



ارزیابی پاسخ بوم‌سازگان به تغییر کاربری زمین با استفاده از شاخص کیفیت خاک - جنگل الندان ساری

مریم اسدیان^۱، سید محمد حجتی^{۲*}، محسن محمدزاده^۳ و مهدی نادى^۴

^۱ دانش‌آموخته دکتری علوم و مهندسی جنگل دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری
^۲ استاد گروه علوم و مهندسی جنگل دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری
^۳ استاد گروه آمار کاربردی دانشکده علوم ریاضی، دانشگاه تربیت مدرس تهران، تهران
^۴ استادیار گروه مهندسی آب دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۲/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۳/۲۱)

چکیده

در این پژوهش اثر تغییر کاربری زمین بر شاخص کیفیت خاک در منطقه الندان-ساری با پنج نوع کاربری متفاوت جنگل خالص راش، جنگل غیرتولیدی، جنگلکاری ون، جنگلکاری کاج سیاه و زمین کشاورزی بررسی شد. بدین منظور نمونه‌برداری خاک از عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری و با در نظر گرفتن تعداد شش قطعه نمونه انجام گرفت. قطعه نمونه‌ها به ابعاد ۲۰×۲۰ متر در هر کاربری به صورت تصادفی سیستماتیک و با استفاده از شبکه آماربرداری به ابعاد ۵۰×۱۰۰ متر انتخاب شده بودند. بعد از اندازه‌گیری مشخصه‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک برای محاسبه شاخص کیفیت خاک، مشخصه‌هایی چون ظرفیت زراعی، چگالی ظاهری، میانگین هندسی قطر خاکدانه، کلسیم، منیزیم و فسفر قابل جذب، نیتروژن کل، آمونیوم، زی‌توده میکروبی نیتروژن و آنزیم‌های اوره‌آز، اسید فسفاتاز و اینورتاز، با استفاده از روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی به‌عنوان مجموعه حداقل داده‌ها انتخاب شد. در این تحقیق برای ارزیابی کیفیت خاک از دو شاخص تجمعی و وزنی استفاده شد. نتایج حاکی از آن است که جنگلکاری ون بیشترین (۰/۷۶ و ۰/۲۵) و جنگلکاری کاج سیاه (۰/۵۸ و ۰/۱۶) و زمین کشاورزی (۰/۵۴ و ۰/۱۵) کمترین میزان هر دو نوع شاخص تجمعی و وزنی کیفیت خاک (به ترتیب) را دارند. کیفیت خاک در شاخص وزنی در جنگلکاری ون به‌طور ویژه‌ای متفاوت با جنگلکاری کاج سیاه و زمین کشاورزی بود. احیای جنگل‌های غیرتولیدی با استفاده از گونه سوزنی‌برگی که سبب کاهش کیفیت خاک نظیر وضعیت خاک در زمین کشاورزی شده است توصیه نمی‌شود.

واژه‌های کلیدی: جنگلکاری، خاک جنگل، شاخص تجمعی، شاخص وزنی، مجموعه حداقل داده‌ها.

مقدمه

(Tian et al., 2022). نتایج تحقیقات در مناطق

مختلف جهان نشان می‌دهد که تغییر کاربری از جنگل‌ها و مراتع و تبدیل آنها به زمین‌های کشاورزی سبب تخریب یا اختلال در بوم‌سازگان طبیعی و کاهش ظرفیت تولید فعلی خاک شده و این امر در آینده موجب افزایش فرسایش، کاهش حاصلخیزی، تغییر رطوبت، شور شدن یا تغییر در فلور و فون خاک

امروزه عواملی از قبیل رشد جمعیت، افزایش شهرنشینی، صنعتی شدن و تغییر سبک زندگی به‌عنوان عوامل اصلی تغییر کاربری زمین و به‌دنبال آن تخریب خاک مطرح‌اند. خاک به‌عنوان یکی از منابع حیاتی بوم‌سازگان، اثر مهمی در تنظیم جذب مواد غذایی، استفاده از آب و افزایش بهره‌وری دارد

اکولوژیکی حساس بوم‌سازگان‌های طبیعی به شدت تحت تأثیر تغییر کاربری زمین و به‌ویژه تبدیل بوم‌سازگان‌های جنگلی به کشاورزی و دیگر فرم‌های زمین است. در همین زمینه یافته‌های (et al. 2020) Rajani حاکی از آن است که مدیریت نادرست زمین و در پی آن از دست رفتن کربن آلی و نیتروژن کل خاک سبب ضعیف شدن کیفیت خاک در زمین‌های کشاورزی و مخروبه در مقایسه با جنگل‌های طبیعی شده است. همچنین نتایج پژوهش Gorji et al. (2017) نیز مؤید تأثیرپذیری کیفیت خاک از تغییر کاربری زمین بوده است، به‌طوری که براساس یافته‌های این پژوهش کاربری‌های باغ و مرتع به ترتیب بیشترین و کاربری‌های زراعت آبی، زراعت دیم و اراضی رهاشده کمترین شاخص کیفیت تجمعی را به خود اختصاص داده‌اند. کاهش کیفیت خاک از بحران‌های زیست‌محیطی جهانی است. حفظ کیفیت خاک تحت تأثیر کاربری شدید زمین و توسعه سریع اقتصادی به چالشی بزرگ برای منابع پایدار مورد استفاده در کشورهای در حال توسعه تبدیل شده است. محققان بر این باورند که به‌منظور حفظ یا بهبود کیفیت خاک، تغییر کاربری زمین در بیشتر مناطق باید به سمت افزایش عرصه‌های جنگلی و نه فزونی بیشتر زمین‌های کشاورزی پیش رود. حفظ جنگل‌ها سبب ایجاد بوم‌سامان‌های پایدار و در نتیجه حفظ و بهبود کیفیت خاک می‌شود (Manpoong & Tripathi, 2019). ارزیابی کیفیت خاک برای شناسایی تأثیر سیستم‌های مدیریتی مختلف بر زمین‌های کشاورزی و منابع طبیعی از جمله جنگل‌ها و مراتع ضروری است. به همین منظور هدف این پژوهش این است که پاسخ بوم‌سازگان طبیعی (جنگل) به تغییر کاربری زمین به‌واسطه اندازه‌گیری شاخص کیفیت خاک (با استفاده از مشخصه‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک و روش آماری تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای استخراج شاخص‌های مختلف وزنی و تجمعی) در منطقه‌الندان ساری بررسی شود.

می‌شود (Arévalo et al., 2015). در ایران نیز سالیانه سطح وسیعی از عرصه‌های جنگلی و مرتعی به کاربری‌های کشاورزی و مسکونی تغییر می‌یابند که از پیامدهای آن می‌توان به افزایش فشرده‌گی، کاهش نفوذپذیری، از دسترس خارج شدن عناصر غذایی و کاهش فعالیت جانداران و آنزیم‌های مفید خاک اشاره کرد. در همین زمینه (Khatirpasha et al. 2018) بررسی خود گزارش کردند که تغییر کاربری زمین از جنگل به زمین زراعی سبب کاهش مقدار ماده آلی، پتاسیم قابل جذب و نیتروژن کل خاک شده است. تأثیر تغییرات کاربری زمین در کاهش تنوع زیستی، اختلال در برخی از عملکردهای بوم‌سازگان و کاهش کیفیت خاک منعکس می‌شود. ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک می‌توانند مجموعه‌ای از مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک یا ترکیبی از آنها باشند که به تغییرات پویایی که در خاک رخ می‌دهد حساس‌اند (Moffat, 2005). کیفیت خاک عبارت است از ظرفیت خاک برای ایفای نقش در قلمرو بوم‌سامان خود (بعضی مواقع در خارج از آن) برای پایداری توان تولید، تنوع زیستی، حفظ کیفیت محیط زیست و ارتقای سلامت گیاه و انسان است (Ray et al., 2014). ارزیابی کیفیت خاک به‌طور مستقیم قابل اندازه‌گیری نیست و در واقع براساس برخی شاخص‌ها قابل بهره‌وری است (Gorji et al., 2017). به‌دست آوردن روش‌ها و شاخص‌های مناسب ارزیابی کیفیت خاک به‌علت تأثیر مهم آن بر نتیجه‌گیری و ارزیابی نهایی در مورد وضعیت کیفیت و مدیریت خاک، از مهم‌ترین مسائل مورد توجه است. در بین روش‌های مختلف ارزیابی کیفیت خاک، امروزه شاخص کیفیت خاک به‌دلیل قابلیت استفاده آسان، انعطاف‌پذیری و کمی بودن متداول‌ترین روش است. شاخص کیفیت خاک به نوع عملیات مدیریتی خاک بستگی دارد، زیرا در آن از مشخصات منحصربه‌فرد خاک در هر کاربری که در اثر فعالیت‌های بشر در طول زمان تغییر می‌کند، استفاده می‌شود. کیفیت خاک به‌عنوان اجزای

