Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Soil Management and Sustainable Production

Print ISSN: 2322-1267
Online ISSN: 2322-1275

Soil Science Society of Iran

(OPEN ACCESS)

The effect of different land uses with forest and pasture backgrounds on soil biological indices in eastern Mazandaran

Yahya Kooch[*1], Nahid Jafarian[2], Katayoun Haghverdi [3,4]

1. Corresponding Author, Professor, Dept. of Range Management, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran. E-mail: yahya.kooch@modares.ac.ir
2. Researcher, Forests, Rangelands and Watershed Research Division, Ilam Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Ilam, Iran. E-mail: n.jafarian@areeo.ac.ir
3. Assistant Prof., Dept. of Wood and Paper Science and Technology, Ka.C., Islamic Azad University, Karaj, Iran. E-mail: katayoun.haghverdi@iau.ac.ir
4. Assistant Prof., Dept. Food Safety and Food Security Research Center, Ka.C., Islamic Azad University, Karaj, Iran. E-mail: katayoun.haghverdi@iau.ac.ir

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 04.07.2025
Revised: 10.17.2025
Accepted: 10.20.2025

Keywords:
Enzyme activity,
Land use change,
Litter,
Soil fertility,
Soil microorganisms

ABSTRACT

Background and Objectives: Biological indicators, including enzyme activity, microbial diversity, and organic carbon, play a key role in the health and functioning of soil ecosystems. Land-use changes can significantly affect soil structure, biological indicators, and quality. Therefore, the present study aimed to investigate the effects of different land uses with forest and pasture backgrounds on soil biological indicators in eastern Mazandaran.

Materials and Methods: The different characteristics were studied for the litter (nitrogen, carbon, and carbon-to-nitrogen ratio) and physical, chemical, and biological characteristics of soil covered with different land uses (forest with a predominance of Quercus castaneifolia, garden use with a background of forest, garden use with a background of pasture, agriculture with a background of forest, and agriculture with a background of pasture). For this purpose, in each of the Uses studied, 3 sample plots of one hectare were selected with at least 600 meters distance, and in each sample plot, 5 samples of litter and soil were collected, and a total of 15 samples of litter and 15 samples of soil were collected from each Use.

Results: The results showed significant effects of different land uses on most physical, chemical, and biological properties of soil and litter characteristics; therefore, the highest carbon and nitrogen in litter were found in forest land use with a predominance of *Quercus castaneifolia*. The highest characteristics of porosity, soil stability, clay, moisture content, pH, Ec, carbon and organic matter, storage of carbon and nitrogen, nitrogen, potassium, calcium, magnesium, mineralization of nitrogen, ammonium, nitrate, particulate organic C and N, dissolved organic C and N, activity of enzymes (Urease, invertase, arylsulfatase, and acid phosphatase), soil organisms (Fungi, bacteria, Acarina, nematodes, Collembola, earthworms and protozoa), basic respiration, microbial biomass of carbon and nitrogen, microbial contribution, urease to organic

carbon ratio, acid phosphatase to organic carbon ratio, and microbial biomass nitrogen to total nitrogen ratio were observed in the forest land use. The results of principal component analysis (PCA) showed a clear pattern of separation between different land uses. Habitats with high soil fertility, nutrient accumulation, and biological activity were associated with forest land use. Meanwhile, agriculture with a background of forest and pasture was associated with apparent specific gravity and soil temperature, and had lower quality and nutrients**.**

Conclusion: The results of this study indicate that land-use changes from forest to pasture and agriculture cause a significant decline in soil quality and health, negatively affecting soil biological indicators, including microbial diversity, enzyme activity, and organic carbon storage. These findings underscore the importance of maintaining forest cover as a vital component of a sustainable ecosystem. Therefore, conservation programs for these natural areas should receive greater attention than before.

Cite this article: Kooch, Yahya, Jafarian, Nahid, Haghverdi, Katayoun. 2026. The effect of different land uses with forest and pasture backgrounds on soil biological indices in eastern Mazandaran. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 16 (2), 1-31.



© The Author(s).
DOI: 10.22069/ejsms.2026.23503.2188
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
شاپا چاپی: ۱۲۶۷-۲۳۲۲
شاپا آنلاین: ۱۲۷۵-۲۳۲۲
انجمن علوم خاک ایران

اثر کاربری‌های مختلف اراضی با سوابق جنگلی و مرتعی بر شاخص‌های زیستی خاک شرق مازندران

یحیی کوچ*[۱]، ناهید جعفریان[۲]، کتایون حق‌وردی[۳و۴]

۱. نویسنده مسئول، استاد گروه مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران. رایانامه: yahya.kooch@modares.ac.ir
۲. محقق بخش تحقیقات جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان ایلام، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایلام، ایران. رایانامه: n.jafarian@areeo.ac.ir
۳. استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران katayoun.haghverdi@iau.ac.ir
۴-استادیار گروه مرکز تحقیقات ایمنی غذا و امنیت غذایی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران.
رایانامه: katayoun.haghverdi@iau.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۱۸
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۸

واژه‌های کلیدی:
تغییر کاربری،
حاصلخیزی خاک،
فعالیت آنزیم،
میکروارگانیسم خاک،
لاشبرگ

چکیده

سابقه و هدف: شاخص‌های زیستی، از جمله فعالیت آنزیمی، تنوع میکروبی و کربن آلی، نقش کلیدی در سلامت و عملکرد اکوسیستم‌های خاکی ایفا می‌کنند. تغییرات کاربری اراضی می‌توانند تأثیرات قابل‌توجهی بر شاخص‌های زیستی و کیفیت خاک داشته باشند. بنابراین مطالعه حاضر با هدف اثر کاربری‌های مختلف اراضی با سوابق جنگلی و مرتعی بر شاخص‌های زیستی خاک شرق مازندران انجام گرفته است.

مواد و روش‌ها: ویژگی‌های مختلف لاشبرگ (نیتروژن، کربن و نسبت کربن به نیتروژن)، ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک تحت کاربری‌های مختلف (جنگل با غالبیت بلند مازو، باغ با سابقه جنگل، باغ با سابقه مرتع، زراعت با سابقه جنگل و زراعت با سابقه مرتع) مطالعه شد. بدین‌منظور در هر کاربری سه قطعه منتخب یک هکتاری با فواصل حداقل ۶۰۰ متر انتخاب و در هر قطعه منتخب، پنج نمونه و در مجموع از هر یک از کاربری‌ها، ۱۵ نمونه لاشبرگ و ۱۵ نمونه خاک برداشت و مورد آزمایش قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج حاکی از اثرات معنی‌دار کاربری‌های مختلف بر اکثر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک و ویژگی‌های لاشبرگ بود، به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان کربن و نیتروژن لاشبرگ به کاربری جنگل با غالبیت بلندمازو و کاربری باغی با سابقه جنگل تعلق داشت. بیش‌ترین مقادیر ویژگی‌های تخلخل، پایداری خاکدانه، رس، محتوای رطوبت، واکنش خاک، هدایت الکتریکی، کربن و ماده آلی، ذخیره کربن و نیتروژن، نیتروژن، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، معدنی شدن نیتروژن، آمونیوم، نیترات، کربن و نیتروژن ذره‌ای و آلی محلول، فعالیت‌های آنزیم

(اوره‌آز، اینورتاز، آریل سولفاتاز و فسفاتازاسیدی)، جمعیت میکروارگانیسم‌های خاک (قارچ، باکتری، کنه، نماتد، پادمان، کرم خاکی و پروتوزوئر)، زیست‌توده ریز ریشه، تنفس پایه، کربن و نیتروژن زیتوده میکروبی، سهم میکروبی، نسبت اوره‌آز به کربن آلی، نسبت اسید فسفاتاز به کربن آلی و نسبت نیتروژن زیست‌توده میکروبی به نیتروژن کل در کاربری جنگل مشاهده شد. نتایج تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) الگوی تفکیک واضحی بین کاربری‌ها مختلف را نشان داد. به‌طوری‌که رویشگاه‌هایی با حاصلخیزی خاک، تجمع عناصر غذایی و فعالیت زیستی بالا متعلق به کاربری جنگل بود. این درحالیست که اراضی زراعی با سابقه جنگلی و مرتعی با جرم مخصوص ظاهری و دمای خاک در ارتباط بودند و از کیفیت و عناصر غذایی کم‌تری برخوردار بودند.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش حاکی از آنست که تغییر کاربری از جنگل به مرتع و زراعت سبب کاهش معنادار کیفیت و سلامت خاک می‌شود، به‌طوری‌که شاخص‌های زیستی خاک مانند تنوع میکروبی، فعالیت آنزیمی و ذخیره کربن آلی تحت‌تأثیر منفی قرار می‌گیرند. این یافته‌ها به اهمیت حفظ پوشش جنگلی به‌عنوان یک اکوسیستم پایدار تأکید می‌کند. از این‌رو، برنامه‌های حفاظتی از این عرصه‌های طبیعی باید بیش از پیش مورد توجه قرار گیرد.

استناد: کوچ، یحیی، جعفریان، ناهید، حق‌وردی، کتایون (۱۴۰۵). اثر کاربری‌های مختلف اراضی با سوابق جنگلی و مرتعی بر شاخص‌های زیستی خاک شرق مازندران. *نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار*، ۱۶ (۲)، ۳۱-۱.
DOI: 10.22069/ejsms.2026.23503.2188

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

خاک یکی از مهم‌ترین اجزای اکوسیستم‌های طبیعی، است که بستر اصلی تولیدات کشاورزی است و نقش مهمی در ذخیره کربن، تنظیم چرخه‌های بیوژئوشیمیایی، حفظ تنوع زیستی و ارائه خدمات اکوسیستمی دارد. از این‌رو استفاده پایدار از منابع خاک برای حفظ حداکثر بهره‌وری محصول و کیفیت محیطی ضروری است (۱). سلامت خاک به‌طور مستقیم با سلامت اکوسیستم‌ها و جوامع انسانی در ارتباط است و تخریب آن پیامدهای زیست‌محیطی و اقتصادی دارد (۲). شاخص‌های زیستی خاک مانند تنوع و فعالیت میکروارگانیسم‌ها، آنزیم‌های خاک و کربن آلی، معیارهای حساس و دقیقی برای ارزیابی سلامت و کیفیت خاک هستند (۳). شاخص‌های زیستی به تغییرات محیطی و مدیریتی به سرعت پاسخ می‌دهند و می‌توانند ابزاری مؤثر برای پایش اثرات تغییرات کاربری اراضی باشند. یکی از عوامل اصلی تخریب خاک در سراسر جهان، تغییرات کاربری اراضی است که در آن فعالیت‌های انسانی و توسعه شهری باعث شکل‌گیری تغییرات عمده در اکوسیستم‌های زمینی می‌شود (۴). تغییر کاربری اراضی ترکیبی از عوامل بیوفیزیکی، اجتماعی-اقتصادی و سیاسی است که در میان عوامل اجتماعی-اقتصادی، فشار جمعیت از طریق افزایش جنگل‌زدایی، چرای بی‌رویه دام، کشت فشرده و بهره‌برداری بیش از حد از منابع طبیعی نقش زیادی در این فرآیند دارند (۵). تغییر کاربری اراضی باعث کاهش کیفیت خاک، تنوع زیستی و کاهش توانایی جنگل‌ها برای ارائه خدمات ضروری اکوسیستم و عملکرد اکوسیستم می‌شود (۶).

