخته (ناشی از سوبسترا) شاخص بسیار مهمی از جمعیت فعال میکروبی خاک است. تنفس برانگیخته که میزان کربن معدنی متصاعد شده از تنفس میکروبی پس از اضافه کردن سوبسترای با تجزیه آسان مانند گلوکز می‌باشد، می‌تواند نشان‌دهنده میزان جمعیت فعال میکروبی و گاهی میزان فراهمی زیستی کربن برای هتروتروف‌ها باشد. قارچ‌های خاک‌زی اهمیت زیادی در چرخه عناصر غذایی دارند. بسیاری از قارچ‌ها در تبدیل مواد آلی به شکل معدنی با تولید آنزیم‌های مختلف نقش مهمی دارند. از آنجایی که بخش عمده فسفر خاک در خاک‌های آلی به شکل آلی است، نقش قارچ‌ها در معدنی‌کردن این ترکیبات بسیار با اهمیت است (۳۳). تغییرات کاربری اراضی بر ساختار جمعیتی و تنوع جامعه قارچی خاک اثر می‌گذارد. نوع گونه گیاهی (در کاربری جنگلی، مرتعی، زراعی یا کشت مخلوط) نقش کلیدی را در تغییرات کمی و کیفی قارچ‌ها اعمال می‌کنند (۱۳).

بهشتی و همکاران (۵) اظهار نمودند که میزان تنفس برانگیخته بر اثر تغییر کاربری از مرتع به زراعی ۱۳ تا ۳۷ درصد کاهش یافته است و خاک‌های بکر مرتعی نسبت به زوج کشت شده خود، دارای تنفس میکروبی و تنفس برانگیخته بیشتری در لایه سطحی بودند. تغییر کاربری از جنگل به زراعت در منطقه سروک استان کهگیلویه و بویراحمد موجب کاهش ۷۴ درصدی ماده آلی، ۷۶ درصدی تنفس پایه، ۷۴ درصدی تنفس برانگیخته، ۱۱ درصدی جمعیت قارچ، ۵۵ درصدی آنزیم‌های اسید فسفاتاز و ۴۷ درصدی آلکالین فسفاتاز شد (۲۹).

اراضی جنگلی غرب یاسوج در استان کهگیلویه و بویراحمد، با پوشش غالب جنگل بلوط بر روی تپه‌ها و اراضی شیب‌دار واقع شده است. فعالیت‌های کشاورزی مردم منطقه و نیاز به امرار معاش به‌دلیل افزایش جمعیت و گسترش شهرنشینی، موجب شده است که اراضی شیب‌دار منطقه با کاربری جنگل در مقادیر مختلف، در طی سه تا چهار دهه گذشته، تخریب یا به دیم‌زارهای غلات تبدیل شده و موجب افزایش هدررفت خاک و کاهش کیفیت خاک شوند. کمی‌سازی روند تغییرات ویژگی‌های اساسی کنترل‌کننده کیفیت خاک در پی تغییر کاربری، می‌تواند اطلاعات سودمندی در راستای کنترل روند افزایشی تخریب خاک در اختیار برنامه‌ریزان کاربری اراضی قرار دهد. مدیریت پایدار منابع خاک نیاز به بررسی اثرهای چالش‌های زیست‌محیطی از جمله دخالت انسان بر آن دارد. بنابراین هدف این مطالعه بررسی تغییرات کیفی خاک (شامل برخی ویژگی‌های حاصل‌خیزی و زیستی) درنتیجه تغییر کاربری اراضی در موقعیت‌های مختلف شیب در اراضی این منطقه است.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی به وسعت تقریبی ۳۰۰ هکتار در غرب شهر

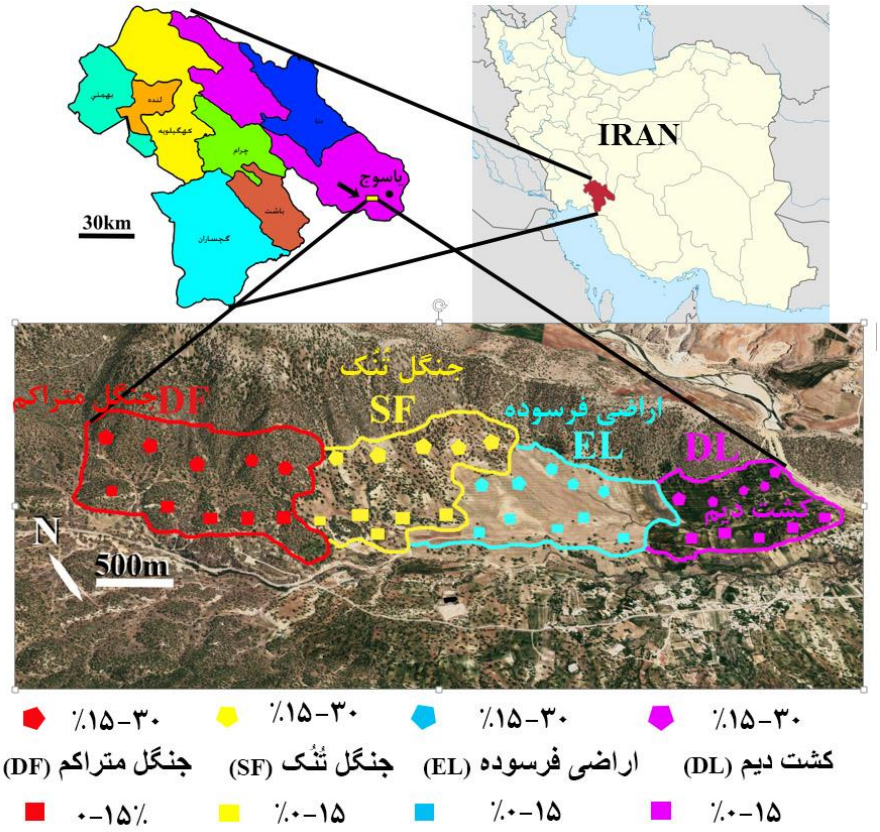
یاسوج قرار گرفته است. منطقه در مختصات جغرافیای ″۳۰ ′۵۱ °۲۸ تا ″۴۹ ′۳۰ °۵۱ طول شرقی و ″۴۹ ′۴۰ °۳۰ تا ″۴۰ ′۳۰ °۴۲ عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). میانگین ارتفاع منطقه ۱۸۳۰ متر از سطح دریا است. میانگین بارندگی و دمای منطقه مطالعاتی بر اساس آمار هواشناسی ایستگاه سینوپتیک یاسوج به‌ترتیب ۸۵۱ میلی‌متر و ۱۵/۱ درجه سانتی‌گراد است. رژیم رطوبتی و حرارتی خاک منطقه به‌ترتیب زریک و ترمیک است. منطقه مطالعاتی بر روی رسوبات آهکی- مارنی سازندهای آسماری و پابده-گورپی قرار دارد. رده‌بندی خاک‌های منطقه مطالعاتی شامل زیر گروه‌های Typic Haploxerolls در بخش‌های با پوشش جنگلی متراکم و Typic Xerorthents در سایر کاربری‌ها هستند. بیش از ۹۰ درصد درختان در عرصه جنگلی بلوط ایرانی (Querdus brantii Lindl.) است. سایر گونه‌ها که به‌صورت پراکنده دیده شدند شامل بنه (Pistacia atlantica desf.)، کیکم (Acer monspessulanum L.) و بادام کوهی (Amygdalus schoparia Spach.) بودند. منطقه دارای ۴ کاربری جنگل متراکم (Dense forest)، جنگل مخروبه تُنُک (Sparse forest)، کشت دیم (به‌طور عمده گندم و جو) (Dryland farming) و اراضی جنگل‌تراشی‌شده فرسایش یافته بدون پوشش (Eroded lands) است (شکل ۱).

در هر کاربری دو کلاس شیب، شامل شیب ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ درصد انتخاب و در هر موقعیت شیب و در هر کاربری، ۱۰ نقطه به‌صورت تصادفی از عمق ۱۵-۰ سانتی‌متر نمونه‌برداری شدند (در مجموع ۴۰ نمونه). نمونه‌ها در هوای آزاد خشک شد، پس از کوبیدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد و برای تجزیه‌های زیستی، شیمیایی و حاصل‌خیزی به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌های خاک مرتبط با آزمون‌های زیستی در کیسه‌های نایلونی و در یخدان قرار داده شد و سپس به آزمایشگاه منتقل و در دمای ۴ درجه سلسیوس در یخچال نگهداری شدند. اندازه‌گیری کربن آلی، پتاسیم قابل دسترس، فسفر قابل جذب و نیتروژن کل خاک به روش‌های معمول انجام شد. آهن، منگنز، روی و مس پس از عصاره‌گیری با دی تی پی ا، به وسیله دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شدند (۳۹).

تنفس میکروبی پایه نیز با استفاده از ظروف سربسته و به روش تیتراسیون برگشتی با سود باقی‌مانده اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری تنفس برانگیخته مقدار ۲ میلی‌لیتر از گلوکز ۱٪ به‌عنوان سوبسترا به نمونه‌های خاک در ظرف یک لیتری اضافه شده و داخل انکوباتور در دمای ۱±۳۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶ ساعت نگهداری شد. سپس طبق روشی که برای تنفس پایه خاک قید شد، عمل تیتراسیون انجام و مقدار تنفس برانگیخته محاسبه شد (۲). شمارش جمعیت باکتری خاک به کمک محیط کشت Nutrient Agar و تهیه رقت‌های سریالی بر پایه ده و شمارش به کمک دستگاه شمارنده پرگنه انجام شد. شمارش جمعیت قارچ خاک نیز به کمک محیط کشت Potato Dextrose Agar و تهیه رقت‌های پی در پی بر پایه ده و شمارش به کمک دستگاه شمارنده کولونی صورت گرفت. برای اندازه‌گیری فعالیت دو آنزیم آلکالین و اسید فسفاتاز از روش ارائه شده توسط طباطبایی (۴۸)، که بر اساس رنگ‌سنجی پارانیتروفنل آزاد شده است، استفاده شد. این روش برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم فسفاتاز در خاک ارائه شده است و شامل تخمین کالری‌متریک (رنگ‌سنجی) پارانیتروفنل آزاد شده به وسیله‌ی فسفاتاز طی فرایند انکوباسیون با محلول بافر (pH=6.5 برای اسید فسفاتاز و pH=11 برای آلکالین فسفاتاز)، سدیم پارانیتروفنیل فسفات و تولوئن است. فعالیت این آنزیم‌ها بر اساس میکروگرم پارانیتروفنل در ساعت در گرم خاک گزارش شدند.