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

منطقه پژوهش واقع در سری ۶، بخش ۱ حوضه ۲ آبخیز رود تجن، تحت مدیریت شرکت چوب و کاغذ مازندران است که بین "۲۴' ۰۰" ۵۳° تا "۲۶' ۲۷" ۵۳° طول شرقی و "۵۷' ۱۰" ۳۶° تا "۳۶' ۱۳" ۵۶° عرض شمالی قرار گرفته است و سطحی بالغ بر ۲۰۵۱ هکتار را در محدوده ارتفاعی ۱۷۸۳-۱۰۰۰ متر از سطح دریا را به خود اختصاص داده است. شیب عمومی منطقه بین ۳۰-۰ درصد و جهت عمومی دامنه شمال غربی است (در این تحقیق بخش‌هایی از این کاربری‌ها که به‌صورت پیوسته با هم بوده و حداقل اختلاف ارتفاع از سطح دریا، حداقل تغییر درصد و جهت شیب در آنها وجود داشت انتخاب شد). متوسط باران سالیانه براساس داده‌های ایستگاه هواشناسی سینوپتیک کیاسر حدود ۵۳۰ میلی‌متر بوده و خاک منطقه عمیق در حدود ۱۲۰ سانتی‌متر، نوع خاک قهوه‌ای جنگلی و بافت خاک متوسط تا کمی سنگین است. در تحقیق حاضر پنج نوع کاربری متداول توده طبیعی مدیریت‌شده خالص راش شرقی (*Fagus orientalis* Lipsky)، توده غیرتولیدی با گونه‌های ممرز و انجیلی (*Carpinus* دست کاشت ون (*Fraxinus excelsior* L.)، توده دست کاشت کاج سیاه (*Pinus nigra* J.F.Arnold) و زمین کشاورزی (تحت کشت دیم گندم و جو) در منطقه شناسایی شد. درباره توده‌های دست کاشت این نکته ضروری است که پوشش قبل از کاشت این توده‌ها در ابتدا راشستان بوده است که بعد از مدتی تبدیل به توده غیرتولیدی شد و در نهایت در این عرصه‌ها بعد از قطع یکسره (به‌صورت تدریجی) در بین سال‌های ۱۳۶۲-۱۳۶۷ جنگلکاری با دو گونه ون و کاج سیاه با فاصله کاشت ۲/۵×۲/۵ متر صورت گرفت. همچنین در این توده‌ها در سال ۱۳۹۰ عملیات پرورشی (تنک کردن با شدت یکسان) صورت گرفته است. شایان ذکر است که توده‌های جنگلی مورد

بررسی دارای پوشش زیرآشکوب غنی، شامل گونه‌های تمشک (*Rubus nebulosus* A.R.Bean.)، بنفشه جنگلی (*Viola sylvestris* Lam.)، سرخس پنجه‌ای (*Pteris cretica* L.)، متامتی (*Hypericum androsaemum* L.)، پامچال (*Primula heterochroma* Stapf)، کوله خاس (*Ruscus hyrcanus* Woronow)، کارکس (*Carex Sylvatica* Huds.)، آسپرولا (*Galium odorata* L.Scop.)، ازگیل (*Mespilus germanica* L.) و ولیک (*Crataegus microphylla* K.Koch.) بوده‌اند (Rangeland Organization, 2004).

شیوه اجرای پژوهش

پس از بازدید و شناسایی دقیق منطقه، با روش تصادفی سیستماتیک و شبکه آماربرداری به ابعاد ۱۰×۵ متر، شش قطعه نمونه با ابعاد ۲۰×۲۰ متر در هر یک از کاربری‌ها انتخاب شد و نمونه‌برداری خاک از عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری به‌وسیله استوانه فلزی (قطر ۸ سانتی‌متر) در مرکز قطعه نمونه صورت گرفت. پس از نمونه‌برداری و انتقال به آزمایشگاه، درصد رطوبت از نوع ظرفیت زراعی به روش محاسبه از طریق معادلات ریاضی (Saxton & Rawls, 2006)، میانگین هندسی قطر خاکدانه به‌عنوان شاخص پایداری خاکدانه به روش الک خشک (Kalhor et al., 2017)، چگالی ظاهری به روش کلوخه، هدایت الکتریکی پس از عصاره‌گیری با استفاده از دستگاه مخصوص هدایتگر الکتریکی (EC متر)، پتاسیم قابل جذب نیز پس از عصاره‌گیری با محلول استات آمونیوم با دستگاه فلتم فتومتر، کلسیم و منیزیم قابل جذب نیز پس از عصاره‌گیری به روش اشباع و رقیق‌سازی با یک بازدارنده یونیزاسیون با دستگاه جذب اتمی، فسفر قابل جذب به روش اولسون و با دستگاه اسپکتروفتومتری، کربن آلی به روش والکی بلاک، نیتروژن کل به روش کج‌لدال (Jafari-Haghighi, 2003)، غلظت آمونیوم به روش کلریمتریک (Dorich & Nelson, 1983)، کربن و نیتروژن ذره‌ای به

مشخصه‌هایی چون ظرفیت زراعی، پایداری خاکدانه، کربن آلی، نیتروژن کل، پتاسیم، کلسیم و منیزیم قابل جذب، آمونیوم، کربن و نیتروژن ذره‌ای، زی‌توده میکروبی کربن، نیتروژن کل و آنزیم‌ها) و گروه دوم شامل چگالی ظاهری. همچنین مشخصه‌هایی چون هدایت الکتریکی و فسفر با توجه به دامنه تعریف شده برای آنها در گروه‌های ذکر شده طبقه‌بندی شدند. (مقدار ۰/۲ تا ۲ دسی‌زیمنس بر متر برای هدایت الکتریکی و مقدار ۴۵ تا ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک برای فسفر). بدین ترتیب که در صورت کمتر بودن یا بیشتر بودن مقدار این مشخصه‌ها از دامنه تعیین شده به ترتیب در گروه اول و دوم جای گرفتند. برای محاسبه امتیاز هر کدام از این مشخصه‌ها بسته به اینکه در کدام گروه قرار گرفته‌اند از روابط زیر استفاده شد:

رابطه ۱ بیشترین ارزش / ارزش (مقدار) هر تکرار = گروه اول
رابطه ۲ ارزش (مقدار) هر تکرار / کمترین ارزش = گروه دوم

گام سوم: ادغام امتیازات محاسبه‌شده درون شاخصی کلی (رابطه ۳)

شاخص کیفیت به دو شکل شاخص تجمعی و شاخص وزنی قابل محاسبه است. در شاخص تجمعی میانگین امتیازات داده‌شده به هر مشخصه ملاک عمل است، اما در شاخص وزنی، به امتیازات داده‌شده به هر مشخصه در زیر هر محور براساس درصد واریانس آن محور وزن داده شد و سپس میانگین امتیازات تبدیل شده به‌عنوان شاخص کیفیت در قالب فرمول زیر محاسبه شد (Tian et al., 2022).

$$SQI = \left(\frac{\sum_{i=1}^n S_i}{n} \right) \quad \text{رابطه ۳}$$

در این رابطه S_i امتیاز داده‌شده به هر مشخصه و n تعداد مشخصه‌های مورد استفاده در این شاخص است.

روش سیستم احتراق عناصر (Emily et al., 2006) و زی‌توده میکروبی کربن و نیتروژن به روش تدخین، استخراج و اندازه‌گیری شد (Ali Asgharzade, 2010). همچنین برای سنجش فعالیت آنزیمی خاک براساس رنگ تولیدشده از روش‌های استاندارد ارائه‌شده توسط Alef Nannipieri (1955) استفاده شد.

شاخص کیفیت خاک

شاخص کیفیت خاک طی سه گام اصلی به شرح زیر محاسبه شد:

گام اول: تعیین مجموعه‌ای از حداقل داده‌ها^۱

در این بخش مجموعه‌ای از مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک به‌عنوان تأثیرگذارترین مشخصه‌ها در کیفیت خاک با استفاده از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی^۲ انتخاب شدند. بدین صورت که ابتدا مشخصه‌هایی با اختلاف معنی‌دار در کاربری‌های مختلف وارد نرم‌افزار شدند، سپس با روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و مشاهده خروجی‌ها، محورهایی با ویژه مقدار بزرگ‌تر یا مساوی ۱ انتخاب و در زیر این محورها متغیرهایی با بیشترین بار عاملی در نظر گرفته شدند. در نهایت از میان این متغیرها، بعد از بررسی وضعیت همبستگی بین آنها و در صورت وجود همبستگی زیاد ($r > 0.70$) متغیر دارای بیشترین بار عاملی در زیر هر محور انتخاب شد. شایان ذکر است که در صورت وجود همبستگی ضعیف بین متغیرها، همگی آنها در زیر هر محور به‌عنوان مهم‌ترین مشخصه‌ها تعیین می‌شوند (Vasu et al., 2016).