تغییر نوع کاربری اراضی به‌ویژه اراضی طبیعی به کشاورزی، با تغییر در عوامل زنده (پوشش گیاهی، تنوع زیستی و میکروارگانیسم‌ها) و غیرزنده (رطوبت، نور و دما) خاک، ویژگی‌های مختلف خاک را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد و منجر به تخریب شدید خاک و کاهش کارکردهای آن با کاهش مواد آلی خاک، تغییر در تنوع میکروبی و اختلال در عملکرد اکوسیستم می‌شود (۷ و ۸). که این تغییرات منجر به کاهش ترسیب کربن و افزایش فرسایش خاک، تغییر در چرخه‌های مواد مغذی، تغییر در ساختار جوامع میکروبی و کاهش تنوع زیستی خاک می‌شود (۹). امروزه، تعیین کیفیت خاک به‌منظور شناسایی جنبه‌های منفی تغییر کاربری اراضی و تخریب خاک مورد توجه قرار گرفته است.

شرق مازندران رویشگاه بخشی از جنگل‌های هیرکانی و یکی از قدیمی‌ترین و منحصربه‌فردترین اکوسیستم‌های جنگلی جهان می‌باشد که به علت اکوسیستم‌های جنگلی و مرتعی غنی، اهمیت اکولوژیکی و اقتصادی بالایی دارد و از تنوع زیستی بالایی برخوردار است (۱۰). در سال‌های اخیر، تغییرات بسیاری در کاربری اراضی این منطقه شامل تبدیل جنگل‌ها و مراتع به اراضی کشاورزی، شهری و صنعتی رخ داده است که این تغییرات تأثیرات قابل‌توجهی بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک دارد و می‌تواند سلامت اکوسیستم‌های خاکی را به خطر بیندازند (۱۱). بررسی‌های پیشین نشان داده است که تغییر کاربری از جنگل به اراضی کشاورزی می‌تواند باعث کاهش کربن آلی خاک و ذخیره نیتروژن، کاهش پایداری خاکدانه‌ها، افزایش فرسایش خاک، کاهش ذخایر فسفر و تغییر در ترکیب و ساختار جوامع میکروبی شود (۱۲، ۱۳). تغییر کاربری مراتع به اراضی کشاورزی نیز کاهش مواد آلی خاک، کاهش تنوع گیاهی و خاکزیان و افزایش فرسایش خاک را به دنبال دارد (۱۴). تغییرات در کاربری زمین، تنوع زیستی و عملکرد اکوسیستم را در بیوم‌ها و قاره‌های مختلف تغییر می‌دهد (۱۵)، اما پیامدهای

چنین تغییراتی اغلب به تغییرات در ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک مرتبط است (۱۶). تبدیل جنگل‌ها به اکوسیستم‌های دیگر، به‌ویژه مراتع، پیامدهای زیانباری بر حاصلخیزی خاک و پایداری طولانی‌مدت جنگل‌ها دارد. این در درجه اول به دلیل از دست دادن مقادیر قابل‌توجه کربن آلی خاک و افزایش فرسایش خاک است (۱۷، ۱۸). هم‌چنین بررسی‌های انجام شده کاهش تنوع میکروبی و فعالیت آنزیم‌های خاک را در نتیجه تبدیل کاربری جنگل به مرتع و زراعت نشان می‌دهد (۱۹). این درحالیست که تغییر کاربری از جنگل به باغ سبب بهبود نسبی ساختار خاک و افزایش نفوذپذیری به دلیل کاشت درختان و افزایش مواد آلی، افزایش کربن آلی خاک و بهبود چرخه مواد مغذی به دلیل تجمع مواد آلی، کاهش شخم زدن، افزایش تنوع میکروبی و فعالیت آنزیم‌های خاک به دلیل بهبود شرایط محیطی و افزایش مواد آلی می‌شود. در ایران، برخی مطالعات به بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر ویژگی‌های خاک پرداخته‌اند. تحقیقات انجام‌شده در شمال ایران نشان داده‌اند که تبدیل جنگل‌ها به اراضی کشاورزی باعث کاهش معنادار کربن آلی خاک و تغییر در ساختار جوامع میکروبی شده است (۱۱). بررسی انجام شده در مناطق مرتعی ایران نشان داده‌اند که تغییر کاربری مراتع به اراضی کشاورزی می‌تواند به‌علت کاهش تنوع زیستی خاک و افزایش فرسایش شود (۲۰). اگرچه در داخل کشور پژوهش‌هایی در ارتباط با اثرات تغییرات کاربری اراضی بر روی کیفیت و سلامت خاک صورت گرفته است، اما بیش‌تر مطالعات بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تأکید داشته‌اند (۲۱، ۲۲، ۲۳).

با توجه محدودیت در مطالعات اثر تغییرات کاربری بر روی ویژگی‌های خاک به‌ویژه ویژگی‌های زیستی در مازندران، در این مطالعه تلاش شد که علاوه بر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی، پارامترهای زیستی نیز مورد بررسی قرار گیرد. نتایج این مطالعه می‌تواند به مدیران منابع طبیعی و سیاست‌گذاران در اتخاذ تصمیم‌های آگاهانه به منظور مدیریت پایدار اراضی کمک کند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: شهرستان کیاسر واقع در استان مازندران و در قسمت جنوبی شهرستان ساری واقع شده است. مختصات جغرافیایی محدوده مورد بررسی بین ۳۶ درجه و ۹ دقیقه و ۵۶ ثانیه و ۳۶ درجه و ۲۹ دقیقه و ۲۴ ثانیه عرض جغرافیایی و بین ۵۳ درجه و صفر دقیقه و ۲۷ ثانیه و ۵۳ درجه و ۲۴ دقیه و ۱۸ ثانیه طول جغرافیایی قرار دارد. مساحت محدوده مورد مطالعه ۸۰۰ کیلومتر مربع، ارتفاع از سطح دریا ۹۷ متر در مناطق پست و ۱۶۷۰ متر در بالای کوه‌ها، میانگین بارش ۱۰۰۰ میلی‌متر می‌باشد. براساس توزیع ماهیانه بارندگی، بیش‌ترین میزان بارندگی در ماه آذر و کم‌ترین آن در مرداد ماه و طبق آمار پراکنش فصلی بارش، بیش‌ترین میزان بارش در فصل زمستان است. در منطقه مورد مطالعه پوشش‌های جنگلی، مرتعی، باغی و زراعی قابل مشاهده می‌باشد. پوشش‌های اراضی مورد مطالعه در این تحقیق عبارتند از:

۱- رویشگاه جنگلی با غالبیت گونه بلندمازو
۲- اراضی باغی (سیب و گردو) با سابقه کاربری جنگلی
۳- اراضی باغی (سیب و گردو) با سابقه کاربری مرتع
۴- اراضی زراعی (جو) با سابقه کاربری جنگلی
۵- اراضی زراعی (جو) با سابقه کاربری مرتع

روش نمونه‌برداری، تجزیه آزمایشگاهی لاشبرگ و خاک: به‌منظور بررسی اثرات پوشش‌های اراضی بر ویژگی‌های مختلف لایه‌های آلی (لاشبرگ‌های روی سطح خاک) و معدنی خاک، پس از بررسی‌های اولیه

و بازدیدهای میدانی، بخش‌هایی از اراضی فوق‌الذکر انتخاب شد که به صورت پیوسته با هم بوده و حداقل اختلاف ارتفاع از سطح دریا، حداقل تغییر درصد و جهت شیب در آن‌ها مشاهده شد. طرح آماری مورد استفاده در این تحقیق، طرح کاملاً تصادفی بود.

بدین منظور در هر رویشگاه مورد نظر، سه قطعه یک هکتاری (۱۰۰ متر × ۱۰۰ متر) با فواصل حداقل ۶۰۰ متر انتخاب شدند. سپس در هر یک از این قطعات، تعداد ۵ نمونه لاشبرگ و خاک (از چهار گوشه و مرکز این قطعات نمونه) در یک سطح ۳۰ سانتی‌متر × ۳۰ سانتی‌متر تا عمق ۱۰ سانتی‌متری برداشت و جمع‌آوری شدند. در مجموع، از هر رویشگاه، تعداد ۱۵ نمونه لاشبرگ و ۱۵ نمونه خاک برداشت و جهت تجزیه به آزمایشگاه منتقل شدند. در ابتدا نمونه‌های لاشبرگ برداشت و به مدت ۳۰ ثانیه به آرامی برای حذف خاک معدنی شسته شد و در دمای ۷۰ درجه سیلسیوس به مدت ۴۸ ساعت خشک و وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد. کربن و نیتروژن نمونه‌های لاشبرگ با استفاده از احتراق خشک با یک آنالیز عنصری (FisonsEA1108, Milan, Italy)، کالیبره‌شده توسط BBOT (bis-(5-tert-butyl-benzoxazol-2-yl)-thiophen-2.5) و استاندارد (ThermoQuest ItaliaS.p.A., Rodano, MI, Italy) تعیین و نسبت کربن به نیتروژن لاشبرگ نیز محاسبه شد.