تجزیه‌های آماری

برای تجزیه آماری داده‌ها، طرح فاکتوریل (فاکتور ۱: کاربری در چهار سطح، فاکتور ۲: موقعیت شیب در دو سطح)، در هر موقعیت ۵ تکرار (نمونه خاک سطحی با برداشت تصادفی) و در مجموع ۴۰ نمونه در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه 9.3 انجام شد. توزیع فراوانی با کمک پارامترهای آماری شامل میانگین، میانه، کمینه، بیشینه، ضریب تغییرات، چولگی و کشیدگی با استفاده از نرم‌افزار SAS



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در کشور و استان کهگیلویه و بویراحمد و توزیع نقاط نمونه‌برداری خاک در کاربری‌ها و شیب‌های انتخاب شده (شامل جنگل متراکم (Dense forest)، جنگل تنک (Sparse forest)، اراضی فرسوده (Eroded lands) و کشت دیم (Dryland farming)).

نسخه 9.3 انجام شد. مقایسه میانگین متغیرها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

نتایج و بحث

جدول ۱ توصیف آماری ویژگی‌های زیستی و حاصل‌خیزی خاک در کاربری‌های مطالعه شده و جدول ۲ مقایسه میانگین ویژگی‌های مورد مطالعه در شیب‌ها و کاربری‌های مختلف را نشان می‌دهند. جدول ۳ تجزیه واریانس ویژگی‌های مطالعه شده در کاربری‌ها و شیب‌های مختلف و جدول ۴ نیز مقایسه میانگین ویژگی‌های مورد مطالعه در کاربری‌های مختلف را نشان می‌دهد. جدول ۵ ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک منطقه مطالعه شده را نشان می‌دهند. ماده آلی خاک‌ها به‌عنوان یک شاخص کیفی مهم در دامنه ۱/۳۹ تا ۷/۴۵ درصد متغیر بود، که مقادیر بالاتر در کاربری جنگلی متراکم دیده شده است. مقدار ماده آلی در کاربری جنگل متراکم با سایر کاربری‌ها تفاوت معنی‌داری داشت، اما بین کاربری‌های اراضی فرسایش‌یافته و اراضی دیم‌زار تفاوت معنی‌داری دیده نشد (جدول ۴). مقدار ماده آلی از ۵/۱۴ درصد در جنگل متراکم به ۱/۷۵ درصد در اراضی فرسایش‌یافته کاهش یافته است (جدول ۴).

بررسی منابع نشان می‌دهد که تغییر کاربری جنگل به سایر کاربری‌ها از جمله زراعت یا مرتع، اثرهای متفاوتی بر مقدار ماده آلی خاک داشته است. در برخی از موارد افزایش ماده آلی و در برخی دیگر کاهش ماده آلی گزارش شده است (۳ و ۵۰).

جدول ۱. توصیف آماری ویژگی‌های شیمیایی، زیستی و حاصل‌خیزی خاک در کاربری‌های مطالعه شده

متغیر	واحد	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات	چولگی	کشیدگی
رس	%	۲۳/۰	۴۸/۰	۳۲/۶	۶/۷۹	۲۰/۸	۰/۵۴	−۰/۶۳
ماده آلی	%	۱/۳۹	۷/۴۵	۳/۰۴	۱/۱۰	۳۶/۵	۱/۲۹	۰/۹۹
N	%	۰/۰۷	۰/۳۲	۰/۱۵	۰/۰۷	۴۸/۳	۱/۱۲	۰/۲۶
P	$mgkg^{-1}$	۹/۰	۳۸/۶	۱۸/۱	۸/۶۱	۴۷/۵	۱/۱۵	−۰/۱۱
K	$mgkg^{-1}$	۴۴۴	۸۹۲	۶۴۸	۱۱۴/۶	۱۷/۷	−۰/۱۳	−۰/۶۵
Fe	$mgkg^{-1}$	۱۳/۵	۳۸/۶	۲۷/۱	۷/۱۶	۲۶/۴	−۰/۶۵	−۰/۷۷
Mn	$mgkg^{-1}$	۶/۲۰	۲۷/۵	۱۵/۵	۴/۹۶	۳۲/۱	۰/۳۳	−۰/۳۸
Zn	$mgkg^{-1}$	۰/۵	۲/۲	۱/۲	۰/۳۸	۳۳/۳	۰/۵۶	۰/۰۹
Cu	$mgkg^{-1}$	۰/۹۱	۴/۰۳	۲/۱۷	۰/۷۷	۳۵/۳	۰/۶۵	−۰/۳۸
BR	mgCO2/kg/day	۲۷/۲	۱۳۲/۳	۷۲/۱	۳۵/۹	۴۹/۷	۰/۲۳	−۱/۶۲
ER	mgCO2/kg/day	۵۰/۸	۲۵۹/۶	۱۳۲/۷	۶۶/۶	۵۰/۲	۰/۳۷	−۱/۳۹
BC	$CFU*10^6$	۲/۸۵	۵/۷۲	۴/۳۰	۰/۸۸	۲۰/۴۸	−۰/۱۰	−۱/۲۶
Acp	µg PNP/g/h	۱۸۰	۶۰۷	۳۶۷	۱۳۷	۳۷/۴	۰/۲۴	−۱/۴۶
Alkp	µg PNP/g/h	۱۳۶	۷۴۱	۴۲۱	۲۰۱	۴۷/۸	۰/۰۸	−۱/۶
FC	$CFU*10^3$	۲/۶۹	۵/۸۹	۴/۰۲	۰/۹۷	۲۴/۲	۰/۴۰	−۱/۲۷

BR: تنفس پایه؛ ER: تنفس برانگیخته؛ BC: جمعیت باکتری؛ Acp: اسید فسفاتاز؛ Alkp: آلکالین فسفاتاز؛ FC: جمعیت قارچ

تغییر در مقدار ماده آلی خاک بعد از جنگل‌زدایی به میزان زیادی به نوع خاک وابسته بوده و تغییر کاربری اراضی نیاز به مدیریت کربن و حاصل‌خیزی خاک در ابعادی وسیع‌تر دارد. در کاربری جنگل، اختلاط خاک ناشی از عملیات شخم و عبور ماشین‌آلات، کمتر بوده و درنتیجه اکسایش مواد آلی کاهش یافته و تجمع کربن آلی اتفاق می‌افتد. به علاوه ریزش شاخ و برگ درختان نیز می‌تواند منجر به افزایش مواد آلی در جنگل شود (۳۴). همچنین کاربری و شیب بر مقدار ماده آلی خاک معنی‌دار بود (جدول ۳). عملیات کشاورزی و به ویژه خاک‌ورزی دراز مدت سبب افزایش دسترسی ریزجانداران خاک به اکسیژن شده و در نتیجه فعالیت‌های میکروبی و از جمله تنفس خاک افزایش می یابد که در نهایت منجر به تجزیه ذخیره مواد آلی و کاهش کیفیت خاک می‌شود.

ماده آلی به‌صورت مستقیم یا غیر مستقیم بر بسیاری از ویژگی‌های شیمیایی، زیستی و حاصل‌خیزی خاک اثر دارد. مقادیر ماده آلی خاک با تمامی ویژگی‌های مطالعه شده به جز مقادیر فسفر و روی همبستگی معنی‌داری نشان داده است (جدول ۵). مقادیر بیشتر ماده آلی در پایین شیب نسبت به بالای شیب در بیشتر کاربری‌ها دیده شد. مواردی چون فرسایش بیشتر در شیب‌های بیشتر و سرعت کمتر اکسایش مواد آلی به‌دلیل رطوبت بیشتر خاک در پایین دست شیب، از عوامل این تغییرات در میزان ماده آلی هستند. مختاری کرچگانی (۳۲)

جدول ۲. مقایسه میانگین ویژگی‌های مورد مطالعه در شیب‌ها و کاربری‌های مختلف در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متر در منطقه مورد مطالعه

شیب	کاربری	OM	Clay	N	P	K	Fe	Mn	Zn	Cu
٪		----------	---------- ٪		----------			---------- $mgkg^{-1}$		
۱۵-۰	DF	۵/۷۹^{a}	۴۴^{a}	۰/۲۹^{a}	۱۵/۷^{c}	۸۰۳^{a}	۳۴/۶^{a}	۲۲/۲^{a}	۱/۷۸^{a}	۱/۴۸^{e}
	SF	۳/۱۳^{c}	۳۹^{b}	۰/۱۶^{c}	۱۴/۵^{c}	۶۷۸^{b}	۳۰/۱^{bc}	۱۴/۷^{bc}	۱/۱۷^{cd}	۱/۸۲^{d}
	EL	۱/۸۸^{d}	۲۸^{cd}	۰/۰۹^{de}	۱۱/۳^{de}	۴۹۶^{c}	۱۷/۴^{d}	۱۰/۱^{de}	۰/۸۱^{ef}	۲/۷^{c}
	DL	۲/۵۵^{c}	۳۰^{c}	۰/۱۳^{cd}	۳۳/۶^{a}	۶۷۱^{b}	۳۲/۲^{ab}	۱۹/۴^{a}	۱/۴^{bc}	۳/۲۵^{a}
۳۰-۱۵	DF	۴/۴۹^{b}	۳۶^{b}	۰/۲۹^{b}	۱۴/۷^{c}	۷۶۹^{a}	۳۰/۱^{bc}	۱۹/۵^{a}	۱/۲۹^{ab}	۱/۲۹^{e}
	SF	۲/۶۷^{c}	۳۲^{c}	۰/۱۳^{cd}	۱۳/۹^{cd}	۶۴۸^{b}	۲۸/۱^{c}	۱۲/۸^{cd}	۱/۶۳^{de}	۱/۶۳^{de}
	EL	۱/۶۳^{d}	۲۵^{d}	۰/۰۸^{e}	۱۰/۶^{e}	۴۷۵^{c}	۱۴/۹^{d}	۸/۸^{e}	۰/۷۰^{f}	۲/۳۱^{cd}
	DL	۱/۸۳^{d}	۲۵^{d}	۰/۰۹^{de}	۳۰/۵^{b}	۶۴۲^{b}	۲۸/۹^{bc}	۱۶/۱^{b}	۱/۱۳^{d}	۲/۸۶^{b}