گام دوم: امتیازدهی به هر مشخصه با استفاده از معادله‌های ریاضی

در این مرحله مشخصه‌های انتخاب‌شده براساس اینکه بیشترین مقدار آنها اثر مطلوب یا نامطلوب بر خاک بر جای می‌گذارد، به ترتیب در دو گروه خوب و بد طبقه‌بندی شدند (روابط ۱ و ۲). گروه اول شامل

1. Minimum data set
2. Principal Component Analysis

روش تحلیل

در تحقیق حاضر برای تعیین مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار در کیفیت خاک از روش تحلیل عاملی^۱ استفاده شد. در این روش برای استخراج عوامل و رسیدن به هدف خلاصه کردن متغیرها و دستیابی به تعداد محدودی عامل از روش آماری تجزیه به مؤلفه‌های اصلی استفاده شد. همچنین برای بهبود روابط بین متغیرها و عامل‌های اولیه و اعمال تبدیل‌های خاص روی عامل‌ها، عمل دوران عامل‌ها^۲ صورت گرفت. شایان ذکر است که در این تحقیق از روش متعامد واریماکس^۳ برای دوران عامل‌ها استفاده شد. در تحقیق حاضر نرمال بودن پراکنش داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف و همگنی واریانس با استفاده از آزمون لون بررسی شد. همچنین برای تحلیل آماری مشخصه‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی، زیستی و در نهایت شاخص کیفیت خاک در کاربری‌های مورد پژوهش از تحلیل واریانس یکطرفه (ANOVA) و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون SNK استفاده شد. برای بررسی ارتباط بین متغیرها نیز از همبستگی پیرسون استفاده شد. همه آزمون‌های آماری در محیط نرم‌افزار SPSS 22 و ترسیم نمودارها در محیط نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

نتایج

تعیین مجموعه‌ای از حداقل داده‌ها با استفاده از تحلیل به مؤلفه‌های اصلی

نتایج حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی حاکی از آن است که پنج محور اصلی با ویژه مقدار بزرگ‌تر یا مساوی ۱ انتخاب و سپس تعدادی مشخصه خاک از هر محور به‌عنوان مجموعه‌ای از حداقل داده‌ها در نظر گرفته شد (جدول ۱).

در زیر محور ۱، مشخصه‌هایی چون منیزیم قابل جذب، هدایت الکتریکی، کربن و نیتروژن آلی ذره‌ای،

آنزیم‌های اسید فسفاتاز و اوره‌آز، زی توده میکروبی نیتروژن و کلسیم قابل جذب (مشخصه‌هایی با بار عاملی زیاد) انتخاب و در نهایت با توجه به خروجی ماتریس همبستگی بین این مشخصه‌ها (جدول ۲)، از بین مشخصه‌هایی چون هدایت الکتریکی، نیتروژن کل، کربن و نیتروژن ذره‌ای به‌دلیل وجود همبستگی زیاد بین آنها، نیتروژن کل به‌عنوان مشخصه‌هایی با بیشترین بار عاملی انتخاب و مشخصه‌هایی چون منیزیم قابل جذب، آنزیم‌های اسید فسفاتاز و اوره‌آز، زی توده میکروبی نیتروژن و کلسیم قابل جذب به‌دلیل همبستگی ضعیف با مشخصه‌های دیگر، همگی به‌عنوان اجزای تشکیل‌دهنده مجموعه‌ای از حداقل داده‌ها در نظر گرفته شدند (جدول ۵).

در زیر محور ۲، فسفر و پتاسیم قابل جذب و ظرفیت زراعی به‌عنوان مشخصه‌هایی با بار عاملی زیاد انتخاب و سپس از میان آنها و با توجه به همبستگی قوی بین فسفر و پتاسیم قابل جذب، مشخصه فسفر قابل جذب با بیشترین بار عاملی و مشخصه ظرفیت زراعی به‌دلیل همبستگی ضعیف با مشخصه‌های دیگر (جدول ۳)، به‌عنوان اجزای تشکیل‌دهنده مجموعه‌ای از حداقل داده‌ها انتخاب شدند (جدول ۵).

در زیر محور ۳، آنزیم اینورتاز و میانگین هندسی قطر خاکدانه، به‌عنوان مشخصه‌هایی با بار عاملی زیاد انتخاب و سپس به‌دلیل وجود همبستگی ضعیف بین این دو مشخصه (جدول ۴)، هر دو به‌عنوان اجزای تشکیل‌دهنده مجموعه‌ای از حداقل داده‌ها در نظر گرفته شدند (جدول ۵).

در مورد محورهای ۴ و ۵، به ترتیب مشخصه‌های چگالی ظاهری و آمونیوم به‌عنوان تنها مشخصه‌های دارای بار عاملی زیاد، برای مجموعه‌ای از حداقل داده‌ها انتخاب شدند (جدول ۵).

1. Factor analysis
2. Rotation
3. Varimax method

جدول ۱- مؤلفه‌های اصلی، ویژه مقدار و متغیرهای ماتریس عاملی
Table 1. Principal components, eigenvalue and component matrix variables

PC5	PC4	PC3	PC2	PC1	محورهای اصلی Principal components
1.101	1.560	1.972	3.574	7.583	ویژه مقدار Eigenvalue
5.793	8.209	10.378	18.811	39.910	واریانس (%) Variance (%)
83.110	77.309	69.100	58.722	39.910	واریانس تجمعی (%) Cumulative variance (%)
0.070	0.100	0.120	0.230	0.480	فاکتور وزنی Weightage factor
بار عاملی (ماتریس عاملی دوران یافته) Factor loading (Rotated component matrix)					
0.158	-0.113	<u>-0.874</u>	0.084	-0.0204	آنزیم اینورتاز (میکروگرم گلوکز بر گرم خاک در ۲۴ ساعت) Invertaz enzyme ($\mu\text{g GE}\cdot\text{g}^{-1}\text{dm}\cdot 24\text{h}^{-1}$)
0.473	-0.346	-0.499	0.392	0.465	ماده آلی ذره‌ای (درصد) Particle organic matter (%)
0.473	-0.132	<u>0.825</u>	-0.277	-0.033	میانگین هندسی قطر خاکدانه (میلی‌متر) Geometric Mean Diameter (mm)
-0.086	-0.195	0.057	<u>-0.883</u>	-0.029	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) Available phosphorus (ppm)
-0.109	0.014	0.382	<u>-0.827</u>	0.060	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) Available potassium (ppm)
-0.010	<u>0.834</u>	-0.152	0.221	-0.025	چگالی ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب) Bulk density (gcm^{-3})
-0.322	-0.731	-0.183	0.308	-0.124	زی‌توده میکروبی کربن (میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) Microbial biomass carbon (ppm)
<u>0.880</u>	0.173	-0.130	0.189	-0.081	آمونیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) Ammonium (ppm)
0.250	-0.120	-0.054	0.474	<u>0.739</u>	منیزیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) Available magnesium (ppm)
0.027	-0.049	0.141	0.000	<u>0.935</u>	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) Electrical conductivity (dsm^{-1})
-0.114	0.061	-0.047	0.084	<u>0.943</u>	نیتروژن کل (درصد) Total nitrogen (%)
-0.084	0.380	0.261	0.348	<u>0.765</u>	کربن آلی ذره‌ای (درصد) Organic carbon (%)
-0.057	0.531	0.226	0.098	<u>0.781</u>	نیتروژن ذره‌ای (درصد) Particle nitrogen (%)
0.362	0.412	-0.194	0.409	<u>0.609</u>	آنزیم اسید فسفاتاز Acid phosphatase enzyme ($\mu\text{g nitrophenil g}^{-1}\text{dm}\cdot \text{h}^{-1}$)
0.076	0.126	0.368	0.421	<u>0.640</u>	آنزیم اوره‌آز (میکروگرم نیتروژن بر گرم خاک در ۲ ساعت) Urease enzyme ($\mu\text{g N g}^{-1}\text{dm}\cdot 2\text{h}^{-1}$)
0.210	-0.113	0.081	-0.052	<u>0.804</u>	زی‌توده میکروبی نیتروژن (میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) Microbial biomass nitrogen (ppm)
0.129	-0.134	0.060	<u>0.705</u>	0.480	ظرفیت زراعی (درصد) Field capacity (%)
0.143	-0.060	0.493	0.280	<u>0.572</u>	کلسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) Available calcium (ppm)

بارهای عاملی با فونت پررنگ دارای بیشترین وزن و بارهای عاملی با خط زیرین، انتخاب شده برای مجموعه‌ای از حداقل داده‌ها

Bold face factor loadings were considered highly weighted and underlined were retained in MDS.

جدول ۲- ضریب همبستگی پیرسون برای مشخصه‌هایی با بار عاملی زیاد در محور اول
Table 2. Correlation coefficient (Pearson) for highly loaded parameters in PC 1

کلسیم قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم خاک) Available calcium (ppm)	زی توده میکروبی نیترژن (میلی گرم بر کیلوگرم خاک) Microbial biomass nitrogen (ppm)	آنزیم اوره‌آز (میکروگرم نیترژن بر گرم خاک در ۲ ساعت) Urease enzyme ($\mu\text{g N g}^{-1} \text{ dm.2h}^{-1}$)	آنزیم اسید فسفاتاز Acid phosphatase enzyme ($\mu\text{g nitrophenil g}^{-1} \text{ dm. h}^{-1}$)	نیترژن کل ذره‌ای (درصد) Particle total nitrogen (%)	کربن آلی ذره‌ای (درصد) Particle organic carbon (%)	نیترژن کل (درصد) Total nitrogen (%)	هدایت الکتریکی (دسی زمینس بر متر) Electrical conductivity (dsm^{-1})	منیزیم قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم خاک) Available magnesium (ppm)
1	0.443*	0.675**	0.359	0.537**	0.545**	0.518**	0.616**	0.567**
	1	0.436*	0.509**	0.616**	0.626**	0.673**	0.718**	0.655**
		1	0.498**	0.665**	0.743**	0.653**	0.642**	0.542**
			1	0.703**	0.712**	0.570**	0.483*	0.671**
				1	0.924**	0.738**	0.702**	0.541**
					1	0.743**	0.709**	0.657**
						1	0.901**	0.657**
							1	0.706**

**همبستگی معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد، *همبستگی معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد

** Correlation is significant at the 0.01 level, *Correlation is significant at the 0.05 level

جدول ۳- ضریب همبستگی پیرسون برای مشخصه‌هایی با بار عاملی زیاد در محور دوم
Table 3. Correlation coefficient (Pearson) for highly loaded parameters in PC 2

ظرفیت مزرعه Field capacity (%)	پتاسیم قابل جذب Available potassium (ppm)	فسفر قابل جذب Available phosphorus (ppm)
1	-0.470*	-0.531**
	1	0.706**
		1

**همبستگی معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد، *همبستگی معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد

** Correlation is significant at the 0.01 level, *Correlation is significant at the 0.05 level

جدول ۴- ضریب همبستگی پیرسون برای مشخصه‌هایی با بار عاملی زیاد در محور سوم
Table 4. Correlation coefficient (Pearson) for highly loaded parameters in PC 3

میانگین هندسی قطر خاکدانه Geometric Mean Diameter (mm)	آنزیم اینورزاز Invertaz enzyme ($\mu\text{g GE.g}^{-1}\text{dm.24h}^{-1}$)
1	1
	آنزیم اینورزاز (میکروگرم گلوکز بر گرم خاک در ۲۴ ساعت) Invertaz enzyme ($\mu\text{g GE.g}^{-1}\text{dm.24h}^{-1}$)
	میانگین هندسی قطر خاکدانه (میلی‌متر) Geometric Mean Diameter (mm)
	**همبستگی معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد

**Correlation is significant at the 0.01 level

زیستی خاک باید گفت که توده ون بیشترین مقدار زی توده میکروبی نیتروژن و توده کاج کمترین مقدار این مشخصه را به خود اختصاص داد. همچنین بیشترین مقدار دو آنزیم اوره‌آز و اسید فسفاتاز به ترتیب در توده ون و غیرتولیدی و کمترین مقدار آنها در کاربری کشاورزی اندازه‌گیری شد. بیشترین مقدار آنزیم اینورزاز نیز در توده راش مشاهده شد (جدول ۵).

شاخص کیفیت خاک

نتایج تحلیل شاخص‌های تجمعی و وزنی کیفیت خاک حاکی از آن بوده است که این دو نوع شاخص در بین کاربری‌های مختلف تفاوت معنی‌داری ($p < 0/05$) داشته‌اند. مقایسه میانگین این دو نوع شاخص در بین کاربری‌های مختلف نتایج متفاوتی را نشان داده است. به طوری که در شاخص تجمعی بیشترین مقدار این شاخص متعلق به توده ون و راش و کمترین مقدار آن مربوط به توده کاج سیاه و زمین کشاورزی بوده است (شکل ۱).

در مورد شاخص وزنی کیفیت خاک، توده دست‌کاشت ون به طور معنی‌داری ($p < 0/05$) بیشترین مقدار این شاخص و توده کاج سیاه و زمین کشاورزی کمترین مقدار آن به خود اختصاص داده‌اند. شایان ذکر است که در این نوع شاخص توده ون از لحاظ مقدار عددی به طور معنی‌دار و ویژه‌ای متمایز از توده راش و کاربری‌های دیگر شده است (شکل ۲).

مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک

نتایج تحلیل واریانس نشان داد که بسیاری از مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک در بین کاربری‌های مختلف دارای تفاوت معنی‌داری ($p < 0/05$) بوده است؛ اما در این بخش تنها مشخصه‌هایی که به‌عنوان اجزای مجموعه حداقل داده‌ها انتخاب شدند، تحلیل آماری شدند. مقایسه میانگین مشخصه ظرفیت زراعی در بین کاربری‌های مختلف حاکی از آن است که بیشترین مقدار این مشخصه به طور معنی‌داری در پوشش‌های جنگلی (توده راش، توده غیرتولیدی، جنگلکاری‌های ون و کاج سیاه) و کمترین مقدار آن در زمین کشاورزی اندازه‌گیری شده است. کاربری جنگل غیرتولیدی به طور معنی‌داری بیشترین چگالی ظاهری خاک را به خود اختصاص داده است. همچنین بیشترین میانگین هندسی قطر خاکدانه در توده‌های راش و ون و کمترین آن در کاربری زمین کشاورزی مشاهده شد. در زمینه مشخصه‌های شیمیایی خاک، بیشترین مقدار نیتروژن کل و کلسیم قابل جذب خاک در توده ون و کمترین مقدار آنها در توده کاج سیاه اندازه‌گیری شد. بیشترین مقدار منیزیم قابل جذب و آمونیوم خاک نیز به ترتیب در توده ون و مخروطه و کمترین مقدار آنها در زمین کشاورزی مشاهده شد. در تحقیق حاضر بیشترین مقدار فسفر قابل جذب به طور چشمگیری متعلق به کاربری کشاورزی و کمترین مقدار آن مربوط به توده غیرتولیدی بود. در مورد مشخصه‌های

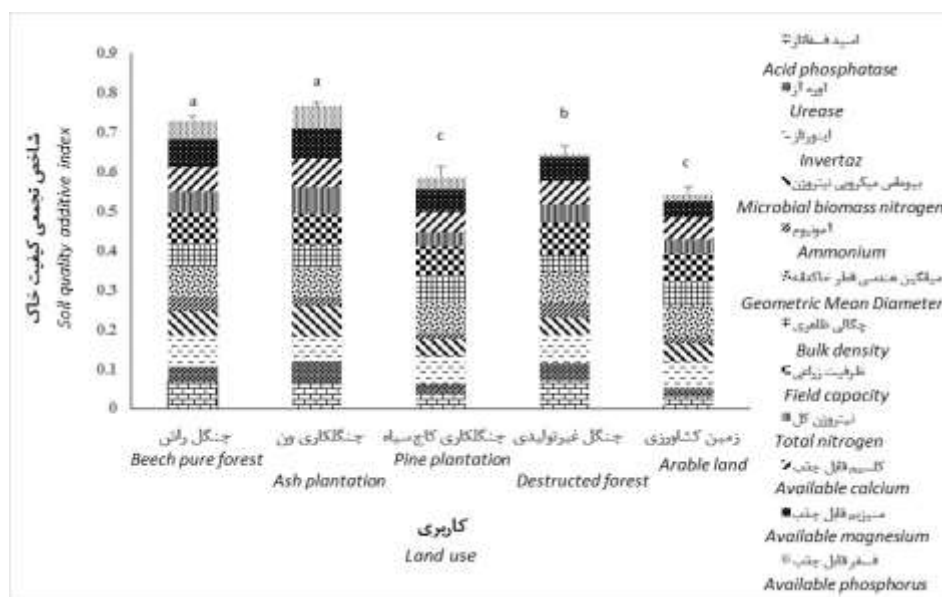
جدول ۵- مقایسه میانگین \pm اشتباه معیار مشخصه‌های مختلف خاک در بین کاربری‌های مختلف

Table 5. Means \pm Standard error of the different soil properties in different land uses

زمین کشاورزی Arable land	جنگل غیرتولیدی Destructed forest	جنگلکاری کاج سیاه Pine plantation	جنگلکاری ون Ash plantation	جنگل خالص راش Beech pure forest	مشخصه/ کاربری Character/Site
36.45 \pm 0.79 ^b	39.84 \pm 0.58 ^a	39.40 \pm 0.7 ^a	40.24 \pm 0.19 ^a	40.19 \pm 0.19 ^a	ظرفیت زراعی (درصد) Field capacity (%)
1.65 \pm 0.15 ^b	2.10 \pm 0.02 ^a	1.54 \pm 0.16 ^b	1.72 \pm 0.12 ^b	1.69 \pm 0.09 ^b	چگالی ظاهری Bulk density (gcm ⁻³)
1.68 \pm 0.01 ^{bc}	1.72 \pm 0.006 ^{ab}	1.74 \pm 0.02 ^{ab}	1.76 \pm 0.02 ^a	1.77 \pm 0.01 ^a	میانگین هندسی قطر خاکدانه Geometric Mean Diameter (mm)
364.20 \pm 25.80 ^{bc}	395.17 \pm 33.01	342.92 \pm 35.07 ^c	476.30 \pm 9.88	397.47 \pm 3.76	کلسیم قابل جذب Available calcium (ppm)
31.24 \pm 2.88 ^c	45.44 \pm 1.34 ^b	43.31 \pm 2.06 ^b	59.10 \pm 2.03 ^a	55.34 \pm 0.59 ^a	منیزیم قابل جذب Available magnesium (ppm)
62.48 \pm 10.93 ^a	3.19 \pm 0.94 ^c	13.65 \pm 4.63 ^{bc}	24.58 \pm 3.6 ^b	21.85 \pm 2.98 ^b	فسفر قابل جذب Available phosphorus (ppm)
0.16 \pm 0.01 ^c	0.21 \pm 0.02 ^{bc}	0.15 \pm 0.01 ^c	0.31 \pm 0.03 ^a	0.25 \pm 0.02 ^b	نیترژن کل (درصد) Total nitrogen (%)
0.12 \pm 0.01 ^b	0.29 \pm 0.08 ^a	0.14 \pm 0.02 ^b	0.13 \pm 0.02 ^b	0.28 \pm 0.05 ^a	آمونیم (میلی گرم بر کیلوگرم خاک) Ammonium (ppm)
40.65 \pm 3.21 ^c	42.58 \pm 3.61 ^c	37.96 \pm 3.85 ^c	69.92 \pm 1.98 ^a	55.22 \pm 3.73 ^b	زی توده میکروبی نیترژن Microbial biomass nitrogen (ppm)
333.77 \pm 10.52 ^c	771.31 \pm 32.81 ^a	372.93 \pm 4.35 ^c	696.54 \pm 28.31	734.91 \pm 13.52 ^{ab}	اسید فسفاتاز Acid phosphatase enzyme (μg nitrophenil g ⁻¹ dm. h ⁻¹)
555.07 \pm 122.57	1096.4 \pm 287.84 ^{ab}	698.50 \pm 120.12 ^{bc}	1426 \pm 11.50 ^a	977.51 \pm 75.22	اوره‌آز Urease enzyme (μg N g ⁻¹ dm.2h ⁻¹)
3291.4 \pm 76.18 ^b	3365.5 \pm 78.85 ^b	4334.9 \pm 82.53 ^b	3014 \pm 15.59 ^c	3761.5 \pm 76.13 ^a	اینورتاز Invertaz enzyme (μg GE.g ⁻¹ dm.24h ⁻¹)