به منظور انجام آنالیزهای خاک در ابتدا بخشی از نمونه‌های خاک در کیسه‌های پلی‌اتیلن برای بررسی ویژگی‌های زیستی در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری و قسمت دیگر به منظور آنالیزهای فیزیکی و شیمیایی هوا خشک شد و سپس از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. اندازه‌گیری جرم مخصوص حقیقی به روش پیکنومتری و جرم مخصوص ظاهری به روش کلوخه (۲۴) انجام و سپس تخلخل خاک محاسبه شد (۲۵). هدایت الکتریکی خاک با استفاده از دستگاه EC متر (شوری‌سنج) در عصاره گل اشباع، pH به روش پتانسیل‌سنجی (در عصاره گل اشباع) با استفاده از دستگاه pH متر (۲۶)، بافت خاک با استفاده از روش بایکوس هیدرومتری (۲۷)، کربن‌آلی به روش والکی و بلک (۲۸)، کربن و نیتروژن آلی ذره‌ای با روش کاهش وزن و به وسیله سوزاندن (۲۹)، نیترات با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر و آمونیوم به روش method blue Idophenol با استفاده از دستگاه طیف سنج (۳۰)، نیتروژن کل خاک با استفاده از روش کجلدال (۳۱)، نیتروژن و کربن آلی محلول با استفاده از دستگاه تجزیه آلی (himadzu TOC-550A) (۳۲)، پتاسیم، کلسیم و منیزیم قابل جذب با استفاده ازروش جذب اتمی (۳۳)، فسفر قابل‌جذب به روش اولسن (۳۴) و پایداری خاکدانه‌ها با روش یودر (۳۵) انجام شد. دمای خاک نیز با استفاده از دماسنج دیجیتال در عمق مورد مطالعه در زمان نمونه‌برداری اندازه‌گیری شد (۳۶). محتوای رطوبت خاک با خشک کردن نمونه‌های خاک به مدت ساعت ۲۴ در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد اندازه گیری شد (۲۶).

نرخ خالص معدنی‌شدن نیتروژن خاک (Soil net N mineralization rate) با استفاده از روش کیسه مدفون (Buried bag) در یک بازه ۳۰ روزه استفاده گردید، محاسبه گردید. بدین منظور عصاره‌گیری خاک با استفاده از روش هضم و اندازه‌گیری آمونیوم به روش Idophenol blue method و قرائت عصاره در طول موج ۶۳۶ نانومتر توسط دستگاه طیف‌سنج انجام شد. در نهایت نرخ خالص نیتریفیکاسیون (NR)، نرخ خالص آمونیفیکاسیون (AR) و نرخ خالص معدنی‌شدن نیتروژن (NMR) در بازه زمانی سی روز با استفاده از روابط ۱، ۲ و ۳ محاسبه شد.

$$AR = \frac{NH_4^+ - N_{i+1} - NH_4^+ - N_i}{t_{i+1} - t_i} \quad (۱)$$

$$NR = \frac{NO_3^- - N_{i+1} - NO_3^- - N_i}{t_{i+1} - t_i} \quad (۲)$$

$$NMR = \frac{NH_4^+ - N_{i+1} + NO_3^- - N_{i+1} - NH_4^+ - N_i + NO_3^- - N_i}{t_{i+1} - t_i} \quad (۳)$$

که در این روابط، $NH_4^+ - N_{i+1}$ مقدار آمونیوم خاک در زمان دوم، $NH_4^+ - N_i$ مقدار آمونیوم خاک در زمان اول، $NO_3^- - N_{i+1}$ مقدار نیترات خاک در زمان دوم، $NO_3^- - N_i$ مقدار نیترات خاک در زمان دوم، $t_{i+1} - t_i$ (تعداد روزها، که ۳۰ روز می‌باشد). بر مبنای این معادلات، نرخ‌های خالص نیتریفیکاسیون، آمونیفیکاسیون و معدنی‌شدن نیتروژن با واحد روز محاسبه و گزارش شدند (۱۶، ۳۷). ذخیره نیتروژن براساس جرم مخصوص ظاهری، غلظت نیتروژن و ذخیره کربن براساس جرم مخصوص ظاهری، غلظت کربن (۳۸)، نسبت کربن آلی ذره‌ای به نیتروژن آلی ذره‌ای و نسبت کربن به نیتروژن خاک نیز محاسبه شد.

شناسایی کرم‌های خاکی از روی شکل ظاهری و با توجه به ویژگی‌های ریخت‌شناسی شامل طول و رنگ بدن، اندازه، و ویژگی‌هایی مانند شکل و نوع اندام‌های جنسی، محل قرارگیری اندام‌های جنسی روی سگمنت‌ها و کلیتلوم، محل قرارگیری و شکل کلیتلوم، انواع اکولوژیک کرم‌های خاکی از قبیل برون خاکی (اپی ژئیک)، حفار (آنسئیک) و درون خاکی (اندوژئیک) شناسایی شدند (۳۹). کرم‌های خاکی شمارش و در دمای ۳۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۵ ساعت خشک شدند و سپس وزن آن‌ها به وسیله ترازو تا دقت میلی‌گرم اندازه‌گیری شد (۴۰) شمارش نماتدهای خاکزی با استفاده از تکنیک قیف بیرمن و سانتریفیوژ، شمارش پادمان‌ها و کنه‌ها به روش قیف برلیز (۴۱)، شمارش پروتوزوئرهای خاک با استفاده از میکروسکوپ با بزرگنمایی ۵۰ (۴۲) جمعیت باکتری‌ها و قارچ‌های خاکزی با استفاده از روش کشت (۴۳) ثبت شد. فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی براساس محلول پی نیتروفنیل فسفات به عنوان سوبسترا و انکوباسیون در pH=۱۱، دمای ۳۷ درجه سیلسیوس به مدت یک ساعت، آریل‌سولفاتاز با استفاده از پتاسیم پی نیتروفنیل سولفات (۲۵ میلی‌مولار) و انکوباسیون در دمای ۳۷ درجه سیلسیوس به مدت یک ساعت و اندازه‌گیری مقدار پی‌نیتروفنل آزادشده در طول هیدرولیز و آنزیم اینورتاز با استفاده از محلول ساکارز (۱/۲ درصد) به‌عنوان سوبسترا، در pH=۲، در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت سه ساعت (۴۴) و آنزیم اوره‌آز با استفاده از اوره (۲۰۰ میلی‌مولار) به عنوان سوبسترا تحت شرایط استاندارد، در pH=۹، دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت، اندازه‌گیری شد. زیست توده ریز ریشه در هر مترمربع برای هر رویشگاه محاسبه شد (۴۵). تنفس پایه با استفاده از روش به دام انداختن دی‌اکسیدکربن در سود، تنفس برانگیخته، همانند تنفس پایه با افزودن محلول گلوکز یک درصد به عنوان سوبسترا (۴۶)، کربن، نیتروژن و فسفر زیست‌توده میکروبی با روش تدخین-استخراج اندازه‌گیری شدند (۴۷). سهم میکروبی خاک از تقسیم تنفس پایه بر کربن زیست‌توده میکروبی (۴۶) و شاخص در دسترس بودن کربن از تقسیم تنفس

میکروبی پایه به تنفس برانگیخته محاسبه شد. میانگین هندسی فعالیت آنزیم‌های خاک از رابطه (۴) (۴۸) و

$$GMea=\sqrt[4]{URE + ACP + ARY + INV} \quad (۴)$$

که، GMea میانگین هندسی فعالیت آنزیمی خاک (geometric mean of enzymes activities)، URE فعالیت آنزیم اوره‌آز، ACP فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی، ARY فعالیت آنزیم آریل سولفاتاز، INV فعالیت آنزیم اینورتاز.

شاخص شانون آنزیم‌ها براساس رابطه (۵) (۴۹) محاسبه شد.

$$H' = -\sum_{i=1}^{4} pilnpi \quad (۵)$$

که، H' شاخص شانون آنزیم، هر Pi با نسبت هر فعالیت آنزیم به مجموع تمام فعالیت‌های آنزیمی بستگی دارد.

نسبت فعالیت هر آنزیم به کربن آلی، نسبت فعالیت هر آنزیم به کربن زیست‌توده میکروبی نسبت نیتروژن زیست‌توده میکروبی به نیتروژن کل، نسبت کربن زیست‌توده میکروبی به نیتروژن زیست‌توده میکروبی، نسبت فسفر زیست‌توده میکروبی به فسفر قابل‌دسترس، نسبت نیتروژن زیست‌توده میکروبی به فسفر و کربن زیست‌توده میکروبی نیز محاسبه شد.

تجزیه آماری داده‌ها: به منظور تجزیه و تحلیل و مقایسه داده‌ها، نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف اسمیرنوف و همگنی واریانس با استفاده از آزمون لون انجام شد. برای تعیین تفاوت یا عدم تفاوت مقادیر ویژگی‌های خاک (فیزیکی، شیمیایی و زیستی) در ارتباط با پوشش گیاهی از تجزیه واریانس یکطرفه (ANOVA) استفاده شد. به منظور مقایسه خصوصیات خاک در رویشگاه‌هایی با ترکیب متفاوت پوشش گیاهی از آزمون‌های چنددامنه‌ای دانکن در نرم‌افزاری آمار SPSS v. 26 استفاده شد. تجزیه و تحلیل چندمتغیره (PCA)، با استفاده از نرم‌افزار Rstudio با استفاده از بسته‌های «FactoMineR» و «factoextra» به منظور ارتباط ویژگی‌های لاشبرگ و خاک در رویشگاه‌هایی با ترکیب تاج پوشش متفاوت انجام گرفت.

نتایج

ویژگی‌های لاشبرگ: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کربن و نیتروژن لاشبرگ اختلاف آماری معنی‌داری در کاربری‌های بررسی شده داشتند، در حالی‌که نسبت کربن به نیتروژن لاشبرگ تحت‌تأثیر کاربری‌های مختلف نبود. بیش‌ترین میزان کربن و نیتروژن لاشبرگ به کاربری جنگلی با غالبیت بلندمازو و کاربری باغی با سابقه کاربری جنگلی تعلق داشت (جدول ۱).