شیب	کاربری	BR	ER	BC	Acp	Alkp	FC
٪		mgCO2/kg/day		$CFU*10^{6}$	µg PNP/g/h		$CFU*10^{3}$
۱۵-۰	DF	۱۲۲^{a}	۲۳۲^{a}	۴/۷۵^{b}	۵۶۲^{a}	۶۸۸^{a}	۵/۴۷^{a}
	SF	۹۶/۹^{b}	۱۷۱^{b}	۴/۰۸^{c}	۴۴۹^{b}	۵۵۸^{b}	۴/۴۶^{b}
	EL	۳۸/۰^{cd}	۷۱/۱^{cd}	۳/۱۴^{d}	۲۲۴^{de}	۱۹۳^{d}	۳/۲۹^{c}
	DL	۴۶/۱^{c}	۸۶/۳^{c}	۵/۳۶^{a}	۲۸۵^{c}	۳۰۴^{c}	۳/۲۲^{c}
۳۰-۱۵	DF	۱۱۵^{a}	۲۱۴^{a}	۴/۷۲^{b}	۵۲۹^{a}	۶۵۹^{a}	۵/۲^{a}
	SF	۸۸/۷^{b}	۱۵۴^{b}	۳/۸۷^{c}	۴۲۳^{b}	۵۲۶^{b}	۴/۳۶^{b}
	EL	۳۴/۴^{d}	۶۴/۳^{d}	۳/۱۲d	۲۰۵^{e}	۱۷۰^{d}	۳/۰۹^{c}
	DL	۳۶/۴^{d}	۶۸/۱^{cd}	۵/۳۷^{a}	۲۵۷^{cd}	۲۷۴^{c}	۳/۰۶^{c}

OM: موادآلی خاک؛ BR: تنفس پایه؛ ER: تنفس برانگیخته؛ BC: جمعیت باکتری ؛ Acp: اسید فسفاتاز؛ AlkP: آلکالین فسفاتاز؛ FC: جمعیت قارچ. حروف مشابه در یک ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد هستند. DF: کاربری جنگل متراکم، SF: کاربری جنگل تنک، EL: کاربری اراضی فرسایش یافته، DL: کاربری کشت دیم.

نتایج مشابهی را گزارش کردند. مقدار نیتروژن خاک در منطقه مطالعاتی در دامنه ۰/۰۷ تا ۰/۳۲ درصد بوده است. تفاوت معنی‌داری بین نیتروژن خاک کاربری‌های جنگل متراکم با جنگل تنک با دو کاربری دیگر وجود داشته است، در حالی که بین مقدار نیتروژن اراضی فرسوده جنگل‌تراشی‌شده و زراعت دیم تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴).

همچنین اثر شیب فقط در کاربری‌های جنگل متراکم و تنک بر میزان نیتروژن معنی‌دار بوده است (جدول ۲). تأثیر کاربری و شیب بر مقدار نیتروژن خاک در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقادیر نیتروژن با تمامی ویژگی‌های مطالعه شده به جز مقدار فسفر همبستگی معنی‌داری داشت (جدول ۵). با توجه به اینکه منشا اصلی نیتروژن خاک مواد آلی است، طبیعی

جدول ۳. تجزیه واریانس ویژگی‌های مطالعه شده در کاربری‌ها و شیب‌های مختلف

		میانگین مربعات								
	درجه آزادی	OM	Clay	N	P	K	Fe	Mn	Zn	Cu
کاربری	۳	۲۲/۶**	۴۱۰**	۰/۰۵۶**	۹۰۱**	۱۵۲۵۴۵**	۵۵۰**	۲۴۴**	۱/۴۴**	۵/۷۳**
شیب	۱	۶۷/۴**	۳۴۲**	۰/۰۱۱**	۱۷/۱ns	۱۸۹۴*	۱۰۷**	۵۲/۹**	۰/۳۳۵**	۰/۸۶۴*
شیب×کاربری	۳	۰/۵۱۵ns	۱۲/۴۹ns	۰/۰۰۱ns	۳/۳۸ ns	۵۷/۴ns	۲/۰۹ns	۲/۰۱ns	۰/۰۱۳ns	۰/۰۳۶ns
خطا	۳۲	۰/۲۳۹	۵/۷۷	۰/۰۰۱	۵/۰۷	۱۴۷۰	۷/۴۰	۵/۱۸	۰/۰۳۳	۰/۱۴۸

	درجه آزادی	BR	ER	BC	Acp	Alkp	FC
کاربری	۳	۱۶۰۲۵**	۵۴۸۵۷**	۹/۳۶**	۲۳۰۰۳۳**	۵۱۰۲۶۵**	۱۱/۱۸**
شیب	۱	۵۱۱**	۲۲۵۳**	۰/۰۳۷ns	۷۱۰۲*	۸۱۲۲*	۰/۳۳۷ns
شیب×کاربری	۳	۱۷/۱ns	۷۶/۷ns	۰/۰۲۵ns	۷۹/۱ns	۳۰/۳ns	۰/۰۱۳ns
خطا	۳۲	۵۱/۲	۱۵۲	۰/۶۴	۱۱۶۷	۱۵۱۸	۰/۹۳

OM: موادآلی خاک؛ BR: تنفس پایه؛ ER تنفس برانگیخته؛ BC جمعیت باکتری ؛ Acp اسید فسفاتاز؛ AlkP آلکالین فسفاتاز؛ FC جمعیت قارچ.

* و ** به‌ترتیب بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطوح $p<0.05$ و $p<0.01$ است. ns عدم اختلاف معنی‌دار

جدول ۴. مقایسه میانگین ویژگی‌های مورد مطالعه در کاربری‌های مختلف در عمق ۱۵-۰ سانتی متر در منطقه مورد مطالعه

کاربری	OM	Clay	N	P	K	Fe	Mn	Zn	Cu
	---------- ٪ ----------			---------- mgkg^{-1} ----------					
DF	۵/۱۴a	۴۰/۴a	۰/۲۵a	۱۵/۲b	۷۸۶a	۳۲/۳a	۲۰/۸a	۱/۶۷a	۱/۳۸c
SF	۲/۹b	۳۵/۲b	۰/۱۴b	۱۴/۲b	۶۶۳b	۲۹/۴b	۱۳/۷c	۱/۱۰b	۱/۷۲c
EL	۱/۷۵c	۲۶/۹c	۰/۰۸c	۱۰/۹c	۴۸۵c	۱۶/۱d	۹/۴d	۰/۷۶c	۲/۵۱b
DL	۲/۱۹c	۲۷/۸c	۰/۱۰c	۳۲/۱a	۶۵۷b	۳۰/۵c	۱۷/۷b	۱/۲۷b	۳/۰۶a

کاربری	BR	ER	BC	Acp	Alkp	FC
	mg CO2/kg/day		CFU*10^6	μg PNP/g/h		CFU*10^3
DF	۱۱۸a	۲۲۳a	۴/۷۳b	۵۴۵a	۶۷۳a	۵/۳۳a
SF	۹۲/۸b	۱۶۲b	۳/۹۷c	۴۳۶b	۵۴۲b	۴/۴۱b
EL	۳۶/۲c	۶۷/۴c	۳/۱۲d	۲۱۵d	۱۸۱d	۳/۱۸c
DL	۴۱/۲c	۷۳/۴c	۵/۳۶a	۲۷۱c	۲۸۹c	۳/۱۴c

OM: موادآلی خاک؛ BR: تنفس پایه؛ ER: تنفس برانگیخته؛ BC: جمعیت باکتری؛ Acp: اسید فسفاتاز؛ AlkP: آلکالین فسفاتاز؛ FC: جمعیت قارچ. حروف مشابه در یک ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد هستند. DF: کاربری جنگل متراکم، SF: کاربری جنگل تنک، EL: کاربری اراضی فرسایش یافته، DL: کاربری کشت دیم.

جدول ۵. ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک

	OM	Clay	N	P	K	Fe	Mn	Zn	Cu	BR	ER	BC	Acp	Alp	FC
OM	۱														
Clay	۰/۸۴۱**	۱													
N	۰/۸۹۹**	۰/۸۳۶**	۱												
P	−۰/۱۴	−۰/۲۲	−۰/۱۳	۱											
K	۰/۷۵۳**	۰/۷۴۳**	۰/۷۵۸**	۰/۲۳۰	۱										
Fe	۰/۵۹۲**	۰/۵۹ **	۰/۶۰۲**	۰/۴۶**	۰/۸۶**	۱									
Mn	۰/۶۹۱**	۰/۵۹ **	۰/۶۸۶**	۰/۳۹*	۰/۸۴**	۰/۷۹**	۱								
Zn	۰/۷۶ **	/۶۸۵ **	۰/۷۶**	۰/۲۴۳	۰/۸۶**	۰/۷۷**	۰/۹۸ **	۱							
Cu	−۰/۵۹**	۰/۵۸ **	۰/۵۹**	۰/۵۲**	−۰/۴۸**	−۰/۲۶۷	−۰/۱۷۳	−۰/۰۲۹	۱						
BR	۰/۸۴۶**	۰/۳۵۱	۰/۸۴**	−۰/۲۲	۰/۷۷**	۰/۵۹**	۰/۵۶ **	۰/۶۷**	−۰/۷ **	۱					
ER	۰/۸۷۱**	۰/۳۵۷	۰/۸۶**	−۰/۳۰۴	۰/۷۸**	۰/۶۰ **	۰/۶۰ **	۰/۷۰ **	−۰/۷**	۰/۹۹**	۱				
BC	۰/۳۲۴*	۰/۲۰۰	۰/۳۴*	۰/۳۱۰	۰/۶۴**	۰/۷۴**	۰/۷۱ **	۰/۶۲ **	۰/۴۳**	۰/۴۸۱**	۰/۴۶**	۱			
Acp	۰/۸۴۲**	۰/۴۴۹ *	۰/۸۴**	−۰/۲۳۲	۰/۸۳**	۰/۶۶ **	۰/۶۴ **	۰/۷۳**	−۰/۷**	۰/۸۵**	۰/۸ **	۰/۲۸۳	۱		
Alp	۰/۸۵۰**	۰/۴۲۹ *	۰/۸۵**	−۰/۱۹۲	۰/۸۴**	۰/۷۱ **	۰/۶۱ **	۰/۷۰**	−۰/۷**	۰/۸۶**	۰/۸۵**	۰/۲۹۲	۰/۸۵**	۱	
FC	۰/۸۴۰**	۰/۴۳۹ *	۰/۸۳**	۰/۳۰۷	۰/۷۷**	۰/۵۷**	۰/۵۴ **	۰/۶۵**	−۰/۸۰**	۰/۸۲**	۰/۸۲**	۰/۱۵۶	۰/۸ **	۰/۸۲**	۱

OM: موادآلی خاک؛ BR: تنفس پایه؛ ER: تنفس برانگیخته؛ BC: جمعیت باکتری ؛ Acp: اسید فسفاتاز؛ AlkP: آلکالین فسفاتاز؛ FC: جمعیت قارچ.