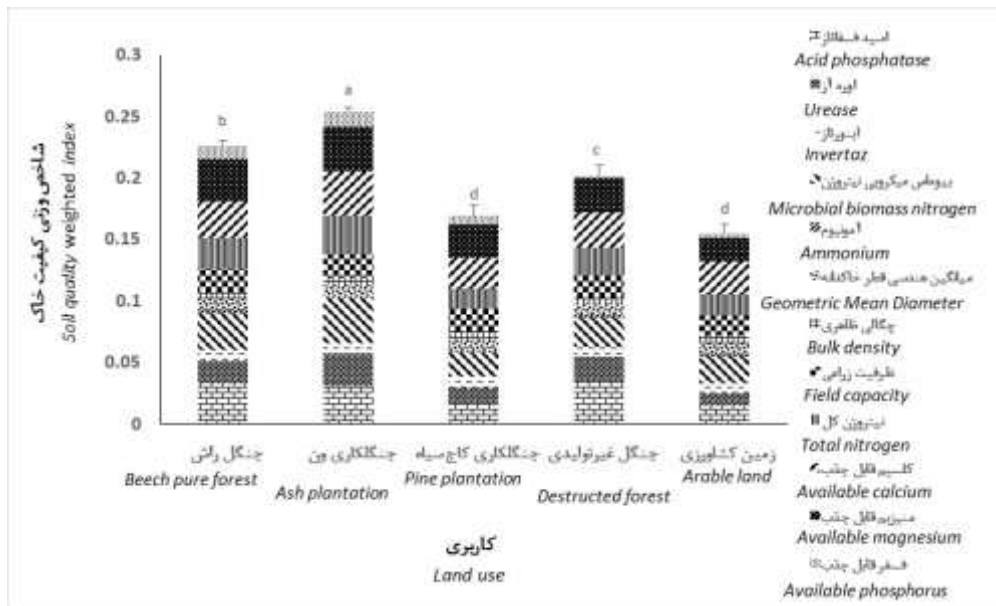
حروف متفاوت لاتین نشان دهنده اختلاف معنی دار و حروف مشابه نشان دهنده نبود اختلاف معنی دار است.

The different letters indicate significant difference and the same letters indicate non-significant difference



شکل ۱- مقایسه میانگین شاخص تجمعی کیفیت خاک در بین کاربری‌های مختلف

Figure 1. Mean comparison of the soil quality additive index in different land uses



شکل ۲- مقایسه میانگین شاخص وزنی کیفیت خاک در بین کاربری‌های مختلف
Figure 2. Mean comparison of the soil quality weighted index in different land uses

به حضور پوشش گیاهی (علفی و لایه لاشبرگی) در این عرصه‌ها نسبت داد. بقایای گیاهی اهمیت زیادی در توزیع اندازه خاکدانه‌ها دارند (Asadian et al., 2022). از دیدگاه فیزیکی، وجود بقایای گیاهی از نیروی برخورد قطره‌های باران بر سطح خاک می‌کاهد و اثرهای مخرب یخ زدن و ذوب شدن مکرر برف را تعدیل و از این طریق به ثبات خاکدانه‌ها کمک می‌کند. از دیدگاه شیمیایی، تجزیه مواد آلی و بقایای گیاهی موجب آزاد شدن پلی‌ساکاریدها، ترکیبات هومیکی و موسیلاژها می‌شود که در پیوستگی ذرات خاک به یکدیگر اثر مثبتی دارند. از دیدگاه زیستی حضور مواد آلی، فعالیت میکروب‌ها (مثل قارچ‌ها) و درشت جانداران (مثل کرم‌های خاکی) را تحریک می‌کند که نتیجه آن افزایش پایداری خاکدانه است (Mahmoodabadi & Heydarpour, 2014). در مورد کم بودن مقدار این مشخصه در کاربری زمین کشاورزی می‌توان به فقدان بقایای گیاهی در این عرصه اشاره کرد. متأسفانه در بسیاری از اراضی کشاورزی از جمله عرصه تحت بررسی، سوزاندن بقایای گیاهی بعد از برداشت محصول مرسوم است. همان‌طور که در نتایج تحقیق حاضر نیز مشاهده شده این امر اثرهای منفی بر

بحث

مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک

در پژوهش حاضر بیشترین مقدار مشخصه ظرفیت زراعی در توده‌های جنگلی اندازه‌گیری شده است. بیشتر بودن مقدار این نوع رطوبت در توده‌های جنگلی به حضور تاج‌پوشش در این عرصه‌ها مربوط است. حضور تاج‌پوشش و به‌دنبال آن لاشه‌ریزی که همانند عایق روی خاک عمل می‌کند، سبب کاهش تبخیر و تعرق و در نتیجه، افزایش نگه‌داشت رطوبت در خاک می‌شود (Wang & Qu, 2009). درباره کمتر بودن مقدار این مشخصه در زمین کشاورزی در مقایسه با کاربری‌های دیگر می‌توان به عملیات خاک‌ورزی و متعاقب آن به‌هم‌خوردگی خاک اشاره کرد که خود سبب افزایش تبخیر و کاهش رطوبت خاک می‌شود (Asghari Meidani et al., 2013). زیاد بودن مقدار چگالی ظاهری در کاربری جنگل غیرتولیدی را می‌توان به محصور نبودن این توده و در نتیجه افزایش تردد (انسان و دام) و متعاقب آن افزایش کوبیدگی و کاهش میزان خلل‌و فرج خاک نسبت داد (Twum & Annag, 2022). در این بررسی بیشتر بودن مقدار میانگین هندسی قطر خاکدانه در توده‌های راش و ون را می‌توان

تجزیه ترکیبات آلی نیتروژنه و تبدیل آنها به فرم‌های معدنی ازت (آمونیم و نترات) داشته‌اند، دلیلی دیگر بر زیاد بودن مقدار این مشخصه در خاک این توده است (Corstanje et al., 2007). دربارهٔ زیاد بودن مشخصهٔ فسفر خاک در کاربری زمین کشاورزی در مقایسه با بقیهٔ کاربری‌ها می‌توان به مصرف کودهای فسفاته توسط کشاورزان در این عرصه اشاره کرد (Passandideh et al., 2018). هنگامی که جنگل‌های طبیعی، جنگل‌زدایی شده یا به کاربری دیگری تبدیل می‌شوند، وضعیت جامعهٔ میکروبی در خاک تغییر می‌کند. در بسیاری از پژوهش‌ها، فعالیت‌های میکروبی خاک به‌عنوان نشانگرهای زیستی خاک به‌دلیل تأثیر مهم آنها در چرخهٔ مواد غذایی و حساسیت آنها به تغییرات پوشش زمین پیشنهاد داده شده است (Kooch et al., 2019). در تحقیق حاضر بیشترین مقدار مشخصهٔ زیستی زی‌تودهٔ میکروبی نیتروژن در جنگلکاری ون و کمترین مقدار آن در جنگلکاری کاج مشاهده شده است. زیاد بودن مقدار این مشخصه در تودهٔ ون و کم بودن مقدار آن در تودهٔ کاج در ارتباط با مقدار نیتروژن موجود در خاک تحت پوشش این گونه‌هاست (Shahid et al., 2017). زی‌تودهٔ میکروبی خاک به مقدار زیادی به کمیت و کیفیت لایه آلی خاک وابسته است. حضور بقایای گیاهی سبب آغاز فعالیت‌های میکروبی برای تجزیهٔ این بقایا می‌شود. افزایش بقایای گیاهی سبب می‌شود که کربن و نیتروژن بیشتری به‌عنوان پیش‌ماده در اختیار میکروب‌های خاک قرار گیرد. وقتی محتوای نیتروژن خاک افزایش یابد، میکروب‌ها مادهٔ آلی را با سرعت بیشتری تجزیه می‌کنند و بنابراین کربن بیشتری به‌عنوان سوستر در اختیار میکروب‌ها قرار می‌گیرد. سوسترهای کربنی برای تولید انرژی برای جمعیت میکروبی بسیار حائز اهمیت است (Reahi, 2009). از دیگر مشخصه‌های زیستی بررسی شده در تحقیق حاضر سه آنزیم اوره‌آز، اسید فسفاتاز و اینورتاز بوده است. در زمینهٔ زیاد بودن مقدار آنزیم اوره‌آز در جنگلکاری ون