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک: نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده تفاوت آماری معنی‌دار در تمامی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک به‌جز جرم مخصوص حقیقی، سیلت، نسبت کربن به نیتروژن خاک و نسبت کربن آلی محلول به نیتروژن آلی محلول در بین کاربری‌های مورد بررسی است (جدول ۲). نتایج به‌دست آمده نشان داد که بیش‌ترین میزان جرم مخصوص ظاهری و دمای خاک به اراضی زراعی با سابقه مرتع و اراضی زراعی با سابقه جنگل تعلق داشت. براساس نتایج در میان کاربری‌های مورد بررسی رویشگاه جنگلی با غالبیت بلندمازو دارای بیش‌ترین مقادیر تخلخل، پایداری خاکدانه، رس، محتوای رطوبت، واکنش خاک، هدایت الکتریکی، کربن و ماده آلی، ذخیره کربن و نیتروژن، نیتروژن، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، معدنی شدن نیتروژن، آمونیوم، نیترات، کربن و نیتروژن ذره‌ای و آلی محلول است (جدول ۲).

جدول ۱- ویژگی‌های لاشبرگ تحت با کاربری‌های مورد مطالعه.

Table 1. Litter properties under the studied uses.

متغیر	جنگل (بلند مازو) Forest (*Quercus castaneifolia*)	باغ-جنگل garden forest	باغ-مرتع Garden-pasture	زراعت- جنگل Agriculture-fores	زراعت-مرتع Agriculture-pasture	مقدار F	مقدار معنی‌داری Sig
کربن لاشبرگ (٪) Litter carbon (%)	46.09±1.83^{a}	44.03±1.56^{a}	32.01±2.56^{b}	27.52±1.85^{b}	28.54±1.56^{b}	21.26	0.000**
نیتروژن لاشبرگ (٪) Litter Nitrogen (%)	2.26±0.09^{a}	2.18±0.19^{a}	1.59±0.20^{b}	1.29±0.22^{b}	1.17±0.23^{b}	6.75	0.000**
نسبت کربن به نیتروژن carbon /Nitrogen	20.79±1.09^{a}	22.43±2.03^{a}	26.42±4.72^{a}	30.23±4.65^{a}	34.00±4.13^{a}	2.25	0.070^{ns}

هر داده نشان‌دهنده میانگین [خطای معیار ± (n=۱۵)] است. **، به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد، ^{ns} نشان‌دهنده عدم معنی‌داری و حروف مختلف نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار (P<۰/۰۵) بین رویشگاه‌ها است

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تحت کاربری‌های مورد مطالعه.

Table 2. Soil physical and chemical properties under the studied uses.

متغیر	جنگل (بلند مازو) Forest (*Quercus castaneifolia*)	باغ-جنگل Garden- forest	باغ-مرتع Garden-pasture	زراعت- جنگل Agriculture-fores	زراعت-مرتع Agriculture-pasture	مقدار F	مقدار معنی‌داری Sig
جرم مخصوص ظاهری ($g\ cm^{-3}$) Bulk density ($g\ cm^{-3}$)	1.19±0.05^{c}	1.31±0.04^{b}	1.39±0.03^{b}	1.43±0.03^{a}	1.46±0.04^{a}	8.361	0.000**
جرم مخصوص حقیقی ($g\ cm^{-3}$) Particle density ($g\ cm^{-3}$)	2.41±0.04^{a}	2.42±0.05^{a}	2.44±0.05^{a}	2.46±0.06^{a}	2.44±0.09^{a}	0.118	0.976^{ns}
تخلخل (درصد) Porosity (%)	50.58±2.11^{a}	45.76±1.78^{b}	42.81±1.42^{c}	41.59±1.44^{c}	39.08±3.18^{d}	4.466	0.003**
پایداری خاکدانه (درصد) Aggregate stability (%)	75.27±1.84^{a}	56.92±2.88^{b}	43.61±1.93^{c}	40.75±2.04^{c}	33.81±2.62^{d}	50.833	0.000**
شن (درصد) Sand (%)	21.33±1.42^{d}	25.60±1.69^{cd}	29.07±1.48^{bc}	32.67±1.41^{ab}	37.40±2.86^{a}	11.179	0.000**
سیلت (درصد) Silt (%)	32.40±2.27^{a}	34.40±2.22^{a}	35.13±2.14^{a}	35.73±2.86^{a}	36.60±3.82^{a}	0.338	0.852^{ns}
رس (درصد) Clay (%)	46.27±1.97^{a}	40.00±1.38^{b}	35.80±1.92^{bc}	31.60±2.41^{cd}	26.00±2.36^{d}	14.427	0.000**
محتوای رطوبت (درصد) Moisture content (%)	57.73±4.47^{a}	41.22±5.91^{b}	35.84±4.89^{b}	32.80±2.33^{b}	29.68±1.80^{b}	5.529	0.001**
دمای خاک (˚C) Soil temperature (˚C)	18.35±1.15^{d}	21.25±0.57^{c}	24.66±0.89^{b}	26.43±0.95^{ab}	28.78±1.22^{a}	17.711	0.000**
(1:2.5 H_2O) pH	7.02±0.15^{a}	6.93±0.19^{ab}	6.66±0.25^{abc}	6.42±0.11^{bc}	6.23±0.17^{c}	3.466	0.012*
($ds\ m^{-1}$) EC	0.39±0.04^{a}	0.33±0.03^{ab}	0.26±0.01^{bc}	0.24±0.02^{c}	0.19±0.01^{c}	8.791	0.000**
کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)	2.53±0.30^{a}	2.17±0.23^{ab}	1.89±0.17^{abc}	1.67±0.14^{bc}	1.35±0.25^{c}	4.155	0.004**
ماده‌آلی (درصد) Organic matter (%)	4.37±0.51^{a}	3.75±0.39^{ab}	3.27±0.30^{abc}	2.87±0.23^{bc}	2.33±0.43^{c}	4.151	0.004**

ادامه جدول ۲-

Continue Table 2.

متغیر	جنگل (بلند مازو) Forest (*Quercus castaneifolia*)	باغ-جنگل Garden- forest	باغ-مرتع Garden-pasture	زراعت - جنگل Agriculture-fores	زراعت-مرتع Agriculture-pasture	مقدار F	مقدار معنی‌داری Sig
ذخیره کربن ($mg\ h^{-1}$) Carbon storage ($mg\ h^{-1}$)	29.76±3.22^{a}	28.18±2.82^{a}	26.25±2.42^{ab}	23.73±1.94^{ab}	18.70±2.81^{b}	2.642	0.041*
نیتروژن (درصد) Nitrogen (%)	0.30±0.02^{a}	0.23±0.01^{b}	0.19±0.01^{bc}	0.14±0.01^{c}	0.13±0.02^{c}	21.314	0.000**
ذخیره نیتروژن ($mg\ h^{-1}$) Nitrogen storage ($mg\ h^{-1}$)	3.56±0.27^{a}	3.0±0.21^{ab}	2.63±0.16^{bc}	2.05±0.09^{cd}	1.83±0.27^{d}	11.006	0.000**
نسبت کربن به نیتروژن خاک Carbon /Nitrogen	9.01±1.10^{a}	9.93±1.20^{a}	10.77±1.34^{a}	11.76±0.98^{a}	15.42±3.21^{a}	0.668	0.111^{ns}
فسفر قابل جذب ($mg\ kg^{-1}$) Absorbable phosphorus ($mg\ kg^{-1}$)	27.49±2.02^{a}	19.02±1.89^{b}	17.04±1.42^{b}	14.76±1.29^{c}	9.74±0.44^{c}	18.541	0.000**
پتاسیم قابل جذب ($mg\ kg^{-1}$) Absorbable potassium ($mg\ kg^{-1}$)	195.40±18.94^{a}	149.47±10.07^{b}	107.47±5.13^{c}	93.0±7.29^{c}	60.13±6.40^{d}	23.665	0.000**
کلسیم قابل جذب ($mg\ kg^{-1}$) Absorbable calcium ($mg\ kg^{-1}$)	198.00±13.05^{a}	136.53±6.51^{b}	104.60±5.40^{c}	99.47±5.99^{cd}	77.80±4.58^{d}	36.595	0.000**
منیزیم قابل جذب ($mg\ kg^{-1}$) Absorbable magnesium ($mg\ kg^{-1}$)	40.0±4.52^{a}	33.67±3.31^{a}	31.93±4.92^{a}	20.20±3.33^{b}	16.53±1.47^{b}	6.947	0.000**
شدت معدنی‌شدن خالص نیتروژن ($mg\ Kg^{-1}\ day^{-1}$) Nitrogen mineralization ($mg\ Kg^{-1}\ day^{-1}$)	32.58±4.13^{a}	14.85±1.41^{b}	11.07±1.06^{bc}	9.29±0.48^{bc}	8.16±0.51^{c}	24.458	0.000**
آمونیوم ($mg\ kg^{-1}$) Ammonium ($mg\ kg^{-1}$)	11.24±1.21^{a}	10.47±0.77^{a}	8.54±1.16^{ab}	7.65±0.63^{bc}	5.40±0.69^{c}	6.375	0.000**
نیترات ($mg\ kg^{-1}$) Nitrate ($mg\ kg^{-1}$)	9.64±0.83^{a}	7.89±0.75^{ab}	7.19±0.75^{b}	5.17±0.54^{c}	4.10±0.36^{c}	10.469	0.000**
کربن‌آلی ذره‌ای ($g\ kg^{-1}$) Particulate organic carbon ($g\ kg^{-1}$)	2.93±0.37^{a}	1.64±0.26^{b}	1.13±0.27^{bc}	0.78±0.22^{cd}	0.29±0.07^{d}	15.097	0.000**
نیتروژن آلی ذره‌ای($g\ kg^{-1}$) Particulate organic nitrogen ($g\ kg^{-1}$)	0.32±0.07^{a}	0.13±0.02^{b}	0.06±0.01^{bc}	0.03±0.01^{c}	0.03±0.01^{c}	14.547	0.000**
نسبت کربن‌آلی ذره‌ای به نیتروژن آلی ذره‌ای Particulate organic carbon/ Particulate organic nitrogen	15.74±3.54^{c}	14.69±2.95^{c}	48.14±16.11^{a}	26.96±6.27^{ab}	13.14±3.83^{c}	3.164	0.019*
کربن‌آلی محلول ($mg\ kg^{-1}$) Dissolved organic carbon ($mg\ kg^{-1}$)	56.02±6.00^{a}	32.51±6.47^{b}	14.96±1.41^{c}	11.44±1.40^{c}	6.95±1.30^{c}	24.379	0.000**
نیتروژن آلی محلول ($mg\ kg^{-1}$) Dissolved organic nitrogen ($mg\ kg^{-1}$)	21.50±2.13^{a}	16.61±0.97^{b}	9.17±0.91^{c}	8.08±1.23^{c}	3.31±0.43^{d}	32.763	0.000**
نسبت کربن‌آلی محلول به نیتروژن آلی محلول Dissolved organic carbon/ Dissolved organic nitrogen	2.96±0.39^{a}	1.96±0.39^{a}	2.00±0.34^{a}	1.92±0.40^{a}	2.40±0.54^{a}	1.105	0.361^{ns}