* و ** به‌ترتیب بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطوح $p<0.05$ و $p<0.01$ است.

است که هر عاملی که بر کاهش و از بین رفتن مواد آلی خاک اثر داشته باشد بر کاهش نیتروژن خاک نیز موثر است. درنتیجه زیاد بودن مقدار نیتروژن در خاک‌های جنگلی دور از انتظار نبود، چرا که مقدار مواد آلی در کاربری جنگلی بیشتر از کاربری زراعی بود و همبستگی بسیار زیادی بین مقدار نیتروژن و کربن آلی خاک‌ها گزارش شده است (۳۸).

مختاری کرچگانی (۳۲) نیز در مطالعه‌ای اثر شیب و تغییر کاربری اراضی بر ذخایر مواد آلی خاک در اراضی تپه ماهوری لردگان را بررسی کردند. آنها نتیجه گرفتند که درجه شیب در زمین‌نما به‌طور معنی‌داری بر مقدار کربن آلی و ازت کل همراه ذرات سیلت و رس معنی‌دار بود، به‌طوری که بیشترین کربن آلی و ازت کل در بخش‌های پایین شیب و کمترین مقادیر در شیب‌های تند دیده شد. کیانی و همکاران (۲۱) نیز در استان گلستان مشاهده کردند که نیتروژن بر اثر تبدیل جنگل به اراضی کشاورزی، به‌طور تقریبی به مقدار یک سوم کاهش یافته است. این پژوهشگران بیان کردند که به نظر می‌رسد تجزیهٔ ریشه و جذب توسط گیاهان، تأثیر بسزایی بر پراکنش نیتروژن کل در خاک دارد.

مقدار فسفر خاک در منطقه مطالعاتی در دامنه ۹ تا ۳۸/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بوده است. تفاوت معنی‌داری بین فسفر خاک کاربری‌های جنگل متراکم با جنگل تنک وجود نداشت. در حالی که مقدار فسفر این کاربری‌ها با مقدار فسفر اراضی فرسوده و زراعت دیم تفاوت معنی‌داری دارد. بیشترین میزان فسفر در کاربری زراعت دیم (۳۲/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و کمترین میزان فسفر در کاربری اراضی فرسوده (۱۰/۹میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) دیده شد (جدول ۴). بیشتر بودن میزان فسفر در کاربری زراعت دیم احتمالاً مربوط به کاربرد کودهای فسفره بود. همچنین اثر شیب فقط در کاربری زراعت دیم

بر میزان فسفر معنی‌دار بود (جدول ۲). تأثیر کاربری بر مقدار فسفر خاک در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود، در حالی‌که تأثیر شیب معنی‌دار نبود (جدول ۳). مقادیر فسفر با مقادیر آهن، مس و جمعیت باکتری همبستگی معنی‌داری داشت (جدول ۵).

با توجه به اینکه بخش مهمی از فسفر از منابع معدنی خاک تامین می‌شود و اینکه تغییر کاربری بیشتر بر بخش آلی خاک تأثیرگذار بود، انتظار می‌رود که تغییر کاربری چندان بر تغییر میزان فسفر قابل جذب خاک تأثیر نداشته باشد. در این ارتباط در مطالعات مشابه نتایج متفاوتی گزارش شده است. کیانی و همکاران (۲۱) یافته‌هایی مبنی بر نبود تفاوت معنی‌دار میان میزان فسفر قابل جذب در خاک اراضی جنگلی و کشاورزی گزارش کردند که با نتایج مشاهده‌های بکت و استروس نیجدر (۶) و نیز نتایج این پژوهش هم‌خوانی دارد. حاج عباسی و همکاران (۱۵) نیز در پژوهشی با بررسی چندین کاربری مرتعی شامل مرتع دست نخورده، مرتع تخریب‌شده و مرتع تحت کشت به عدم تفاوت معنی‌دار میزان فسفر مرتع دست نخورده نسبت به مرتع تحت کشت دست یافتند.

نیک‌نهاد و مارامایی (۳۵) در پژوهشی که در منطقه کچیک استان گلستان در راستای تغییر کاربری از جنگل به زراعی و قطع درختان انجام دادند، کاهش میزان فسفر قابل جذب خاک را ضمن تغییر کاربری اراضی از جنگل به کاربری زراعی گزارش کردند. لمنی و همکاران (۲۵) نیز طی پژوهشی که در ارتفاعات جنوب اتیوپی انجام دادند، گزارش کردند که مقدار فسفر قابل جذب خاک در لایه سطحی، بیش از ۲۰۰ درصد طی ده سال نخست پس از قطع درختان جنگلی و انجام فعالیت زراعی افزایش یافت.

مقدار پتاسیم تبادلی خاک در منطقه مطالعاتی در دامنه ۴۴۴ تا ۸۹۲ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بوده است. تفاوت معنی‌داری بین پتاسیم خاک کاربری‌های مختلف بجز جنگل تنک با زراعت دیم وجود داشته است. بیشترین میزان پتاسیم در کاربری جنگل متراکم (۷۸۶ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و کمترین میزان پتاسیم در کاربری اراضی فرسوده (۴۸۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) دیده شد (جدول ۴). همچنین اثر شیب در هیچ کاربری بر میزان پتاسیم معنی‌دار نبود که بیانگر متاثر نبودن معنی‌دار میزان پتاسیم خاک در امتداد شیب‌های مورد مطالعه است (جدول ۲). تأثیر کاربری بر مقدار پتاسیم خاک در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقادیر پتاسیم با تمامی ویژگی‌های مطالعه شده به جز مقدار فسفر همبستگی معنی‌داری داشت (جدول ۵).

اسیدهای آلی تولید شده ناشی از تجزیه ترکیبات آلی موجب تسریع در آزادسازی پتاسیم از کانی‌هایی نظیر میکا و فلدسپار می‌شود. ضمن اینکه خود مواد آلی خاک، حاوی مقادیری از عنصر پتاسیم هستند. افزایش بیش از ۳۰۰ درصدی در مقدار پتاسیم خاک در یک بازه ده ساله پس از قطع درختان جنگلی و تغییر کاربری در شمال آفریقا گزارش شد که احتمالا ناشی از کاربرد کودهای پتاسه در کاربری زراعی بوده است (۲۵). در پژوهش انجام گرفته در شمال ایران، مقدار پتاسیم با تغییر کاربری از جنگل به زراعی از ۲۵۵ به ۲۱۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک کاهش یافته است که ناشی از آبشویی این عنصر و انتقال آن به افق‌های پایینی خاک گزارش شده است (۲۱). با توجه به اینکه معمولاً بیشترین میزان پتاسیم در سطح خاک است، هدررفت آن در اثر فرسایش (به علت تغییر کاربری) به طور کامل تأیید می‌شود. فقدان پوشش گیاهی و وقوع فرسایش آبی چشمگیر در اراضی کشاورزی و اراضی بدون پوشش را می‌توان از دلایل عمده تلفات پتاسیم در این کاربری‌ها نسبت به کاربری جنگل برشمرد. در کاربری جنگلی که میزان مواد آلی بیشتری داشت، مقدار پتاسیم نیز بیشتر بود. وجود مواد آلی این خاک‌ها باعث جذب سطحی این عناصر شده و از فرسایش آنها جلوگیری می‌کند (۳۱).

تلن و یریما (۴۹) در پژوهشی در غرب آفریقا بیشترین مقدار پتاسیم قابل دسترس را به‌ترتیب در اراضی جنگلی حفاظت‌شده، اراضی زراعی و ساوانا و چراگاه‌ها (به‌ترتیب ۴، ۲/۹ و۱/۰۵ سانتی‌مول بر کیلوگرم) مشاهده کردند. آنها مقادیر بالای پتاسیم در سطح خاک جنگل را به جذب پتاسیم توسط

ریشه از عمق خاک نسبت دادند. همچنین استفاده از بقایای خانگی از جمله خاکستر چوب و همچنین سوزاندن کاه و کلش مزارع در کاربری زراعی را دلیل بیشتر بودن مقدار پتاسیم تبادلی نسبت به ساوانا و چراگاه اعلام نمودند.

مقادیر عناصر ریز مغذی نیز به شرح زیر تحت تأثیر کاربری و شیب قرار گرفتند. مقدار آهن و منگنز خاک در منطقه مطالعاتی به‌ترتیب در دامنه ۱۳/۵ تا ۳۸/۶ و ۶/۲ تا ۲۷/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بوده است. بیشترین مقدار آهن در کاربری جنگل متراکم و کمترین آن در کاربری اراضی فرسوده اندازه‌گیری شدند. تفاوت معنی‌داری بین آهن خاک کاربری‌های مختلف وجود داشت (جدول ۳). همچنین اثر شیب فقط در کاربری جنگل متراکم بر میزان آهن معنی‌دار بود (جدول ۲). تأثیر کاربری و شیب بر مقدار آهن خاک در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). در ارتباط با منگنز کاربری‌های جنگل متراکم و اراضی فرسوده به‌ترتیب با مقادیر ۲۰/۸ و ۹/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بیشترین و کمترین مقدار را داشته‌اند. تفاوت معنی‌داری بین منگنز خاک کاربری‌های مختلف وجود داشت (جدول ۴). همچنین اثر شیب فقط در کاربری زراعت دیم بر میزان منگنز معنی‌دار بود (جدول ۲). تأثیر کاربری و شیب بر مقدار منگنز خاک در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

مقادیرعناصر روی و مس خاک در منطقه مطالعاتی به‌ترتیب در دامنه ۰/۵ تا ۲/۲ و ۰/۹۱ تا ۴/۰۳ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بود. تفاوت معنی‌داری بین عنصر روی در کاربری‌های جنگل متراکم با زراعت دیم وجود نداشت و بین سایر کاربری‌ها تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جدول ۴). همچنین اثر شیب فقط در کاربری زراعت دیم بر میزان روی معنی‌دار بوده است (جدول ۲). تأثیر کاربری و شیب بر مقدار عنصر روی در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). تفاوت معنی‌داری بین مس خاک کاربری‌های جنگل متراکم با زراعت دیم وجود نداشت و بین سایر کاربری‌ها تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جدول ۴). همچنین اثر شیب فقط در کاربری زراعت دیم بر میزان مس معنی‌دار بود (جدول ۲). تأثیر کاربری و شیب بر مقدار مس خاک در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

به‌طور کلی مقدار کل ریز مغذی‌ها در خاک، به عواملی چون ساختار زمین شناسی، ژئوشیمی سنگ‌ها و فرایندهای پدوژنیکی بستگی دارد. مقدار کل عناصر به ندرت بیانگر میزان دسترسی گیاه به این عناصر است، چرا که میزان دسترسی به عواملی چون pH، میزان مواد آلی، سطوح جذبی و سایر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی ریزوسفر بستگی دارد (۱۸). ریز مغذی‌ها در شرایط اسیدی بیشترین حلالیت را دارند. با افزایش pH خاک، شکل‌های یونی کاتیون‌های ریزمغذی ابتدا به یون‌های هیدروکسیل و در نهایت به هیدروکسیدها یا اکسیدهای نامحلول عناصر تغییر می‌کنند. برای هر واحد افزایش pH، حلالیت ریز مغذی‌های کاتیونی ممکن است از ۱۰۰ برابر برای منگنز، مس و روی دو ظرفیتی تا ۱۰۰۰ برابر برای آهن سه ظرفیتی کاهش یابد (۴۰). بنابراین با توجه به اثرهای معنی‌دار تغییر کاربری بر میزان pH خاک، به نظر می‌رسد که بخشی از تغییر غلظت در دسترس این عناصر به pH خاک بستگی داشته باشد (جدول ۴).