خاک دارد و موجب تخریب فیزیکی خاکدانه می‌شود. یکی از عواقب این نوع تخریب، در پی عملیات سوزاندن، کاهش اندازهٔ خاکدانه و درصد خاکدانه‌های پایدار است (Are et al., 2009). زیاد بودن مقدار نیتروژن کل در تودهٔ جنگلکاری ون در ارتباط با مقدار مواد آلی غنی از نیتروژن است که به‌واسطهٔ لاشه‌ریزی به خاک این توده اضافه می‌شود. مواد آلی که سبب افزایش محتوای مواد مغذی خاک می‌شود، از جمعیت میکروارگانیزم‌های غنی‌کنندهٔ نیتروژن خاک حمایت می‌کند و در نتیجه سبب افزایش مقدار این مشخصه در خاک این عرصه می‌شود (Ma et al., 2021). کم بودن نیتروژن کل در جنگلکاری کاج را می‌توان به کیفیت لاشبرگ و همچنین اسیدی بودن خاک این توده که در مجموع سبب کند شدن سرعت تجزیهٔ لاشبرگ این گونه می‌شود نسبت داد (Ren et al., 2018). کلسیم و منیزیم قابل جذب خاک در جنگلکاری ون در مقایسه با بقیهٔ کاربری‌ها از بیشترین مقدار خود برخوردار بوده‌اند. زیاد بودن این عناصر در خاک زیر تاج‌پوشش ون به‌دلیل تجزیهٔ سریع لاشبرگ آن است. بدین صورت که در نتیجهٔ تجزیهٔ سریع لاشبرگ غلظت کاتیون‌های بازی واردشده به خاک افزایش می‌یابد (Blesh & Ying., 2020). بیشترین مقدار آمونیم خاک در جنگل غیرتولیدی اندازه‌گیری شده است. غلظت زیاد آمونیم در این کاربری را می‌توان به زیاد بودن مقدار معدنی شدن نیتروژن در خاک این نوع تودهٔ جنگلی نسبت داد (Asadian et al., 2012). معدنی شدن ازت فرایندی است که به‌واسطهٔ حضور و فعالیت میکروارگانیزم‌ها، تحت تأثیر عواملی چون درجهٔ حرارت، رطوبت خاک و منابع موقت نیتروژن در خاک اتفاق می‌افتد (Rutigliano et al., 2007). مجموعه این عوامل (درجهٔ حرارت به‌دلیل باز بودن تاج‌پوشش، حضور دام و به‌دنبال آن وجود فضولات دامی به‌عنوان منبع غنی از ترکیبات نیتروژنه) در جنگل غیرتولیدی به‌خوبی مهیا بوده است. همچنین زیاد بودن مقدار آنزیم‌های مختلف در خاک این توده که خود اثر اساسی در تسریع روند

که در تحقیق خود نقش بقایای گیاهی را در افزایش ثبات و استقرار جامعه میکروبی و بهبود فعالیت‌های آنزیمی خاک مانند آنزیم‌های اوره آز و فسفاتاز تأیید کرده‌اند همخوانی دارد. همچنین در مورد کم بودن مقدار آنزیم فسفاتاز در زمین کشاورزی می‌توان به زیاد بودن مقدار فسفر قابل جذب به‌واسطه مصرف زیاد کود فسفره اشاره کرد. در واقع کاهش ترشحات ریشه‌ای به‌واسطه مصرف زیاد این نوع کود در زمین‌های کشاورزی دلیلی دیگر بر کاهش فعالیت فسفاتازها است (Gunjal et al., 2019). بیشترین مقدار آنزیم اینورتاز در پژوهش حاضر در توده جنگل راش مشاهده شده است. اینورتاز به‌عنوان شاخصی کارآمد از کیفیت خاک، بسته به نوع کاربری تغییر می‌کند. این آنزیم مسئول آزادسازی کربن لازم برای رشد و افزایش میکروارگانیسم‌های خاک و آنزیم‌های تولیدشده توسط آنهاست (Antonious, 2018). به نقل از پژوهش انجام‌گرفته در زمینه بررسی فعالیت آنزیم‌های مختلف و به‌طور خاص آنزیم اینورتاز در توده‌های جنگلی، توده طبیعی راش به‌عنوان تقویت‌کننده مشخصه‌های مربوط به منابع کربن خاک، اثر بسزایی در چرخه کربن و به‌دنبال آن جمعیت میکروارگانیسم‌های خاک و در نهایت افزایش سطح فعالیت این آنزیم در خاک دارد (Kooch et al., 2019). در تحقیق حاضر درباره اثر توده‌های مورد بررسی در تولید و ترشح آنزیم‌ها به‌طور کلی می‌توان گفت که توده جنگلکاری ون به‌سبب محتوای زیاد نیتروژن خاک، بیشترین مقدار آنزیم اوره‌آز، توده غیرتولیدی انجیلی - ممرز به‌دلیل حاکم بودن شرایط کمبود فسفر در خاک این توده، بیشترین مقدار آنزیم اسید فسفاتاز و توده خالص راش به‌واسطه اثر بسزای آن در تقویت منابع کربن در خاک بیشترین مقدار آنزیم اینورتاز را به خود اختصاص داده‌اند.

شاخص کیفیت خاک

در پژوهش حاضر بیشترین مقدار شاخص کیفیت تجمع‌ی خاک در جنگلکاری ون و توده راش و

می‌توان به غنی بودن این توده از نیتروژن در لایه آلی و معدنی خاک تحت پوشش آن اشاره کرد. در بسیاری از پژوهش‌ها میان فعالیت آنزیم اوره‌آز و نیتروژن کل خاک رابطه مثبت معنی‌داری گزارش شده است (Jia et al., 2020). وجود مقادیر زیاد نیتروژن و فسفر در خاک موجب فراهم شدن امکان فعالیت میکروب‌ها و همچنین سبب جذب مولکول‌های آنزیم بر روی سطح کلونید شده و ادامه فعالیت مولکول‌های آنزیم، به‌ویژه اوره‌آز به‌صورت برون‌سلولی می‌شود و افزون بر آن فعالیت‌های آنزیمی را نیز افزایش می‌دهد (Martinez-Sagado et al., 2010). در بررسی حاضر توده جنگل غیرتولیدی بیشترین مقدار آنزیم اسید فسفاتاز را به خود اختصاص داده است. در رابطه با زیاد بودن مقدار فعالیت این آنزیم در توده غیرتولیدی می‌توان به کم بودن مقدار فسفر قابل جذب خاک در این کاربری اشاره کرد. فسفاتازها آنزیم‌های القایی هستند که اغلب در شرایط کمبود فسفر معدنی قابل دسترس تولید می‌شوند. بدین ترتیب که در خاک با شرایط کمبود فسفر، میکروارگانیسم‌ها برای افزایش محلول و متحرک شدن فسفات، ترشح آنزیم فسفاتاز را افزایش می‌دهند. در واقع تقاضا برای فسفر قابل دسترس توسط گیاهان و میکروارگانیسم‌ها به تولید و فعالیت این آنزیم در خاک منجر می‌شود (Nourmandipour et al., 2020). نتایج این تحقیق با یافته‌های (Sheikhloo & Sadaghiani, 2016) همخوانی دارد. آنها افزایش فعالیت آنزیم فسفاتاز در کاربری جنگلی با میانگین فسفر کم را گزارش کرده‌اند. کمترین مقدار آنزیم‌های اوره‌آز و اسید فسفاتاز در کاربری زمین کشاورزی اندازه‌گیری شده است. از جمله دلایل احتمالی کم بودن مقدار این آنزیم‌ها در خاک این کاربری، عملیات شدید خاک‌ورزی و حفظ نشدن بقایای گیاهی (سوزاندن بقایای محصولات کشاورزی) در سطح این نوع اراضی است. حفظ بقایا و افزایش مواد آلی خاک عامل مهمی در فعالیت و تکثیر فون خاک است (Mirzavand et al., 2020). این نتیجه با یافته‌های (Zheng et al., 2018)

سوزنی‌برگ اشاره شده است (Inagaki et al., 2004). کندی سرعت تجزیه لاشبرگ گونه سوزنی‌برگی مانند کاج سیاه و متعاقب آن تأخیر در ورودی مواد مغذی به خاک تحت پوشش این گونه و همچنین تخلیه خاک از حداقل عناصر غذایی موجود در خاک به‌واسطه تندرشد بودن این گونه از عواملی‌اند که می‌توان آنها را عوامل مؤثر در کاهش حاصلخیزی و در نهایت کاهش کیفیت خاک در این نوع توده جنگلکاری شده یاد کرد (Asadian et al., 2013). در پژوهش حاضر کاربری زمین زراعی دارای کمترین کیفیت خاک بوده است. تغییر کاربری زمین از جنگل به زمین زراعی و به‌دنبال آن عملیات خاک‌ورزی نامناسب و اجرای شیوه‌های مدیریت سنتی و ناکارآمد در این زمین‌ها، تأثیر مستقیم بر مشخصه‌های مختلف کیفیت خاک (از جمله ذخایر کربن و نیتروژن، زی‌توده میکروبی) دارد و در مجموع سبب خسارت و کاهش استعداد بالقوه خاک در باروری زمین می‌شود (Kibebew et al., 2014). در این گونه زمین‌ها کاهش کیفیت خاک از مهم‌ترین عوامل کاهش تولید در واحد سطح است.