هر داده نشان‌دهنده میانگین [خطای معیار ± (n=۱۵)] است. **، به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد، ^{ns} نشان‌دهنده عدم معنی‌داری و حروف مختلف نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار (P<۰/۰۵) بین رویشگاه‌ها است

ویژگی‌های زیستی خاک: نتایج تجزیه و تحلیل واریانس داده‌ها نشان داد که کاربری‌های مختلف از نظر آماری اثر معنی‌داری بر ویژگی‌های زیستی و میکروبی خاک دارد (جدول ۳). یافته‌ها حاکی از آن است که بیش‌ترین میزان ضریب متابولیک و شاخص در دسترس بودن کربن، نسبت اوره‌آز به کربن زیست‌توده میکروبی و نسبت اسید فسفاتاز به کربن زیست‌توده میکروبی در اراضی زراعی با سابقه مرتعی مشاهده شد. نسبت فسفر زیست‌توده میکروبی به فسفر قابل‌دسترس در اراضی باغی با سابقه جنگل بیش‌ترین مقدار را داشت. هم‌چنین نتایج نشان داد بیش‌ترین میزان تنفس برانگیخته در رویشگاه جنگلی با غالبیت بلندمازو و اراضی باغی با سابقه جنگلی و مرتعی و بیش‌ترین میزان پروتوزوئر، فسفاتاز اسیدی و فسفر زیست‌توده میکروبی در رویشگاه جنگلی با غالبیت بلندمازو و اراضی باغی با سابقه جنگلی مشاهده شد. مطابق با نتایج سایر ویژگی‌های زیستی مورد مطالعه در خاک رویشگاه رویشگاه جنگلی با غالبیت بلند مازو بیش‌ترین میزان را داشتند (جدول ۳).

جدول ۳- ویژگی‌های زیستی خاک تحت کاربری‌های مورد مطالعه.

Table 3. soil biological properties under the studied uses.

متغیر	جنگل (بلند مازو) Forest (*Quercus castaneifolia*)	باغ-جنگل Garden- forest	باغ-مرتع Garden-pasture	زراعت - جنگل Agriculture-fores	زراعت-مرتع Agriculture-pasture	مقدار F	مقدار معنی داری Sig
زیست‌توده ریز ریشه ($g\ m^{-2}$) Fine root biomass ($g\ m^{-2}$)	60.65±4.95^{a}	34.08±2.17^{b}	19.13±1.63^{c}	16.07±1.42^{cd}	10.08±0.77^{d}	59.618	0.000**
تعداد کرم‌های برون‌خاکی ($n\ m^{-2}$) Epigeic density ($n\ m^{-2}$)	0.47±0.24^{a}	0.33±0.21^{a}	0.20±0.14^{a}	0.13±0.13^{a}	0.07±0.07^{a}	0.898	0.470^{ns}
زیست‌توده کرم‌های برون‌خاکی ($mg\ m^{-2}$) Epigeic biomass ($mg\ m^{-2}$)	5.11±2.53^{a}	3.65±2.28^{a}	1.52±1.05^{a}	0.82±0.82^{a}	0.75±0.75^{a}	1.338	0.265^{ns}
تعداد کرم‌های حفار ($n\ m^{-2}$) Anecic density ($n\ m^{-2}$)	0.60±0.19^{a}	0.40±0.13^{ab}	0.20±0.11^{b}	0.13±0.09^{b}	0.13±0.09^{b}	2.543	0.047*
زیست‌توده کرم‌های حفار ($mg\ m^{-2}$) Anecic biomass ($mg\ m^{-2}$)	7.10±2.20^{a}	5.21±1.83^{ab}	1.73±1.00^{b}	1.60±1.09^{b}	1.08±0.74^{b}	3.248	0.017*
تعداد کرم‌های درون خاکی ($n\ m^{-2}$) Endogeic density ($n\ m^{-2}$)	4.07±0.28^{a}	2.00±0.45^{b}	1.27±0.45^{bc}	1.07±0.36^{bc}	0.60±0.211^{c}	14.111	0.000**
زیست‌توده کرم‌های درون‌خاکی ($mg\ m^{-2}$) Endogeic biomass ($mg\ m^{-2}$)	48.50±2.97^{a}	22.33±4.64^{ab}	14.26±4.85^{bc}	10.34±3.56^{c}	8.77±3.37^{c}	17.092	0.000**
زیست‌توده کل کرم‌های خاکی ($mg\ m^{-2}$) Earthworm biomass ($mg\ m^{-2}$)	60.71±5.04^{a}	31.19±7.01^{b}	17.51±5.94^{bc}	12.76±4.78^{c}	10.60±3.54^{c}	14.743	0.000**
کنه ($n\ m^{-2}$) Acarina density ($n\ m^{-2}$)	10435.53± 1245.15^{a}	8379.40± 870.84^{ab}	6785.87± 911.10^{bc}	4815.73± 1170.67^{c}	1935.93± 278.42^{d}	11.654	0.000**
پادمان ($n\ m^{-2}$) Collembola density ($n\ m^{-2}$)	4114.40± 801.11^{a}	3706.60± 709.27^{ab}	2223.07± 666.21^{bc}	1702.87± 403.49^{c}	801.80± 58.32^{c}	5.455	0.001**
تراکم نماتد (در ۱۰۰ گرم خاک) Nematodes density (In 100 gr soil)	104.80± 12.20^{a}	82.20±5.46^{b}	53.80±3.51^{c}	45.67±4.54^{c}	35.00±4.38^{c}	17.757	0.000**
پروتوزوئر ($\times 10^{2}\ g\ soil^{-1}$) Protozoa ($\times 10^{2}\ g\ soil^{-1}$)	106.13±7.72^{a}	103.73±9.01^{a}	81.53±9.88^{ab}	57.73±12.43^{bc}	45.13±13.27^{c}	6.489	0.000**

ادامه جدول ۳-

Continue Table 3.

متغیر	جنگل (بلند مازو) Forest (*Quercus castaneifolia*)	باغ-جنگل Garden- forest	باغ-مرتع Garden-pasture	زراعت- جنگل Agriculture-fores	زراعت-مرتع Agriculture-pasture	مقدار F	مقدار معنی‌داری Sig
باکتری ($\times10^7$ g soil) Bacteria ($\times10^7$ g soil)	3.54±0.44^{a}	2.41±0.36^{b}	1.32±0.22^{c}	1.04±0.20^{c}	0.70±0.14^{c}	15.480	0.000**
قارچ ($\times10^7$ g soil) Fungi ($\times10^7$ g soil)	1.29±0.11^{a}	1.13±0.12^{ab}	0.87±0.14^{bc}	0.64±0.17^{c}	0.49±0.14^{c}	5.994	0.000**
اوره‌آز ($\mu g\ NH4 + -N\ g^{-1}\ 2\ h^{-1}$) Urease ($\mu g\ NH4 + -N\ g^{-1}\ 2\ h^{-1}$)	17.19±2.08^{a}	11.65±0.95^{b}	10.53±1.40^{bc}	7.11±0.59^{cd}	4.91±0.45^{d}	14.336	0.000**
فسفاتاز اسیدی ($\mu g\ PNP\ g^{-1}\ h^{-1}$) Acid Phosphatase ($\mu g\ PNP\ g^{-1}\ h^{-1}$)	300.07±57.42^{a}	204.33±53.67^{a}	98.07±6.40^{b}	66.33±5.23^{b}	62.67±5.45^{b}	8.511	0.000**
آریل‌سولفاتاز ($\mu g\ PNP\ g^{-1}\ h^{-1}$) Arylsulfatase ($\mu g\ PNP\ g^{-1}\ h^{-1}$)	11.47±9.77^{a}	95.73±12.92^{ab}	85.80±14.84^{abc}	65.27±13.72^{bc}	50.73±17.52^{c}	14.336	0.025*
اینورتاز ($\mu g\ Glucose\ g^{-1}\ 3\ h^{-1}$) Invertase ($\mu g\ Glucose\ g^{-1}\ 3\ h^{-1}$)	155.80±46.17^{a}	105.87±11.01^{ab}	84.40±14.08^{ab}	68.87±12.73^{b}	53.93±15.33^{b}	8.511	0.035*
میانگین هندسی فعالیت آنزیم‌ها Geometric mean of enzyme activity	4.81±0.15^{a}	4.39±0.16^{b}	4.07±0.07^{c}	3.74±0.10^{cd}	3.48±0.15^{d}	16.360	0.000**
شاخص شانون آنزیم Shannon enzyme index	0.15±0.00^{a}	0.15±0.00^{a}	0.15±0.00^{a}	0.15±0.00^{a}	0.14±0.00^{a}	0.903	0.467^{ns}
تنفس پایه ($mg\ CO_2\ g^{-1}\ day^{-1}$) Basal Respiration (BR) ($mg\ CO_2\ g^{-1}\ day^{-1}$)	0.29±0.04^{a}	0.18±0.02^{ab}	0.14±0.03^{bc}	0.11±0.01^{bc}	0.09±0.02^{c}	9.553	0.000**
تنفس برانگیخته ($mg\ CO_2\ g^{-1}\ day^{-1}$) substarte induced respiration (SIR) ($mg\ CO_2\ g^{-1}\ day^{-1}$)	1.23±0.15^{a}	1.11±0.15^{a}	1.06±0.17^{a}	0.17±0.01^{b}	0.13±0.04^{b}	19.134	0.000**
زیست‌توده میکروبی کربن ($mg\ kg^{-1}$) Microbial biomass carbon (MBC) ($mg\ kg^{-1}$)	300.20±33.63^{a}	168.67±16.33^{b}	117.60±9.67^{bc}	96.40±10.28^{cd}	51.58±8.17^{d}	27.399	0.000**
نیتروژن زیست‌توده میکروبی ($mg\ kg^{-1}$) Microbial biomass nitrogen (MBN) ($mg\ kg^{-1}$)	43.22±3.52^{a}	24.63±1.79^{b}	16.29±2.07^{c}	11.07±1.85^{cd}	6.17±0.66^{d}	44.571	0.000**
فسفر زیست‌توده میکروبی ($mg\ kg^{-1}$) Microbial biomass phosphorus (MBP) ($mg\ kg^{-1}$)	47.47±8.23^{a}	38.40±8.66^{a}	28.35±8.31^{ab}	9.43±0.90^{b}	9.04±1.35^{b}	6.883	0.000**
ضریب متابولیک ($\mu g\ CO2\text{-}C\ mg^{-1}\ MBC\ day^{-1}$) Metabolic quotient ($\mu g\ CO_2\text{-}C\ mg^{-1}\ MBC\ day^{-1}$)	1.01±0.09^{b}	1.23±0.19^{b}	1.19±0.21^{b}	1.30±0.25^{b}	2.57±0.65^{a}	3.445	0.013*
سهم میکروبی ($mg\ Cmic\ g^{-1}\ Corg$) Microbial contribution ($\mu g\ CO_2\text{-}C\ mg^{-1}\ MBC\ day^{-1}$)	134.55±19.57^{a}	92.85±15.60^{b}	71.23±9.27^{bc}	63.34±9.02^{bc}	50.41±9.14^{c}	6.186	0.000**