در مطالعه صورت گرفته در ارتباط با اثر کاربری بر ویژگی‌های خاک، در جنوب شرق استان کهگیلویه و بویراحمد، بیشترین مقدار شکل‌های مختلف آهن در کاربری جنگل متراکم و کمترین مقدار در اراضی جنگی‌تراشی شده با فرسایش زیاد گزارش شد. همچنین اختلاف معنی‌داری بین مقادیر آهن در کاربری‌های مختلف دیده شد (۳۷). در بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر وضعیت عناصر غذایی کم مصرف قابل استفاده در اعماق مختلف یک خاک آهکی در سه کاربری مرتع (بکر)، زراعت دیم و باغی در استان فارس، تغییر کاربری مرتع به کشاورزی موجب افزایش معنی‌دار ماده آلی، آهن، روی، مس و منگنز قابل استفاده در هر دو عمق مورد مطالعه شد (۴۲). در مطالعه دیگری، رابطه تغییر کاربری و میزان چهار عنصر ریزمغذی مس، روی، آهن و منگنز در استان گیلان در سه کاربری جنگل، مرتع و زراعی بررسی شد. نتایج نشان داد که

عنصر روی در کاربری زراعی با دو کاربری دیگر دارای تفاوت معنی‌دار بود. عنصر مس در کاربری جنگل با دو کاربری دیگر دارای تفاوت معنی‌دار بود. همچنین عنصر آهن نیز بین کاربری جنگل و مرتع دارای تفاوت معنی‌دار بود و در عنصر منگنز نیز تفاوت معنی‌داری دیده نشد (۳۶). در مطالعه دیگری اثر تاج پوشش درخت جنگلی بلوط بر برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در ۳ منطقه جنگلی در جنوب شرقی استان کهگیلویه و بویراحمد بررسی شد. نتایج نشان داد که پوشش درخت بلوط موجب افزایش معنی‌دار کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل جذب، پتاسیم تبادلی، هدایت الکتریکی، آهن، منگنز و روی شده و مقدار pH، کربنات کلسیم معادل و مس را کاهش داد (۳۸). قابلیت استفاده عنصر مس، به‌دلیل برقراری پیوندهای لیگاندی قوی با ماده آلی و تشکیل هیومات مس، با افزایش ماده آلی کاهش پیدا می‌کند (۴۰). دراین مطالعه نیز رابطه معکوسی بین مقدار ماده آلی ومیزان مس به‌دست آمد (R^2=0.4).

تغییرات مکانی عناصر غذایی خاک در پی تغییر کاربری اراضی جنگلی در جنوب غرب زاگرس مطالعه شد. بررسی نقشه پراکنش مکانی مقادیر این عناصر حکایت از آن داشت که مقادیر کلی عناصر در خاک‌های تحت پوشش جنگل متراکم بلوط بیشتر بوده و با تغییر کاربری اراضی به جنگل تخریب شده و سپس کشت دیم، مقادیر این عناصر کم و کمتر شده است (۳). مقادیر ریزمغذی‌ها در چهار کاربری جنگل، آیش، مزرعه ذرت و برنج در شمال شرق چین مقایسه شدند. مقادیر ریزمغذی‌ها در خاک جنگل به‌طور معنی‌داری بیشتر از شالیزار و آن هم به‌طور قابل توجهی بیشتر از مزرعه ذرت آیش بود. ریزمغذی‌ها با کربن آلی خاک، همبستگی مثبت داشتند (۱۸). در پژوهشی دیگر مقادیر ریزمغذی‌ها در شمال شرق هندوستان در کاربری‌های مختلف در یک ردیف پستی و بلندی اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که میزان ریزمغذی‌ها توسط عوامل کلیدی pH، میزان رس و کربن آلی کنترل می‌شوند. همچنین مقادیر ریزمغذی‌ها در اکثر کاربری‌ها به‌صورت جنگل همیشه سبز> علفزار > شالیزار > کشت چرخشی بوده است. پژوهشگران نتیجه گرفتند که عامل ارتفاع و کاربری، اثر معنی‌داری بر توزیع مقادیر در دسترس ریزمغذی‌ها در اراضی تپه‌ماهوری این منطقه داشته است (۱۱).

مقادیر تنفس پایه و برانگیخته خاک در منطقه مطالعاتی به‌ترتیب در دامنه‌های ۲۷/۲ تا ۱۳۲/۳ و ۵۰/۸ mgCO2/kg/day تا ۲۵۹/۶ بوده است. بیشترین میزان تنفس پایه و برانگیخته در کاربری جنگل متراکم و کمترین مقادیر این دو شاخص در کاربری اراضی فرسایش‌یافته اندازه‌گیری شدند. تفاوت معنی‌داری بین دو نوع تنفس در خاک کاربری‌های اراضی فرسایش‌یافته با زراعت دیم وجود نداشت و بین سایر کاربری‌ها تفاوت معنی‌دار وجود داشت (جدول ۴). همچنین اثر شیب فقط در کاربری زراعت دیم بر میزان تنفس پایه معنی‌دار بود، در حالی‌که این اثر در هیچ‌کدام از کاربری‌ها بر میزان تنفس برانگیخته معنی‌دار نبود (جدول ۲). تأثیر کاربری و شیب بر مقدار تنفس پایه و برانگیخته خاک در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقادیر هر دو نوع تنفس با تمامی ویژگی‌های مطالعه شده به جز مقدار رس و فسفر همبستگی معنی‌داری داشت (جدول ۵).

در خاک‌های بکر، بین موجودات زنده و فعالیت آنها تعادل اکولوژیک برقرار بود، در این صورت تنفس خاک را تنفس پایه می‌نامند. با به هم خوردن این وضعیت، به طور مثال افزودن مواد آلی، سرعت رشد ریزموجودات و میزان معدنی‌شدن عناصر زیاد شده و تنفس خاک به تنفس برانگیخته (ناشی از سوبسترا) تغییر می‌کند. این تنفس شاخص بسیار مهمی از جمعیت فعال میکروبی خاک است (۴۴). فرایند تنفس خاک از شاخص‌های مهم کیفی خاک نسبت به تغییر کاربری اراضی به شمار می‌آید و تعیین‌کننده مقدار و سرعت خروج دی اکسید کربن از خاک است. تغییر کاربری اراضی و عملیات کشاورزی در اراضی بکر، موجب کاهش ورود مواد آلی به خاک و در نتیجه کاهش تنفس و فعالیت‌های میکروبی می‌شود (۲).

در مقایسه کاربری اراضی، بیشترین مقادیر مشخصه تنفس پایه، تنفس برانگیخته و زی‌توده میکروبی کربن در رویشگاه

جنگلی نوشهر در مقایسه با رویشگاه‌های مرتعی و زراعی دیده شد (۲۳). زرافشار و همکاران (۵۲) نشان دادند که، مقادیر مشخصه‌های میکروبی خاک در توده جنگلی بلوط ایرانی در استان فارس حدود ۲ تا ۳ برابر بیشتر از کاربری کشاورزی است. ماسن و همکاران (۲۷) با پایش دوساله در آلمان پس از تنک کردن جنگل، نشان دادند که در فعالیت میکروبی خاک تغییری ایجاد نشد، اما تغییر در ترکیب جمعیت میکروبی دیده شد. گوموریوا و همکاران (۱۴) نشان دادند که در نواحی جنگلی اسلواکی، تغییر در کاربری جنگل‌های طبیعی باعث تغییر در میزان زی‌توده میکروبی کربن و نیز وضعیت تغذیه‌ای عناصر در خاک می‌شود و تاکید شد که تغییر در ساختار جنگل باید با احتیاط بیشتری انجام شود.

کاهش مقادیر ماده آلی در اثر عملیات زراعی نامناسب به‌عنوان عاملی مهم در کاهش میزان تنفس خاک در این کاربری‌ها نسبت به اراضی بکر جنگلی گزارش شده است. اختلاف میان تنفس برانگیخته، پایه و بیشتر شدن تنفس خاک با افزودن مواد غذایی بیانگر محدود بودن جمعیت میکروبی فعال برای تجزیه گلوکز در این خاک‌ها بود، افزودن گلوکز منجر به افزایش جمعیت فعال و در پی آن تنفس شد (۳۰). پژوهش‌های کارا و بولات (۱۹) در کشور ترکیه نشان داد که مقدار تنفس میکروبی خاک در کاربری زراعی به‌طور معنی‌داری کمتر از اراضی بکر جنگلی بود. نام‌بردگان بیشتر بودن تنفس در اراضی جنگلی را مرتبط با مواد آلی ناشی از ریزش سالیانه لاشبرگ‌ها به سطح خاک مرتبط دانستند و همچنین اتلاف مواد آلی درنتیجهٔ عملیات کشت و کار را عامل کم شدن میزان تنفس خاک در این اراضی دانسته‌اند. نتایج مشابهی توسط سایر پژوهشگران گزارش شد (۱۲).

مقدار جمعیت باکتری خاک در منطقه مطالعاتی در دامنه $۲/۸۵ CFU*10^6$ در کاربری اراضی فرسایش یافته تا ۵/۷۲ در جنگل متراکم بود. تفاوت معنی‌داری بین جمعیت باکتری خاک در همه کاربری‌ها دیده شد (جدول ۴). همچنین اثر شیب در هیچ‌کدام از کاربری‌ها بر میزان جمعیت باکتری معنی‌دار نبود (جدول ۲). تأثیر کاربری نیز بر مقدار جمعیت باکتری خاک در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقادیر جمعیت باکتری با تمامی ویژگی‌های مطالعه شده به جز مقدار رس، فسفر و آنزیم‌های اسید فسفاتاز و آلکالین فسفاتاز همبستگی معنی‌دار داشت (جدول ۵).