نتیجه‌گیری

ارزیابی کیفیت خاک باید اطلاعاتی درباره مدیریت و تصمیم‌گیری ارائه کند. در این زمینه شاخص کیفیت خاک معیار ارزیابی در نظر گرفته می‌شود. نتایج این پژوهش نشان داد که شاخص کیفیت خاک (به‌عنوان برابند مشخصه‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک) در بوم‌سازگان مختلف تحت تأثیر تغییر کاربری زمین قرار می‌گیرد. در مجموع می‌توان گفت کیفیت خوب خاک در توده جنگلکاری و نشان‌دهنده موفقیت احیای عرصه‌های غیرتولیدی جنگلی با استفاده از این گونه در این منطقه است. به‌طوری که می‌توان این گونه را برای جنگلکاری در مناطقی با شرایط اقلیمی مشابه با منطقه پژوهش پیشنهاد داد. همچنین ضعیف بودن کیفیت

کمترین مقدار آن در جنگلکاری کاج و زمین کشاورزی مشاهده شده است. درحالی که در مورد شاخص وزنی، بیشترین مقدار این شاخص همان‌طور که در نتایج به آن اشاره شده، به‌طور متمایزی متعلق به توده ون بوده است. درباره نتایج حاصل از این شاخص‌ها، ذکر این نکته ضروری است که در شاخص وزنی به‌دلیل تأثیرگذاری درصد واریانس محورهای اصلی (به‌صورت وزن اختصاص داده‌شده به هر متغیر از خاک) در محاسبه نهایی شاخص کیفیت خاک، مقادیر محاسبه‌شده برای این شاخص و در نهایت تفکیک کاربری‌های مختلف از یکدیگر براساس نتایج مستخرج از این شاخص به واقعیت نزدیک‌تر و ملموس‌تر است (به‌واسطه اعمال سهم هر کدام از متغیرهای خاک در تعیین و ایجاد تغییرات در شاخص کیفیت خاک آن هم تحت تأثیر تغییر کاربری زمین). از آنجا که کیفیت خاک به‌طور مستقیم قابل اندازه‌گیری نیست و با استفاده از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک قابل برداشت است، بحث در مورد مقایسه مقادیر مختلف این شاخص در کاربری‌های مورد بررسی باید با توجه به وضعیت مشخصه‌های مختلف خاک در این کاربری‌ها صورت گیرد. در تحقیق حاضر زیاد بودن مقدار کیفیت خاک در جنگلکاری ون را می‌توان به مطلوب بودن شرایط خاک از نظر مشخصه‌های مختلف خاک چون بیشترین مقدار ظرفیت زراعی، کمترین مقدار چگالی ظاهری، بیشترین مقدار شاخص پایداری خاکدانه، بیشترین مقدار کلسیم و منیزیم قابل جذب، نیتروژن، آمونیوم، زی‌توده میکروبی نیتروژن و آنزیم اوره‌آز نسبت داد. در واقع گونه ون به‌دلیل کیفیت لاشبرگ (غنی بودن از نیتروژن و مواد مغذی) و به‌دنبال آن فراهم نمودن شرایط مناسب برای فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک (Huang et al., 2021)، سبب احیای ظرفیت خاک و در نهایت افزایش کیفیت خاک در این توده می‌شود. در پژوهش‌های بسیاری به ضعیف بودن کیفیت خاک در جنگلکاری‌های

خاک‌ورزی و همچنین ورود درختان (ترجیحاً مثمر) به عرصه‌های کشاورزی به صورت کشت تلفیقی، بهبود بخشید و بدین ترتیب از تلفات و تخریب خاک جلوگیری کرد.

سپاسگزاری

نگارندگان مقاله نهایت تشکر خود را از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به دلیل حمایت مالی از پژوهش و آقایان دکتر رضا لطفی کارشناس اداره کل منابع طبیعی ساری، مهندس حسین شهردمی و مهندس احسان نجفی کارشناسان شرکت چوب و کاغذ مازندران (ساری) بابت همکاری و زحمات ارزنده در مراحل نمونه‌برداری از عرصه، ابراز می‌دارند و برای ایشان آرزوی توفیق دارند.

خاک در توده جنگلکاری شده کاج سیاه بیانگر نبود تصمیم‌گیری درست، اصولی و علمی در انتخاب گونه سوزنی‌برگ برای جنگلکاری در منطقه مورد بررسی آن هم به صورت تک‌کشتی است. به طوری که با توجه به نتایج این تحقیق، احیای جنگل‌های غیرتولیدی با استفاده از گونه سوزنی‌برگ (با وجود ایجاد پوشش در عرصه) سبب تسریع سیر قهقرایی خصوصیات خاک خواهد شد (مشابه آنچه در زمین کشاورزی رخ داده است) و در نتیجه به درجا زدن یا عقب راندن روند طبیعی توالی بوم‌سازگان خواهد انجامید و در درازمدت آثار نامطلوبی بر جای خواهد گذاشت. کیفیت نامطلوب خاک در زمین‌های کشاورزی را می‌توان با اعمال شیوه‌های درست مدیریتی مانند حفظ ماده آلی در خاک نواحی تحت کشت از طریق افزودن مستمر بقایای آلی به خاک، انجام حداقل

References

- Ali Asgharzade, N. (2010). Laboratory methods in soil biology. Tabriz: Tabriz university press. (In Persian)
- Alef, K., & Nannipieri, P. (1995). Methods in applied soil microbiology and biochemistry. London: Academic Press.
- Antonious, G.F. (2018). Biochar and Animal Manure Impact on Soil, Crop Yield and Quality. *Agricultural Waste and Residues. IntechOpen*, 45-67. <https://doi.org/10.5772/intechopen.77008>
- Are, K.S., Oluwatosin, G.A., Adeola, O., & Ke, A.O. (2009). Slash and burn effect on soil quality of an Alfisol: soil physical properties. *Soil and Tillage Research*, 103, 4-10. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2008.08.011>
- Arévalo-Gardini, E., Canto, M., Alegre, J., Loli, O., Julca, A., & Baligar, V. (2015). Changes in Soil Physical and Chemical Properties in Long Term Improved Natural and Traditional Agroforestry Management Systems of Cacao Genotypes in Peruvian Amazon. *PLoS ONE*, 10(7), e0132147. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0132147>
- Asadian, M., Hojjati, S.M., Pourmajidian, M.R., & Fallah, A. (2012). Impact of Land-use management on nitrogen transformation in a mountain forest ecosystem in the north of Iran. *Journal of forestry Research*, 24(1), 115-119. <http://dx.doi.org/10.1007/s11676-012-0291-z>
- Asadian, M., Hojjati, S.M., Pormajidian, M.R., & Fallah, A. (2013). Biodiversity and soil properties in Pine (*Pinus nigra* Arnold.) and Ash (*Fraxinus excelsior* L.) plantations (Case study: Alandan Forest, Sari). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 20(2), 299-312. <https://doi.org/10.22092/ijfpr.2012.107281> (In Persian)
- Asadian, M., Hojjati, S.M., Mohammadzadeh, M., & Nadi, M. (2022). The changes of soil carbon, nitrogen and aggregate stability affected by different land uses. *Journal of Forest Research and Development*, 8(2), 133-146. <https://doi.org/10.30466/jfrd.2021.53919.1577> (In Persian)

- Asghari Meidani, J., Karimi, E., & Pormohammad, A. (2013). Effects of Different Tillage and Cultivation Practices on Soil Moisture and Safflower Yield in Rotation with Wheat in Rainfed Regions. *Water and Soil Science*, 23(1), 237-245. (In Persian)
- Blesh, J., & Ying, T. (2020). Soil fertility status controls the decomposition of litter mixture residues. *Ecosphere*, 11(8), 1-20. <https://doi.org/10.1002/ecs2.3237>
- Corstanje, R., Schulin, R., & Lark, R.M. (2007). Scale-dependent relationships between Soil organic carbon and urease activity. *European Journal of Soil Science*, 58, 1087-1095. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2007.00902.x>
- Dorich, R.A., & Nelson, D.W. (1983). Direct Colorimetric Measurement of Ammonium in Potassium Chloride Extracts of Soils. *Soil Science Society of America Journal*, 47(4), 833-836. <https://doi.org/10.2136/sssaj1983.03615995004700040042x>
- Emily, E., Marriott, M., & Wander, M. (2006). Total and Labile Soil Organic Matter in Organic and Conventional Farming Systems - Marriott. *Soil Science Society of America Journal*, 70(3), 950-959. <https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0241>
- Forest and Rangeland Organization (2004). Booklet of Tajan Forestry Plan-6 Alandan District. Forest and Rangeland Organization of Sari. (In Persian)
- Gorji, M., Kakeh, J., & Alimohammadi, A. (2017). Quantitative soil quality assessment in different land uses at parts of south eastern Qazvin. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 47(4), 775-784. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2016.59984> (In Persian)
- Gunjal, A.B., Waghmode, M.S., Patil, N.N., & Nawani, N.N. (2019). Significance of soil enzymes in Agriculture. (pp. 159-168). Pune: *Smart Bioremediation Technologies*.
- Huang, J., Liu, W., Yang, S., Yang, L., Peng, Z., Deng, M., Xu, S., Zhang, B., Ahirwal, J., & Liu, L. (2021). Plant carbon inputs through shoot, root, and mycorrhizal pathways affect soil organic carbon turnover differently. *Soil Biology and Biochemistry*, 160, 108322. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108322>
- Inagaki, Y., Miura, S., & Kohzo, A. (2004). Effects of forest type and stand age a litter fall Quality and soil N dynamics in Shikoka district, southern Japan. *Forest ecology and Management*, 202, 107-117.
- Jafari-Haghigh, M. (2003). Methods of Soil Analysis. Mashhad: Nedaye Zoha press. (In Persian)
- Jia, X., Zhong, Y., Liu, J., Zhu, G., Shanguan, Z., & Yan, Weiming. (2020). Effects of nitrogen enrichment on soil microbial characteristics: From biomass to enzyme activities. *Geoderma*, 366, 114256. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114256>
- Kalhor, S.K., Xu, X., Chen, W., Hua, R., Raza, S., & Ding, K. (2017). Effects of Different Land-Use Systems on Soil Aggregates (A Case Study of the Loess Plateau, Northern China). *Sustainability*, 9(1349), 105-123. <https://doi.org/10.3390/su9081349>
- Khatirpasha, N., Hojjati, S.M., Pourmajidiyan, M.R., & Asadiyan, M. (2018). Impact of land use change on physical, chemical and biological soil properties in the Qalek forest-Ghaemshahr city. *Journal of Water and Soil Conservation*, 24(6), 211-225. <https://doi.org/10.22069/jwsc.2018.12068.2685> (In Persian)
- Kibebew, K. (2014). Report on Characterization of agricultural soils in Cascape Intervention woredas in Eastern Region of Ethiopia. (Pp- 1–234). Haramaya University.
- Kooch, Y., Moghimian, N., & Kolb, Steffen. (2019). Microbial hotspot areas of C and N cycles in old-growth Hyrcanian forests top soils. *Forest Ecology and Management*, 446, 93-104. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.05.022>