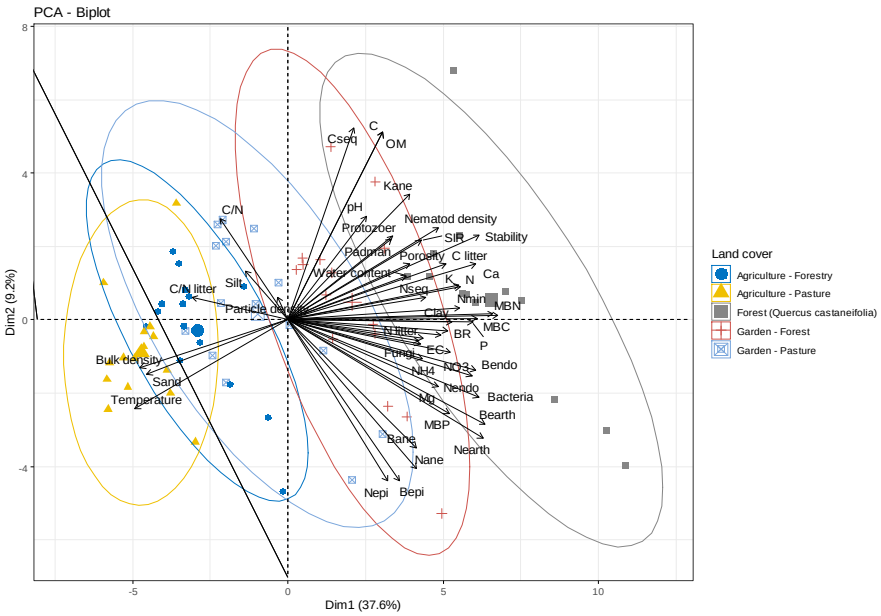
ادامه جدول ۳-

Continue Table 3.

متغیر	جنگل (بلند مازو) Forest (*Quercus castaneifolia*)	باغ-جنگل Garden- forest	باغ-مرتع Garden-pasture	زراعت- جنگل Agriculture-fores	زراعت-مرتع Agriculture-pasture	مقدار F	مقدار معنی‌داری Sig
شاخص دردسترس بودن کربن ($mg\ CO_2\ g^{-1}\ day^{-1}$) Carbon availability index ($mg\ CO_2\ g^{-1}\ day^{-1}$)	0.44±0.15^{b}	0.26±0.06^{b}	0.19±0.05^{b}	0.64±0.08^{b}	2.22±1.00^{a}	3.394	0.014*
نسبت اوره‌آز به کربن آلی Urease/Organic carbon	7.29±0.95^{a}	6.03±0.71^{a}	6.28±0.99^{a}	4.57±0.51^{a}	5.94±1.99^{a}	0.721	0.581^{ns}
نسبت اسیدفسفاتاز به کربن آلی Acid Phosphatase/Organic carbon	122.85±22.05^{a}	100.53±24.28^{ab}	56.53±5.35^{bc}	42.47±4.12^{c}	69.23±15.35^{bc}	3.979	0.006**
نسبت آریل‌سولفاتاز به کربن آلی Arylsulfatase/Organic carbon	50.03±6.06^{a}	50.56±9.23^{a}	52.67±10.82^{a}	42.86±9.40^{a}	45.54±14.62^{a}	0.149	0.963^{ns}
نسبت اینورتاز به کربن آلی Invertase/Organic carbon	69.43±22.42^{a}	52.58±6.23^{a}	54.69±11.95^{a}	44.87±9.18^{a}	49.11±12.19^{a}	0.476	0.755^{ns}
نسبت اوره‌آز به زیست‌توده میکروبی کربن Urease/MBC	0.06±0.01^{c}	0.08±0.01^{c}	0.10±0.01^{ab}	0.08±0.01^{c}	0.14±0.02^{a}	4.105	0.005**
نسبت اسید فسفاتاز به زیست‌توده میکروبی کربن Acid Phosphatase/MBC	1.10±0.22^{ab}	1.28±0.34^{ab}	0.91±0.09^{c}	0.79±0.09^{c}	1.76±0.33^{a}	2.498	0.050*
نسبت آریل‌سولفاتاز به کربن زیست‌توده میکروبی Arylsulfatase/MBC	0.45±0.08^{a}	0.65±0.10^{a}	0.85±0.18^{a}	0.68±0.13^{a}	0.96±0.22^{a}	1.690	0.162^{ns}
نسبت اینورتاز به کربن زیست‌توده میکروبی Invertase/MBC	0.56±0.12^{a}	0.73±0.09^{a}	0.79±0.14^{a}	0.75±0.10^{a}	1.47±0.57^{a}	1.670	0.167^{ns}
نسبت نیتروژن زیست‌توده میکروبی به نیتروژن کل MBN/N	149.85±13.16^{a}	112.02±9.44^{b}	88.14±11.00^{bc}	81.91±16.72^{bc}	67.33±12.45^{c}	6.346	0.000**
نسبت فسفر زیست‌توده میکروبی به فسفر MBP/P	1.79±0.30^{ab}	2.28±0.59^{a}	1.45±0.33^{abc}	0.72±0.11^{c}	0.94±0.14^{bc}	3.435	0.013**
نسبت کربن زیست توده میکروبی به فسفر زیست توده میکروبی MBC/MBP	8.87±1.90^{a}	7.66±1.37^{a}	8.00±1.22^{a}	12.04±2.44^{a}	7.94±1.67^{a}	1.051	0.388^{ns}
نسبت کربن زیست توده میکروبی به نیتروژن زیست توده میکروبی MBC/MBN	7.69±1.21^{a}	7.39±0.85^{a}	8.71±1.25^{a}	10.77±1.37^{a}	9.40±1.66^{a}	1.120	0.354^{ns}
نسبت نیتروژن زیست توده میکروبی به فسفر زیست توده میکروبی MBN/MBP	1.29±0.22^{a}	1.16±0.20^{a}	0.97±0.15^{a}	1.34±0.25^{a}	0.83±0.12^{a}	1.249	0.298^{ns}

هر داده نشان‌دهنده میانگین [خطای معیار ± (n=۱۵)] است. **، به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد، ^{ns} نشان‌دهنده عدم معنی‌داری و حروف مختلف نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار (P<۰/۰۵) بین رویشگاه‌ها است

ارتباط ویژگی‌های لاشبرگ و ویژگی‌های خاک در ارتباط با کاربری‌های مورد مطالعه: بر اساس تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) محورهای اول و دوم، به‌دلیل دارا بودن بیش‌ترین مقدار ارزش ویژه و درصد تبیین واریانس به‌ترتیب ۳۷/۶ و ۹/۲ برای تبیین نتایج انتخاب شدند. نمودار تجزیه و تحلیل PCA نشان داد که قطعات نمونه بر اساس کاربری‌های مختلف تفکیک شده‌اند (شکل ۲). بر این اساس الگوی تفکیک واضحی بین کاربری‌ها وجود داشت که براساس آن قطعات نمونه در رویشگاه با غالبیت بلند مارزو و اراضی باغی با سابقه جنگلی با سایر کاربری‌های موردبررسی تفکیک واضحی بین کاربری‌ها وجود داشت که بر اساس آن قطعات نمونه در رویشگاه با غالبیت بلند مارزو و اراضی باغی با سابقه جنگلی با سایر کاربری‌ها به‌طور مشخص قابل تفکیک می‌باشند. نتایج بیانگر کیفیت خوب خاک، تجمع عناصر غذایی و فعالیت زیستی بیش‌تر در رویشگاه جنگلی با غالبیت بلند مازو می‌باشد. این درحالیست که اراضی زراعی با سابقه جنگلی و مرتعی با جرم مخصوص ظاهری و دمای خاک در ارتباط بودند و از کیفیت و عناصر غذایی کم‌تری برخوردار بودند که در راستای نتایج مقایسه میانگین بود (شکل ۲).



شکل ۱- ویژگی‌های لاشبرگ و خاک تحت کاربری‌های مورد مطالعه.