بر اساس نظر آلیسون و مارتینی (۱)، تغییر کاربری و ایجاد اختلال در خاک موجب ایجاد یکی از تغییرات زیر بر جمعیت میکروبی خاک می‌شود، جمعیت میکروبی ممکن است مقاوم بوده و تغییر نکند یا تغییر نموده و به سرعت به ترکیب اولیه بازگشته (حالت ارتجاعی) و یا ممکن است به‌طور کلی تغییر کرده، که به معنای تغییر عملکردی است. جنگل‌کاری انجام شده در کشور چین منجر به افزایش معنی‌دار در مقدار جمعیت میکروبی، تنفس پایه میکروبی و مقادیر نیتروژن آلی و مقدار کربن ناپایدار خاک شد. این امر موجب انباشت طولانی مدت کربن، احیای خاک و کاهش گازهای گلخانه‌ای مرتبط با تغییرات اقلیمی آینده خواهد شد (۵۳).

در استرالیا ویژگی‌های دو خاک با کاربری مرتع قدیمی با خاک‌های زراعی با سابقه بیش از ۲۰ سال مقایسه شدند. خاک‌های مرتعی مقادیر بالاتر زیست‌توده میکروبی، کربن، نیتروژن و نیتریفیکاسیون و مقادیر کمتر دنیتریفیکاسیون بالقوه را نشان دادند (۷). تغییر کاربری در جنگل‌های طبیعی مناطق حاره بنگلادش به زراعی موجب کاهش معنی‌دار کربن توده زنده میکروبی شد که درنتیجه کاهش کیفیت خاک را در پی داشته است. مقادیر بیشتر CO_2 آزاد شده در طی تنفس ریزموجودات، بیانگر میزان فعالیت این ریزموجودات بوده است (۱۶). در تغییر کاربری از مرتع به زراعی در جنوب استان کرمان، اظهار شد که فعالیت‌های زراعی نه تنها موجب کاهش تنوع گونه‌های باکتری نشده است، بلکه افزایش تنوع نیز صورت گرفته است. بیشتر بودن pH خاک کاربری زراعی در مقایسه با کاربری مرتع شرایط را برای افزایش جمعیت باکتری‌ها فراهم آورده است (۱۷).

مقدار آنزیم‌های اسید فسفاتاز و آلکالین فسفاتاز خاک در منطقه مطالعاتی به‌ترتیب در دامنه‌های ۱۸۰ تا ۶۷۰ و

PNP/g/h µg ۱۳۶ تا ۷۴۱ بوده است. بیشترین مقادیر آنزیم‌های اسید فسفاتاز و آلکالین فسفاتاز در کاربری جنگل متراکم به میزان ۶۰۷ و ۷۰۴ PNP/g/h µg و کمترین میزان به مقدار ۱۸۰ و ۱۳۶ PNP/g/h µg در کاربری اراضی فرسایش‌یافته دیده شدند. همبستگی بالایی بین مقادیر این دو آنزیم در خاک‌های مطالعه شده دیده شد (R^2=0.90). تفاوت معنی‌داری بین این دو آنزیم در کاربری‌های مختلف وجود داشت (جدول ۴). همچنین اثر شیب در هیچ‌کدام از کاربری‌ها بر میزان این دو آنزیم معنی‌دار نبود (جدول ۲). تأثیر کاربری بر مقدار آنزیم‌ها در سطح ۱ درصد و تأثیر شیب در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقادیر آنزیم‌های اسید فسفاتاز و آلکالین فسفاتاز با تمامی ویژگی‌های مطالعه شده به جز مقدار فسفر و جمعیت باکتری همبستگی معنی‌داری داشته است (جدول ۵).

میزان کربن و نیتروژن آلی خاک نیز تأثیر زیادی بر میزان توده زنده میکروبی خاک دارد. وظیفه اصلی آنزیم‌های گروه فسفاتاز، هیدرولیز مواد آلی حاوی فسفر به یون‌های قابل جذب از گروه فسفات‌ها برای ریشه گیاه است. فراوانی این گروه از آنزیم‌ها معمولاً در خاک‌های با pH بالاتر، بیشتر است. تحرک طبیعی آنزیم‌ها در خاک بسیار کم بود و از این‌رو به‌منظور اثربخشی بیشتر آنزیم‌ها، سوبستراها بایستی در مجاورت محل تولید آنزیم‌ها باشند. ترکیبات آلی خاک به‌عنوان حاملی برای آنزیم‌های خاک هستند (۲۲). به‌طور کلی فعالیت آنزیم‌ها با میزان کربن آلی موجود در خاک مرتبط است. بالا بودن همبستگی این آنزیم‌ها با کربن آلی خاک بیانگر تمایل بالای ایجاد پیوند ترکیبات آلی با آنزیم فسفاتاز است. در سنتز آنزیم، از ترکیبات آلی به‌عنوان ماده اولیه استفاده می‌شود. این ترکیبات علاوه بر زیاد نمودن فعالیت ریزموجودات، از طریق پایدار نمودن آنزیم فسفاتاز در خاک موجب افزایش فعالیت آنزیم‌ها می‌شود (۵۰).

در پژوهش صورت گرفته در منطقه‌ای در جنوب شرقی چین، فعالیت آنزیمی در کاربری‌های مختلف اندازه‌گیری شدند که بر این اساس فعالیت آنزیمی در کاربری جنگلی بیش از مرتعی و آن هم بیش از زراعی بوده است (۲۶). پس از تغییر کاربری مرتع چرا شده به جنگل مصنوعی اکالیپتوس در کشور اروگوئه، فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی در لایه سطحی خاک به‌طور معنی‌داری در اراضی مرتعی بیش از اراضی جنگل‌کاری شده بود (۴۵). بطور کلی کم شدن ترکیبات آلی موجب کاهش در فعالیت آنزیم‌ها می‌شود که به دنبال کاهش فعالیت ریزموجودات و ایجاد تغییراتی در میزان رشد و گسترش ریشه و میکروفلور موجود در خاک است.

ترکیبات آلی خاک با دو راهکارِ زیاد نمودن فعالیت ریزموجودات و همچنین پایدار نمودن آنزیم‌های گروه فسفاتاز در خاک موجب افزایش فعالیت این آنزیم می‌شود. این افزایش با زیاد شدن ترکیبات آلی به‌دلیل وابستگی فعالیت ریزموجودات خاک و آنزیم‌های تولیدی به افزودن ترکیبات غذایی حاوی کربن می‌باشد (۲۲). فعالیت آنزیم‌های اسید فسفاتاز و آلکالین فسفاتاز در پوشش جنگلی بکر در استان چهارمحال و بختیاری به‌طور معنی‌داری بیشتر از اراضی جنگلی دست‌خورده بوده است (۲۸).

پژوهشی که در یک منطقه نیمه‌خشک مدیترانه‌ای صورت گرفت، نشان داد که میزان فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی بعد از انجام عملیات کشاورزی در اراضی مرتعی بکر به میزان معنی‌داری کاهش یافت. پژوهشگران نتیجه گرفتند که افزایش مقدار مواد آلی هم با افزایش فعالیت ریزموجودات و هم با پایدارسازی آنزیم فسفاتاز در خاک موجب افزایش فعالیت این آنزیم می‌شود (۸).

مقدار جمعیت قارچ خاک در منطقه مطالعاتی در دامنه $CFU*10^3$ ۲/۶۹ تا ۵/۸۹ بوده است. مقدار میانگین جمعیت قارچی در کاربری‌های چهارگانه جنگل متراکم، جنگل تنک، اراضی فرسایش یافته و کشت دیم به‌ترتیب ۵/۱۳، ۴/۴۱، ۳/۱۹ و ۳/۱۴ $CFU*10^3$ بوده است. تفاوت معنی‌داری بین جمعیت قارچ خاک کاربری‌های اراضی فرسایش‌یافته با زراعت دیم وجود نداشت اما بین سایر کاربری‌ها تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جدول ۴). همچنین اثر شیب در هیچکدام از کاربری‌ها بر میزان جمعیت قارچ معنی‌دار نبود (جدول ۲). تأثیر کاربری بر مقدار جمعیت قارچ خاک در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود

(جدول ۳). مقادیر جمعیت قارچ با تمامی ویژگی‌های مطالعه شده به جز مقدار فسفر و جمعیت باکتری همبستگی معنی‌دار داشت (جدول ۵).

پژوهش‌های مختلف نشان داد که عملیات کشاورزی و زیر و رو شدن خاک منجر به پاره شدن ریسه‌های قارچی و درنتیجه از بین رفتن و کاهش جمعیت قارچ‌ها می‌شود، همچنین pH اسیدی‌تر خاک جنگلی، ناشی از تجزیه مواد آلی شرایط بهینه‌تری برای رشد و توسعه بیشتر قارچ‌ها ایجاد می‌کند (۵). تبدیل جنگل بکر به مرتع در آمریکای جنوبی منجر به کاهش زیادی در غنای گونه‌ای قارچی، همراه با تغییرات اساسی در ترکیب جامعه قارچی شد. فاصله مکان نمونه‌برداری در خاک مرتع تا جنگل به‌عنوان مخزنی برای کولونی‌سازی مجدد قارچ‌ها، بیشترین همبستگی را از نظر ترکیب جمعیتی نشان داد (۳۳). تغییر کاربری جنگل به مزرعه چای و به دنبال آن انجام عملیات کشاورزی در شهر لاهیجان، خصوصیات شیمیایی خاک ازجمله pH ، پتاسیم قابل جذب و درصد کربن آلی خاک را کاهش داده که تغییرات یاد شده، موجب کاهش تعداد قارچ‌های میکوریزا و میزان کلونی شدن ریشه گیاه توسط قارچ میکوریزا در خاک شده است (۴۳).