- Ma, Q., Watanabe, T., Zheng, J., & Funakawa, S. (2021). Interactive effects of crop residue quality and nitrogen fertilization on soil organic carbon priming in agricultural Soils. *Journal. Soil Sediment*, 21, 83–95. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11368-020-02797-8>
- Mahmoodabadi, M., & Heydarpour, E. (2014). Sequestration of organic carbon influenced by the application of straw residue and farmyard manure in two different soils. *International Agrophysics*, 28(2), 169 - 176. (In Persian)
- Manpoong, C., & Tripathi, S.K. (2019). Soil Properties under Different Land Use Systems of Mizoram, North East India. *Journal of Applied and Natural Science*, 11(1), 121-125. <http://dx.doi.org/10.31018/jans.v11i1.1999>
- Martinez-Salgado, M.M., Gutiérrez-Romero, V., Janssens, M., & Ortega-Blu, R. (2010). Biological soil quality indicators: a review. p. 319-328. In: Mendez-Vilas, A. (ed.) Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology. Formatex Research Center.
- Mirzavand, J., & Asadi Rahmani, H. (2020). Effect of Different Tillage Practices on Phosphatase and Urease Activities in a Calcareous Soil. *Journal of Soil biology*, 8(1), 15-25. <https://doi.org/10.22092/sbj.2020.121869> (In Persian)
- Moffat, A.J. (2005). Indicators of soil quality for UK forestry. *Forestry*, 76, 1–22.
- Nourmandipour, F., Amir Delavari, M., Lal, P., & Joseph, S. (2020). Influence of Rice Husk Biomass and Its Biochar on Some Enzymatic Activities in a Calcareous Sandy Soil. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(7), 1841-1855. <https://dx.doi.org/10.22059/ijswr.2020.295313.668458> (In Persian)
- Passandideh, M., Malakouti, M.J., MohammadIsmail, Z., & Shahbazi, K. (2018). Investigating Soil Phosphorous in Agricultural Lands of ParsAbad-e- Moghan. *Iranian Journal of Soil Research*, 32(3), 361-373. <https://doi.org/10.22092/ijsr.2018.117825> (In Persian)
- Stivastava, R., Mohapatra, M., & Latore, A. (2020). Impact of Land Use Changes on Soil Quality and Species Diversity in the Vindhyan Dry Tropical Region of India. *Journal of Tropical Ecology*, 36(2), 72–79. <https://doi.org/10.1017/S0266467419000385>
- Ray, S.K., Bhattacharyya, T., Reddy, K.R., Pal, D.K., Chandran, P., Tiwary, P., & Mandal, D.K. (2014). Soil and Land Quality Indicators of the Indo-Gangetic Plains of India. *Current Science*, 107(9), 1470–86.
- Reahi, M. (2009). Effects of microbial activity and soil enzymes on some reference rangelands of Chaharmahal va Bakhtiari province. MSc thesis. Shahrekord University. (In Persian)
- Ren, H.Y., Qin, J., Yan, B.L., Alata, B., & Han, G.D. (2018). Mass loss and nutrient dynamics during litter decomposition in response to warming and nitrogen addition in a desert steppe. *Front. Agric. Sci. Eng*, 5, 64–70. <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2017194>
- Rutigliano, F.A., Marco, A. De., D Ascoli, R., Castaldi, S., Gentile, A., & Virzo De Santo, A. (2007). Impact of fire on fungal abundance and microbial efficiency in C assimilation and mineralization in a Mediterranean maquis soil. *Biol Fertil Soils*, 44, 377–381. <http://dx.doi.org/10.1007/s00374-007-0214-x>
- Saxton, k.e., & Rawls, W.J. (2006). Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions. *Soil Science Society of America Journal*, 70, 1569-1578. <https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0117>
- Shahid, M., Nayak, A.K., Puree, C., Tripathi, R., Lal, B., Gautam, P., Bhattacharyya, P., Mohanty, S., Kumar, A., Panda, B.B., Kumar, U., & Shukla, A.K. (2017). Carbon and nitrogen fractions and stocks under 41 years of chemical and organic fertilization in a sub-humid tropical rice soil. *Soil & Tillage Research*, 170, 136–146. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2017.03.008>

- Sheikhloo, F., & Sadaghiani, M. (2016). Effects of Different Agronomic and Forest Land Uses on Soil Enzyme Activity. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 47(1), 205-216. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2016.57992> (In Persian)
- Tian, Y., Xu, Z., Wang, J., & Wang, Z. (2022). Evaluation of Soil Quality for Different Types of Land Use Based on Minimum Dataset in the Typical Desert Steppe in Ningxia, China. *Journal of Advanced Transportation*, 2022, 1-14. <https://doi.org/10.1155/2022/7506189>
- Twum, E.K.A., & Annang, S.N. (2022). Impact of Soil Compaction on Bulk Density and Root Biomass of *Quercus Petraea* L. at Reclaimed Post-Lignite Mining Site in Lusatia, Germany. *Applied and Environmental Soil Science*, 2015, 1-5. <https://doi.org/10.1155/2015/504603>
- Vasu, D., Surendra, K.S., Sanjay, K.R., Perumal, D., Pramod, T., Padikkal, C., Anant, M., & Shyam G.A. (2016). Soil Quality Index (SQI) as a Tool to Evaluate Crop Productivity in Semi-Arid Deccan Plateau, India. *Geoderma*, 282, 70–79. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.07.010>
- Wang, L., & Qu, J. (2009). Satellite remote sensing applications for surface soil moisture monitoring. *Earth Science*, 3, 237-247.
- Zheng, W., Zhao, Z., Gong, Q., Zhai, B., & Li, Z. (2018). Responses of fungal–bacterial Community and network to organic inputs vary among different spatial habitats in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 125, 54-63. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.06.029>



Research Article

Evaluating the response of ecosystems to land-use change using soil quality index- Alandan forest Sari

M. Asadian¹, S.M. Hojjati^{2*}, M. Mohammadzadeh³, and M. Nadi⁴

¹ Ph.D in Forest Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, I. R. Iran

² Prof., Dept. of Forest Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, I. R. Iran

³ Prof., Dept. of Applied Statistics, Faculty of Mathematical Science, Tehran University of Tarbiat Modares, I. R. Iran

⁴ Assistant Prof., Dept. of water engineering, Faculty of Agricultural engineering, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, I. R. Iran

Abstract

This study investigated the influence of land-use change on soil quality in the Alandan area of Sari, with five different types of land-uses, namely pure beech stand and destructed forest stand, ash plantation, pine plantation, and arable land. Soil samples were taken from a soil depth of 0-10cm, using six plots (20×20m) in each site, which were selected by random systematic sampling network (50×100 m). The different physical, chemical, and biological characteristics of soil were measured in the laboratory. To calculate the soil quality index, characteristics such as field capacity, bulk density, geometric mean diameter, calcium, magnesium, and phosphorus availability, total nitrogen, ammonium, nitrogen microbial biomass and urease, acid phosphatase, and invertase enzyme were selected as the minimum data set by principal component analysis. In this study, additive and weighted indices were used to evaluate soil quality. The results showed that the higher amount of both additive and weighted index of soil quality were observed in ash plantation (0.76, 0.25), and their lowest amount was found in pine plantation (0.58, 0.16) and arable land (0.54, 0.15), respectively. It should be noted that the weighted index of soil quality in ash plantations was significantly higher than in different pine plantations and arable land. Also, the results of this study confirm that rehabilitation of degraded forests using coniferous species, which has led to a decrease in soil quality, such as soil condition in agricultural land, is not recommended.

Keywords: Plantation, Forest soil, Additive index, weighted index, Minimum data set.