C litter: کربن لاشبرگ، **N litter**: نیترون لاشبرگ؛ **C/N litter**: نسبت کربن به نیتروژن لاشبرگ؛ **PD**: جرم مخصوص حقیقی خاک؛ **Porosity**: تخلخل خاک؛ **Mositure**: محتوای رطوبت؛ **Sand**: درصد شن، **Silt**: درصد سیلت؛ **Temp**: دمای خاک؛**pH**: واکنش خاک؛ **EC**: هدایت الکتریکی خاک؛ **BD**: جرم مخصوص ظاهری خاک؛ **C**: کربن آلی؛ **Cpool**: ذخیره کربن، **N**: نیتروژن؛ **Npool**: ذخیره نیتروژن، **C/N**: نسبت کربن به نیتروژن خاک؛ **P**: فسفر قابل جذب؛ **K**: پتاسیم قابل جذب؛ **Ca**: کلسیم قابل جذب؛ **Mg**: منیزیم قابل جذب؛ **FBR**: زیست توده ریز ریشه؛ **Nepi**: تعداد کرم‌های برون خاکی؛ **Bepi**: زیست‌توده کرم‌های برون خاکی؛ **Nane**: تعداد کرم‌های حفار؛ **Bane**: زیست توده کرم‌های حفار؛ **Nendo**: تعداد کرم‌های درون خاکی؛ **Bendo**: زیست توده کرم‌های درون خاکی؛ **Nearth**: تعداد کرم‌های خاکی؛ **Bearth**: زیست توده کرم‌های خاکی؛ **Mite**: کنه؛ **Collembola**: پادمان؛ **Nematod density**: تراکم نماتد؛ **Protozoer**: پروتوزوئر؛ **Bacteria**: باکتری؛ **Fungi**: قارچ؛ **Nmin**: معدنی شدن نیتروژن؛ **NH4**: آمونیوم؛ **NO3**: نیترات؛ **BR**: تنفس پایه؛ **SIR**: تنفس برانگیخته؛ **MBC**: کربن زیست‌توده میکروبی؛ **MBN**: نیتروژن زیست‌توده میکروبی؛ **MBN/Total N**: نسبت نیتروژن زیست‌توده میکروبی به نیتروژن کل؛ **MBP**: فسفر زیست‌توده میکروبی؛ **Forest (Quercus castaneifolia)**: رویشگاه جنگلی با غالبیت گونه بلندمازو، **Garden – Forest**: اراضی باغی (سیب و گردو) با سابقه کاربری جنگلی؛ **Garden – Pasture**: اراضی باغی (سیب و گردو) با سابقه کاربری مرتع؛ **Agriculture – Forestry**: اراضی زراعی (جو) با سابقه کاربری جنگلی؛ **Agriculture – Pasture**: اراضی زراعی (جو) با سابقه کاربری مرتع.

Figure 1. Litter and soil properties under the studied uses.

جدول ۴- ضریب همبستگی متغیرهای مورد بررسی با محورهای اول و دوم PCA.

Table 4. Correlation coefficient of the variables under study with the first and second axes of PCA.

محور ۱			محور ۲		
متغیر	ضریب همبستگی Correlation	متغیر Variable	ضریب همبستگی Correlation	متغیر Variable	ضریب همبستگی Correlation
زیست‌توده ریز ریشه Fine root biomass	0.876**	نیتروژن لاشبرگ Litter Nitrogen	0.565**	ذخیره کربن Carbon storage	0.678**
زیست‌توده میکروبی نیتروژن MBN	0.855**	آمونیوم Ammonium	0.562**	کربن‌آلی OC	0.663**
زیست‌توده کل کرم‌های خاکی Earthworm Biomass	0.823**	تنفس برانگیخته Substrate induced respiration	0.557**	ماده‌آلی OM	0.663**
تعداد کل کرم‌های خاکی Earthworm Density	0.814**	نسبت زیست‌توده میکروبی نیتروژن به نیتروژن MBN/N	0.552**	کنه Acarina density	0.444**
پایداری خاکدانه Aggregate stability	0.798**	قارچ Fungi	0.546**	pH	0.367**
باکتری Bacteria	0.797**	تعداد کرم‌های حفار Anecic density	0.537**	نسبت کربن به نیتروژن C/N raito	0.357**
زیست‌توده میکروبی کربن MBC	0.790**	زیست‌توده کرم‌های حفار Anecic biomass	0.534**	تراکم نماتد Nematodes density	0.326**
زیست‌توده کرم‌های درون‌خاکی Endogeic biomass	0.785**	کنه Acarina density	0.509**	پایداری خاکدانه Aggregate stability	0.298**
کلسیم Available ca	0.784**	تخلخل Porosity	0.508**	پروتوزوئر Protozoa density	0.295**
فسفر Available P	0.771**	رطوبت Moisture content	0.494**	پادمان Collembola density	0.284**
تعداد کرم‌های درون‌خاکی Endogeic density	0.768**	زیست‌توده کرم‌های برون‌خاکی Epigeic biomass	0.465**	تنفس برانگیخته Substrate induced respiration	0.281**
نیتروژن N	0.718**	پروتوزوئر Protozoa	0.437**	منیزیم Available Mg	−0.236**
شدت معدنی‌شدن خالص نیتروژن Nitrogen mineralization	0.717**	پادمان Collembola density	0.432**	باکتری Bacteria	−0.273**
رس Clay	0.684**	تعداد کرم‌های برون خاکی Epigeic density	0.416**	دمای خاک Soil temperature	−0.314**
نیترات Nitrate	0.678**	کربن آلی OC	0.396**	زیست‌توده میکروبی فسفر MBP	−0.332**
زیست‌توده میکروبی فسفر MBP	0.672**	ماده‌آلی OM	0.394**	زیست‌توده کل کرم‌های خاکی Earthworm Biomass	−0.368**
تنفس پایه Basal respiration	0.667**	pH	0.328**	تعداد کل کرم‌های خاکی Earthworm density	−0.618**
کربن لاشبرگ Litter carbon	0.658**	ذخیره کربن Carbon storage	0.274**	بیومس کرم‌های حفار Anecic biomass	−0.452**
هدایت‌الکتریکی EC	0.639**	نسبت کربن به نیتروژن لاشبرگ C/N Litter	−0.401**	تعداد کرم‌های حفار Anecic density	−0.526**
تراکم نماتد Nematodes density	0.628**	شن Sand	−0.588**	زیست‌توده کرم‌های برون‌خاکی Epigeic biomass	−0.569**
منیزیم Mg	0.627**	جرم مخصوص‌ظاهری Bulk density	−0.616**	تعداد کرم‌های برون خاکی Epigeic density	−0.570**
ذخیره نیتروژن Nitrogen storage	0.574**	دمای خاک Soil temperature	−0.638**		

بحث و نتیجه‌گیری

یکی از چالش‌های اصلی در مدیریت پایدار خاک و اکوسیستم‌ها تغییر کاربری اراضی می‌باشد که این تغییرات اثرات قابل توجهی بر شاخص‌های خاک به‌ویژه شاخص‌های زیستی خاک مانند تنوع میکروبی، فعالیت آنزیمی و ذخیره کربن‌آلی دارند. منطقه شرق مازندران به علت غنای زیستی و شرایط اقلیمی منحصر به فرد از اهمیت بالایی برخوردار است که تغییر کاربری اراضی در این منطقه می‌تواند باعث تخریب ساختار خاک و کاهش عملکرد اکولوژیکی آن شود. از طرف دیگر، تغییر در میزان مواد آلی خاک در کاربری‌های مختلف اراضی به دلیل تفاوت در نوع پوشش، کمیت و کیفیت لاشبرگ ورودی است (۵۰). مطابق با نتیجه مطالعه حاضر اختلاف آماری معنی‌داری در کاربری‌های مورد بررسی از نظر کربن و نیتروژن لاشبرگ وجود داشت و بیش‌ترین میزان این دو عنصر در لاشبرگ به کاربری جنگلی با غالبیت بلندمازو و کاربری باغی با سابقه کاربری جنگلی تعلق داشت. بررسی‌های پیشین نیز نشان می‌دهد که میزان کربن لاشبرگ در کاربری جنگل بیش‌تر از کاربری‌های زراعی است. جنگل‌ها به علت ورود مداوم مواد آلی و کاهش سرعت تجزیه لاشبرگ، دارای کربن لاشبرگ بیش‌تری نسبت به سایر کاربری‌ها هستند. از طرف دیگر اراضی زراعی به‌علت برداشت محصول، استفاده از کودهای شیمیایی و تجزیه سریع‌تر باعث کاهش کربن و نیتروژن لاشبرگ می‌شوند (تغییر کاربری اراضی سبب تغییر در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک می‌شود. به‌طوری‌که تغییر کاربری از جنگل به سایر کاربری‌ها مانند زراعت، مرتع و باغ اثرات متفاوتی بر ماده‌آلی خاک می‌گذارد که در برخی مطالعات افزایش ماده‌آلی و برخی موارد کاهش ماده‌آلی گزارش شده است (۵۱، ۵۲). در مطالعه حاضر بیش‌ترین میزان کربن و ماده‌آلی، ذخیره کربن و نیتروژن در کاربری جنگلی با غالبیت بلند مازو مشاهده شد. جنگل‌ها به دلیل ورود مداوم برگ‌ها و بقایای گیاهی به خاک، دارای محتوای کربن‌آلی و ماده‌آلی بالایی هستند و این مواد به‌تدریج تجزیه شده و ذخیره کربن و نیتروژن خاک را افزایش می‌دهند (۱۲). هم‌چنین در رویشگاه‌های جنگلی به‌علت ریزش سالیانه شاخ و برگ‌ها، گل‌ها، پوست درختان، کنده‌ها و میوه‌ها مواد آلی بیش‌تری تجمع پیدا می‌کنند و در کاربری جنگل عملیات شخم و عبور ماشین‌آلات کم‌تر است و در نتیجه منجر به کاهش اکسایش مواد آلی و تجمع کربن‌آلی می‌شود (۵۳). هم‌چنین افزودن مواد آلی می‌تواند محتویات هوموس را افزایش دهد و در نتیجه کربن بیش‌تری به مخزن کربن خاک اضافه شود (۵۴).

افزایش ماده‌آلی خاک باعث افزایش تخلخل خاک و کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک می‌شود. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که در جنگل‌ها، وجود مواد آلی بسیار در خاک و فعالیت ریشه‌های عمیق درختان سبب تشکیل خاکدانه‌های پایدار و افزایش تخلخل خاک و بهبود نفوذپذیری آب و هوا می‌شود (۱۱). بیش‌ترین مقدار جرم مخصوص ظاهری در خاک کاربری‌های زراعی با سابقه مرتع و اراضی زراعی با سابقه جنگل مشاهده گردید. یکی از دلایل اصلی وجود این اختلاف کمبود مواد آلی در خاک این اراضی است. عملیات خاکورزی و شخم زدن خاک سطحی، سبب کاهش ماده آلی و تخریب خاک شده ودر نهایت، خلل و فرج خاک کاهش می‌یابد (۵۵).