پژوهش جامعی در ارتباط با اثر تغییر کاربری بر تنوع قارچ زیرزمینی در اکوسیستم‌های خاکی مبتنی بر نتایج ۱۹۰ مطالعه در سراسر جهان صورت گرفت. پارامترهای قارچی مختلف مانند غنا، تنوع، ترکیب جامعه، کلونیزاسیون ریشه توسط قارچ‌های میکوریزا و اکتومیکوریزا، تراکم اسپور و محتوای اسید چرب فسفولیپید و پروتئین خاک مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج حاصل از مطالعات تحلیل شده، اغلب پاسخ منفی پارامترهای کمی قارچی را پس از تغییر کاربری زمین به اراضی زراعی با کشت فشرده نشان داد (۴). پژوهشی با هدف تعیین اثرهای تبدیل اراضی تالاب‌های شهری به کاربری‌های زراعی و جنگلی بر جوامع باکتریایی و قارچی خاک در شمال شرقی چین انجام شد. غالب‌ترین شاخه باکتریایی و قارچی در بین انواع کاربری اراضی به‌ترتیب پروتئوباکتری و آسکومایکوتا بودند. تنوع و عملکرد باکتری‌ها در انواع مختلف کاربری زمین به‌طور قابل توجهی متفاوت بوده اما هیچ تفاوت قابل توجهی در جوامع قارچی تحت انواع مختلف کاربری زمین دیده نشد (۵۱). در پژوهش اخیر در کشور چین، چن و همکاران (۹) اثر دو نوع تغییر کاربری از الف) سایر کاربری‌ها به اراضی زراعی با دخالت انسان و ب) تبدیل جنگل به علف‌زار، یا بوته‌زار به مرتع و یا جنگل به بوته‌زار در شرایط طبیعی مطالعه شد. نتایج نشان داد که ویژگی‌های میکروبی خاک درنتیجه تغییر کاربری نوع الف (اختلال انسانی) کاهش یافت و عواملی مانند نیتروژن کل، مقدار فسفر و نسبت C/N کنترل‌کننده‌های غالب بر روی میکروب‌ها تحت تغییر کاربری نوع الف بودند. در مجموع آنچه که برداشت می‌شود این است که تغییر در نوع استفاده از زیست‌بوم‌ها بر شکل جمعیتی و تنوع گونه‌ای قارچ‌های موجود در خاک اثر داشته و احتمالاً نوع گونه‌های گیاهی در کاربری‌های مختلف نقش مهمی را در گوناگونی قارچ‌ها دارد. مقدار کاهش شش شاخص زیستی اندازه‌گیری شده، بین بهترین کاربری (جنگل متراکم) و بدترین کاربری (اراضی فرسایش یافته) ۵۷/۸ درصد و این مقدار کاهش برای شاخص‌های حاصل‌خیزی ۴۸/۶ درصد بوده است که نشان می‌دهد شاخص‌های زیستی مرتبط با ریزموجودات خاک حساسیت بیشتری را داشته‌اند و این مورد در پایش تغییرات کیفی خاک باید در نظر گرفته شود.

نتیجه‌گیری کلی

در مجموع نتایج نشان دادند که تغییر کاربری از جنگل متراکم به جنگل تنک، زراعت دیم و اراضی جنگل‌تراشی‌شده (فرسایش‌یافته) به‌ترتیب موجب کاهش ۱۸۰، ۲۳۰ و ۲۹۰ درصدی ماده آلی در خاک سطحی شده است که بیانگر کاهش شدید مهم‌ترین شاخص کیفی خاک است. در ارتباط با عناصر پر مصرف، بیشترین کاهش مربوط به نیتروژن خاک (به‌ترتیب ۱۸۰، ۲۵۰ و ۳۱۰ درصد) و کمترین میزان مربوط عنصر فسفر (کاهش ۱۷۰و ۱۴۰ درصدی در کاربری‌های جنگل تنک و

اراضی فرسایش‌یافته) و افزایش ۱۰۰ درصدی در کاربری زراعی بوده است. احتمال استفاده از کودهای فسفره در کاربری زراعی عامل افزایش مقدار این عنصر شده است. کاهش مقدار پتاسیم نیز به‌ترتیب ۱۲۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ درصد در کاربری‌های سه گانه (جنگل تنک، زراعت دیم و اراضی فرسایش‌یافته) نسبت به جنگل متراکم بود.

در ارتباط با عناصر ریزمغذی بیشترین کاهش مربوط به عناصر منگنز (به‌ترتیب ۱۵۰، ۱۲۰ و ۲۲۰ درصد) و روی (به‌ترتیب ۱۵۰، ۱۳۰ و ۲۲۰ درصد) بود. قابلیت استفاده عنصر مس، به‌دلیل برقراری پیوندهای لیگاندی قوی با ماده آلی، با افزایش ماده آلی کاهش پیدا می‌کند. بر این اساس مقدار عنصر مس در کاربری جنگل متراکم با بیشترین مقدار ماده آلی، کاهش ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۲۰ درصدی را نسبت به کاربری‌های سه‌گانه نشان داد. شش شاخص زیستی مطالعه شده نیز همبستگی بالایی را با میزان ماده آلی خاک نشان دادند. مقادیر آلکالاین فسفات، تنفس برانگیخته، تنفس پایه و اسید فسفاتاز بیشترین کاهش را درنتیجه تغییر کاربری نشان دادند. مقدار آلکالین فسفات به‌ترتیب کاهش ۱۲۰، ۲۳۰ و ۳۷۰ درصدی را در کاربری‌های سه گانه (جنگل تنک، زراعت دیم و اراضی فرسایش‌یافته) نسبت به جنگل متراکم نشان دادند. در بین شاخص‌های زیستی جمعیت باکتری (به‌ترتیب کاهش ۱۲۰، ۸۸ و ۱۵۰ درصدی) و قارچ (به‌ترتیب کاهش ۱۲۰، ۱۶۸ و ۱۷۰ درصدی) به‌ترتیب کمترین کاهش را درنتیجه تغییر کاربری نشان دادند که احتمالا مرتبط به حساسیت کمتر این دو عامل نسبت به تغییر شرایط بوده است. فاکتور شیب نیز بر اساس نتایج به‌دست آمده به جز بر سه فاکتور مقدار فسفر، جمعیت باکتری و جمعیت قارچ، اثر معنی‌داری بر سایر فاکتورهای اندازه‌گیری شده داشت. مقادیر فاکتورهای‌های اندازه‌گیری شده به‌طور عمده در شیب کمتر (۱۵-۰ درصد) بیشتر از شیب بیشتر (۱۵-۳۰ درصد) بود که به‌دلیل پایداری بیشتر در این موقعیت ژئومورفیک و همچنین فرسایش کمتر بوده است.

اگرچه تبدیل کاربری‌های طبیعی چون جنگل‌ها به اراضی زراعی، با کاهش شدید شاخص‌های زیستی مرتبط با کیفیت خاک است، اما استفاده از روش‌های نوین بی‌خاکورزی یا کم‌خاکورزی، قطع انتخابی درختان جنگلی و همچنین رعایت اصول کشاورزی پایدار، موجب می‌شود تا روند تخریبی شاخص‌های زیستی کیفیت خاک تعدیل و در مدت زمان کمتری با محیط به تعادل برسند.

سپاسگزاری

هزینه‌های انجام این پژوهش از محل اعتبار طرح پژوهشی به شماره ۸۹/۵۸۱ معاونت پژوهشی دانشگاه یاسوج صورت گرفته که بدین وسیله از همکاری این معاونت قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

1. Allison, S.D. and J.B.H. Martiny. Resistance, resilience, and redundancy in microbial communities. *In:* Proceedings of 2008 the National Academy of Sciences of the United States of America 105: 11512–11519.
2. Anderson, J.P.E. 1982. Soil respiration. Chemical and microbiological properties. PP. 831-871. *In:* A. L. Page and R. H. Miller (Eds.), Method of soil analysis, Part2. The American Society of Agronomy Madison Wisconsin.
3. Askari, E., H.R. Owliaie, Y. Safari and M. Sedghi Asl. 2017. Spatial variability of some soil fertility characteristics affected by land use changes in Yasouj region. *Journal of soil management and sustainable production* 9: 65-81.
4. Balami, S., M. Vašutová, D. Godbold, P. Kotas, and P. Cudlín. 2020. Soil fungal communities across land use types. *iForest - Biogeosciences and Forestry* 13: 548-558.
5. Beheshti, A., F. Reisi, and A. Golchin. 2011. The effects of land use change from pasturelands to croplands on soil microbiological and biochemical indicators. *Journal of Water and Soil* 25(3): 548-562. (in Persian)
6. Bewket, W. and I. Stroosnijder. 2003. Effects of agro-ecological land use succession on soil properties in Chemoga Watershed, Blue Nil Basins, Ethiopia. *Geoderma* 111(1-2): 85-98.
7. Bissett, A. A.E. Richardson, G. Baker and P.H. Thrall. 2011. Long-term land use effects on soil microbial community structure and function. *Applied Soil Ecology*, 51: 66-78.

8. Caravaca F., F. Masciandaro and B. Ceccanti. 2002. Land use in relation to soil chemical and biochemical properties in a semiarid Mediterranean environment. *Soil and Tillage Research* 68: 23–30.
9. Chen, D. D., S. H. Zhang, S. K. Dong, X. T. Wang and G. Z. Du. 2010. Effect of land-use on soil nutrients and microbial biomass of an alpine region on the northeastern Tibetan plateau, china. *Land Degradation Development* 21: 446–452.
10. Chen, Q., F. Yang and X. Cheng. 2022. Effects of land use change type on soil microbial attributes and their controls: Data synthesis. *Ecological Indicators* 138: 108852.
11. Choudhury B. U., M. A. Ansari, M. Chakraborty and T. T. Meetei. 2021. Effect of land use change along altitudinal gradients on soil micronutrients in the mountain ecosystem of Indian (Eastern) Himalaya. *Nature Portfolio* 11:14279
12. Finkenbeina, P., K. Kretschmerc, K. Kukab, S. Klotza and H. Heilmeier. 2013. Soil enzyme activities as bioindicators for substrate quality in revegetation of a subtropical coal mining dump. *Soil Biology and Biochemistry* 56: 87-89.
13. Fracetto, G. G. M., L. C. B. Azevedo, F. J. C. Fracetto, F. D. Andreote, M. R. Lambais and L. H. P. Fenning. 2013. Impact of Amazon landuse on the community of soil fungi. *Scientia Agricola* 70: 59-67.
14. Gömöryová, E., K. Střelcová, P. Fleischer and D. Gömöry. 2014. Soil microbial characteristics at the monitoring plots on windthrow areas of the Tatra National Park (Slovakia): their assessment as environmental indicators. *Environmental Monitoring and Assessment* 174: 31-45.
15. Hajabbasi, M. A., A. Jalalain and H. Karimzadeh. 1997. Deforestation effects on soil physical and chemical properties, Lordegan, Iran, *Plant Soil* 190: 301-308.
16. Islam K. R. and R. R. Will. 2000. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. *Agriculture Ecosystems and Environment* 79: 9-16.
17. Jalali G., A. Lakzian, A. Astaraei, A. Haddad, M. Azadvar and I. Esfandiarpour. 2016. The impact of land use on bacterial community composition and physicochemical properties of soil. *Bioscience Biotechnology Research Asia* 13: 2167-2176.
18. Jiang Y., Y.G. Zhang, D. Zhou, Y. Qin and W. J. Liang. 2009. Profile distribution of micronutrients in an aquic brown soil as affected by land use. *Plant Soil Environment* 55: 468–476.
19. Kara, O. and I. Bolat. 2007. The effect of different land uses on soil microbial biomass carbon and nitrogen in Bartin Province. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 32: 281-288.
20. Karlen, D. L., M. D. Tomer, J. Neppel, and C. A. Cambardella. 2008. A preliminary watershed scale soil quality assessment in north central low a, USA. *Soil and Tillage Research* 99: 291-299.
21. Kiani, F., A. Jalalian, A. Pashayi, and H. Khademi. 2008. The role of forest destruction, extinction of pastures on soil quality indices in loessy lands of Golestan province. *Journal of Water and Soil Science* 11(41): 453-463. (in Persian)
22. Kizilkaya, R. and O. Dengiz. 2010. Variation of land use and land cover effects on some soil physico-chemical characteristics and soil enzyme activity. *Zemdirbyste-Agriculture* 97: 15-24.
23. Kooch, Y. and N. Noghre. 2019. The effect of forest, rangeland and agriculture covers on soil microbial characters and enzyme activities. *Journal of Water and Soil Conservation* 11(2): 179-194 (In Persian)
24. Lal R. 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* 304: 1623-1627.
25. Lemenih, M., M. Karltun and M. Olsson. 2005. Assessing soil chemical and physical property responses to deforestation and subsequent cultivation in small holders farming system in Ethiopia. *Agriculture Ecosystems and Environment* 105: 373-386.
26. Li, Q., J. H. Liang, Y. Y. He, Q. J. Hu and S. Yu. 2014. Effect of land use on soil enzyme activities at karst area in Nanchuan, Chongqing, and Southwest China. *Plant, Soil and Environment* 60: 15–20.
27. Maassen, S., H. Fritze and S. Wirth. 2010. Response of soil microbial biomass, activities, and community structure at a pine stand in northeastern Germany 5 years after thinning. *Journal of Forest Research* 36: 1427-1434.
28. Matinizadeh M., S. Ali Ahmad Korori, M. Khoshnevis and M. Teimouri. 2004. Identification of symbiotic mycorrhizal fungi with juniper (Juniperus excelsa) and their prevalence in Syrachal habitat. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 13(4): 385-400. (In Persian)
29. Mehmandoost, F., H. R. Owliaie, E. Adhami, and R. Naghiha. 2018. Effect of land use change on some physicochemical and biological properties of the soils of Servak Plain, Yasouj region. *Journal of Water and Soil* 32 (3): 587-599 (In Persian)
30. Mehmandoost, F., H. R. Owliaie, E. Adhami, and R. Naghiha. 2020. Changes in biological, chemical and soil fertility characteristics as a result of land use change (Case study: Mokhtar region of Yasouj). *Journal Water Soil Science* 23 (4):141-154 (In Persian)
31. Meng, Q., B. Fu, X. Tang and H. Ren. 2008. Effect of land use on phosphorus loss in the hilly area of the Loess Plateau, China. *Environmental Monitoring and Assessment* 139: 195-204.

32. Mokhtari Karchegani P., S., Ayoubi, M. R. Mosaddeghi and M. Malekian. 2011. Effects of land use and slope gradient on soil organic carbon pools in particle-size fractions and some soil physico-chemical properties in hilly regions, western Iran. *Journal of Soil Management and Sustainable Production* 1: 23-41.
33. Mueller, R. C., J. L. M., Rodrigues, K. Nüsslein and B. J. M. Bohannan. 2016. Land use change in the Amazon rain forest favours generalist fungi. *Functional Ecology* 30: 1845-1853.
34. Nasiri, E., H. R. Owliaie, Y. Safari and M. Sedghi-Asl. 2019. Geostatistical Assessing of Some Soil Properties Variability Due to the Oak Land Deforesting in Mokhtar Plain, Yasouj. *Applied Soil Research* 7(3): 83-97. (In Persian)
35. Niknahad H. and M. Maramaei. 2011. Effects of land use changes on soil properties (Case Study: the Kechik catchment). *Journal of Sustainable Soil Management* 1(2): 81- 96. (In Persian)
36. Nowrozi A., A. Charkhabi and M. Chorom. 2006. Investigating the relationship between land use changes and the amount of heavy elements in some soils of the Anzali watershed. *In*: Proceeding of 2006 "Third National Conference on Environmental Crises of Iran and their Improvement Solutions. Khuzestan, Ahvaz.
37. Owliaie, H. R., E. Adhami and M. Najafi Ghiri. 2022. Changes in soil magnetic properties and Iron Oxides following land use change (Case study: Mokhtar Plain, Kohgilouye Province). *Journal of Water and Soil* 36: 267-282.
38. Owliaie, H. R., E. Adhami, H. Farajee and F. Fayyaz. 2011. Influence of Oak (Quercus brantii Lindl.) on selected soil properties of Oak forests in Yasouj region. *Journal Water Soil Science* 15(56): 193-208. (In Persian)
39. Page, A. L. 1982. Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological methods. Soil Science Society of America, Inc. Publisher Madison, Wisconsin. USA.
40. Rengel, Z. 2007. Cycling of micronutrients in terrestrial ecosystems. PP. 93-121. *In*: Marschner P. and Z. Rengel (Eds.), Nutrient Cycling in Terrestrial Ecosystems, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
41. Safari Y., Z. Noori and M. Rahmanian. 2021. Variations of soil fertility following the oak deforestation in Miankooh region, Shahrekord. *Environmental Erosion Research* 11 (2):129-145 (In Persian)
42. Sameni A., S. Dehghani and A. A. Moosavi. Effect of land use change on status of available micro elements in different depth of a calcareous soil. *In*: Proceeiding of 2017 15_{th} Iranian Soil Science Congress, Isfahan, Iran.
43. Shafiee, S., A. Salehi and Kohneh, E. 2021. The Influence of forest land use changing into tea garden on soil chemical properties and Arbuscular Mycorrhizal fungi population (Case study: Lahijan). *Journal of Natural Resources Research* 2(11): 17-27. (In Persian)
44. Sheklabadi, M., H. Khademi, M. Karimian Eghbal and F. Nourbaksh. 2007. Effects of climate and long-term grazing exclusion on selected soil biological quality indicators in rangelands of central Zagros. *Journal Water Soil Science* 11(41): 103-114. (In Persian)
45. Sicardi, M., F. Garcia-Prechac and L. Frioni. 2004. Soil microbial indicators sensitive to land use conversion from pastures to commercial Eucalyptus grandis (Hill ex Maiden) plantations in Uruguay. *Applied Soil Ecol*ogy 27: 125–133.
46. Silva-Olaya A. M., D. A. Mora-Motta, M. R. Cherubin, D. Grados, A. Somenahally and F. A. Ortiz-Morea. 2021. Soil enzyme responses to land use change in the tropical rainforest of the Colombian Amazon region. *PLoS ONE* 16: e0255669.
47. Six J., E. T. Elliot, and K. Paustian. 2000. Soil macroaggregate turn over and micro-aggregate formation for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biology and Biochemistry* 32: 2099-2103.
48. Tabatabai M. A. 1994. Soil enzymes. PP. 775-833. *In*: Weaver, R.W. (Ed.) Methods of Soil Analysis. Part 2. Soil Science Society of America, Monograph, Madison, Wisconsin.
49. Tellen, V. A. and B. P. K. Yerima. 2018. Effects of land use change on soil physicochemical properties in selected areas in the North West region of Cameroon. *Environment Systems Research* 7: 1-29.
50. Wang, B., S. Xue, G. B. Liu, G. H. Zhang, G. Li, and Z. P. Ren. 2012. Changes in soil nutrient and enzyme activities under different vegetations in the Loess Plateau area, Northwest China. *Catena* 92: 186-195.
51. Wu, Y., Gao, W. and Zou, Y. 2022. Effects of land use conversion on the soil microbial community composition and functionality in the urban wetlands of North-Eastern China. *Forests* 13: 1148.
52. Zarafshar, M., M. R. Negahdarsaber, H. Jahanbazei, M. Pourhashemi, S. K. Bordbar M. Matinizadeh and A. Abasi. 2020. Dieback in pure stands of Brant`s oak (*Quercus brantii* Lindl.) in southern Zagros forests, Kohmareh Sorkhi region of Fars province. *Iranian Journal of Forest* 12(2): 291-303 (In Persian).
53. Zhang, Q., J. Wu and F. Yang. 2016. Alterations in soil microbial community composition and biomass following agricultural land use change. *Scientific Report* 6: 36587.

Journal of Water and Soil Science
Vol. 27, No. 3, Fall 2023, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Effect of Land Use Change on Some Fertility and Biological Properties of the Soils of Yasouj Forest Region

H.R. owliaie[1*], E. Adhami[1] and M. Najafi Ghiri[2]

(Received: January 14-2023 ; Accepted: April 16-2023)

Abstract

Soil resources are important components of the ecosystem, and therefore, their quality should be considered. One of the important factors affecting the quality of soils is land use change. The present study was conducted to investigate the effects of land use change and deforestation on some soil fertility and biological characteristics in the forest area of the Yasouj region. In this area, four land uses of dense forest, sparse forest, deforested (degraded) lands, and rainfed agriculture were randomly sampled from two slope classes. In each land use 10 soil surface samples were taken. Fifteen soil fertility and biological characteristics were measured using routine methods. The results showed that dense forest and deforested (degraded) lands had the best and worst conditions, respectively, in terms of the measured parameters. Among the measured characteristics, the values of alkaline phosphate, exhaled respiration, nitrogen, basal respiration, acid phosphatase, manganese, and zinc showed the greatest decrease respectively, and the values of phosphorus and potassium exhibited the least decrease, as a result of land use change from dense forest to degraded lands. The findings showed that the conversion of ecosystems such as forests to agricultural lands or deforestation has led to a severe decrease in the fertility and biological indicators of soil quality. Therefore, the protection programs of these areas should be more considered.

Keywords: Land degradation, Land use change, Biological characteristic, Chemical characteristic

1. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Yasouj, Yasouj, Iran.
2. Department of Soil Science, College of Agriculture and Natural resources, Darab University, Fars, Iran.
*: Corresponding author, Email: owliaie@gmail.com