نیتروژن کل یک جزء مهم از ماده آلی خاک می‌باشد که غلظت آن در بین کاربری‌های مختلف، متفاوت است (۵۶). بیش‌ترین و کم‌ترین نیتروژن کل خاک، ذخیره کربن و نیتروژن معدنی شدن نیتروژن، آمونیوم، نیترات کربن و نیتروژن ذره‌ای و آلی محلول به ترتیب در کاربری جنگل و کاربری زراعی مشاهده

شد. با توجه به این‌که منبع اصلی نیتروژن خاک مواد آلی است، بنابراین بیش‌تر بودن میزان نیترژون در کاربری جنگل نسبت به سایر کاربری‌ها دور از انتظار نبود و از طرفی مطالعات پیشین همبستگی بالای بین نیتروژن و کربن خاک را گزارش کرده‌اند (۵۷). ذخیره نیتروژن بالاتر در کاربری جنگل به نوعی نشان دهنده اثر بهتر پوشش گیاهی و گذشت زمان بر انباشتگی نیتروژن خاک می‌باشد که این افزایش می‌تواند به دلیل بالا بودن مقدار پوشش گیاهی و حجم زیاد ورود لاشبرگ باشد (۵۸). تفاوت در میزان کربن آلی ذره‌ای و نیتروژن آلی ذره‌ای در کاربری‌های مختلف می‌تواند به دلیل تغییر در کربن آلی، نیتروژن کل خاک و هم‌چنین عناصر غذایی در کاربری‌های مختلف باشد (۵۹). افزایش نیتروژن آلی محلول تحت کاربری جنگل می‌تواند با مقادیر بالای نیتروژن لایه معدنی در این کاربری در ارتباط باشد (۶۰). نتایج پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که تجزیه مداوم بقایای گیاهی و فعالیت میکروارگانیسم‌ها در جنگل‌ها، باعث افزایش کربن و نیتروژن ذره‌ای و آلی محلول در خاک می‌شود، اما در اراضی زراعی، کاهش مواد آلی و فعالیت میکروبی باعث کاهش کربن و نیتروژن ذره‌ای و آلی محلول در خاک می‌شود (۳، ۶۱). هم‌چنین فعالیت میکروارگانیسم‌ها و تجزیه مواد آلی در جنگل‌ها باعث افزایش فرآیند معدنی‌شدن نیتروژن و تشکیل آمونیوم و نیترات می‌شود. این درحالیست که در اراضی با کاربری زراعی، استفاده از کودهای نیتروژنه و شخم مکرر کاهش فعالیت میکروبی و معدنی‌شدن نیتروژن را به دنبال دارد (۲۰). طبق نتایج بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم قابل جذب در کاربری جنگل و کاربری زراعی با سابقه مرتع و جنگل مشاهده شد. پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که چرخه طبیعی مواد مغذی از طریق تجزیه بقایای گیاهی و فعالیت میکروارگانیسم‌ها در کاربری جنگل، باعث افزایش پتاسیم، کلسیم و منیزیم در خاک می‌شود و در اراضی با کاربری زراعی برداشت محصول و استفاده از کودهای شیمیایی باعث تخلیه مواد مغذی خاک می‌شود (۱۳). بالاتر بودن میزان غلظت فسفر در کاربری جنگل ممکن است مرتبط با چرخه سریع فسفر به دنبال تجزیه و معدنی سازی لاشبرگ‌هایی با محتوی بیشتر فسفر باشد که سبب افزایش فسفر خاک شده است (۶۲). منیزیم خاک نیز به دنبال وجود اختلال مانند تغییر کاربری و بهره‌برداری کاهش پیدا می‌کند و می‌توان در توجیه مقادیر پایین منیزیم خاک در کاربری‌های زراعی به این عامل اشاره کرد (۶۳). بالا بودن میزان موادآلی در کاربری جنگل سبب جذب سطحی عنصر پتاسیم خاک می‌شود. مقدار پتاسیم از کاربری جنگلی به کاربری زراعی کاهش یافت که ناشی از آبشویی عنصر پتاسیم و انتقال آن به افق‌های پایین خاک است و نبود پوشش گیاهی و فرسایش آبی چشمگیر در راضی زراعی از دلایل تلفات پتاسیم در کاربری‌های زراعی نسبت به کاربری‌های دیگر از جمله جنگل و مرتع است (۶۴).

یکی از خصوصیات فیزیکی خاک بافت خاک می‌باشد که از مشخصه‌های ثابت خاک است و تغییر در بافت خاک در اثر تغییر کاربری در کوتاه‌مدت امکان‌پذیر نیست اما در بلندمدت تغییر در نوع کاربری‌ها می‌تواند بر تغییرات اجزای بافت خاک مؤثر باشد (۶۵). در مطالعه حاضر از نظر میزان رس اختلاف معنی‌داری بین کاربری‌های مختلف مشاهده شد و بیش‌ترین میزان رس در اراضی جنگلی با غالبیت بلند مازو مشاهده شد. تجمع بیش‌تر میزان رس در کاربری جنگلی می‌تواند به علت تاج پوشش بسته جنگل باشد زیرا در سایر کاربری‌ها به‌علت نبودن تاج پوشش بسته و باز بودن قسمت‌های فوقانی به میزان بیش‌تری تحت‌تأثیر بارش‌های سالیانه قرار

می‌گیرند و سبب آبشویی ذرات رس از لایه‌های بالایی خاک و تجمع آن‌ها در لایه‌های پایینی، می‌شوند (۶۶).

خاکدانه‌های خاک واحد اساسی ساختار خاک هستند (۶۷) و پایداری خاکدانه به‌طورکلی به عنوان شاخص کیفیت خاک در نظر گرفته می‌شوند. براساس نتایج حاصل از این پژوهش، بیش‌ترین میزان پایداری خاکدانه در کاربری جنگل مشاهده شد. پایداری خاکدانه‌ها تحت‌تأثیر عوامل اتصال‌دهنده مختلف از جمله مواد آلی قرار می‌گیرد (۶۸)، در نتیجه، انتظار می‌رود شیوه‌های مدیریت اراضی با تأثیر بر ویژگی‌های مختلف خاک، مانند ظرفیت آب در دسترس گیاه، ورودی لاشبرگ و محتوای کربن آلی خاک موجب تغییر در پایداری شوند (۶۹). از این‌رو، تفاوت در زیست‌توده گیاهی روزمینی تحت کاربری‌های مختلف اراضی به ویژه در اکوسیستم جنگل (۹) بر ورودی‌های مواد آلی و پایداری خاکدانه‌ها اثر می‌گذارد. مطالعات نشان می‌دهد که ساختارهای خاک با تجمع خاکدانه‌های خاک تشکیل می‌شوند که در آن ذرات خاک با واسطه کربن آلی خاک، بیوتا، پل یونی، خاک رس و کربنات‌ها با یکدیگر اتصال پیدا می‌کنند (۷۰). بنابراین، هر گونه تغییر در فاکتورهای مذبور سبب تغییر درپایداری خاکدانه‌های خاک می‌شود (۷۱). بنابراین بالابودن میزان کربن آلی و رس در کاربری جنگل سبب افزایش پایداری خاکدانه در این کاربری شده است. سولیوَن و همکاران (۲۰۲۰) نیز گزارش کردند که ضمن این‌که افزایش میزان رس و مواد آلی باعث افزایش تخلخل و پایداری خاکدانه خاک می‌شود، به دنبال آن جرم مخصوص ظاهری خاک کاهش می‌یابد (۷۲). این روند در نتایج تحقیق حاضر نیز مشاهده شد، به طوری که در کاربری جنگل با غالبیت بلندمازو به علت وجود مواد آلی کافی و رس بیش‌تر، کم‌ترین مقدار جرم مخصوص ظاهری خاک مشاهده شد.

در این پژوهش کاربری‌های مختلف ار نظر میزان هدایت الکتریکی نیز دارای اختلاف معنی‌داری بودند به طوری که بیش‌تر میزان این پارامتر در کاربری جنگل مشاهده شد. تغییر در میزان هدایت الکتریکی می‌تواند به علت تفاوت در ترکیبات بقایای گیاهی ترکیب عوامل آزادسازی یون‌ها، کاهش آبشویی و افزایش ظرفیت نگهداری یون‌ها در خاک باشد. کیفیت مواد آلی و سرعت بالای تجزیه در کاربری جنگل می‌تواند از جمله دلایل بالا بودن میزان هدایت الکتریکی در این کاربری باشد. به‌طوری‌که میکروارگانیسم‌های موجود در خاک با تجزیه مواد آلی سبب آزاد سازی یون‌های معدنی به خاک و در نهایت افزایش غلظت املاح محلول در خاک می‌شوند و متعاقب آن منجر به بالا رفتن میزان هدایت الکتریکی می‌شوند (۷۳). نتایج هم‌چنین نشان می دهد که در جنگل‌ها به علت پوشش گیاهی متراکم،که در مطالعه ما میزان رطوبت خاک در کاربری جنگل با میزان ماده‌آلی بالاتر، بیش‌تر بود. پوشش گیاهی متراکم و با کاهش اثر ضربه‌ای باران و تسهیل نفوذ تدریجی آب، شسته شدن املاح محلول (Leaching) را به حداقل رسانده و موجب حفظ و تجمع آن‌ها در افق‌های بالایی خاک می‌شود.

عامل مستقیم و اصلی در افزایش هدایت الکتریکی (EC)، افزایش غلظت املاح محلول در خاک است. در اکوسیستم‌های جنگلی، علاوه بر آزادسازی یون‌ها از تجزیه مواد آلی، دو مکانیسم کلیدی دیگر باعث تجمع املاح می‌شوند. پوشش گیاهی متراکم و لایه ضخیم بقایای گیاهی و مواد آلی زیاد، با کاهش اثر ضربه‌ای باران و تسهیل نفوذ تدریجی آب، شسته شدن املاح محلول را به حداقل رسانده و موجب حفظ و تجمع آن‌ها در افق‌های بالایی خاک می‌شود (۱۱). خاک‌های جنگلی نیز با برخورداری از محتوای مواد آلی بالاتر و ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) بیش‌تر، توانایی بالایی در جذب و

نگهداری کاتیون‌هایی مانند کلسیم، منیزیم و پتاسیم دارند که تجمع این کاتیون‌ها مستقیماً به افزایش EC منجر می‌گردد (۷۳).

کاربری‌های مختلف اثر معنی‌داری بر ویژگی‌های زیستی خاک نیز دارند (۲۳). تغییر کاربری اراضی به کشاورزی باعث کاهش تنوع میکروبی خاک و تغییر در ساختار جوامع میکروبی می‌شود به گونه‌ای که مطالعه تریودی و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد که کاربری‌های مختلف اثر معنی‌داری بر ویژگی‌های زیستی خاک دارند (۱۳). این روند در نتایج تحقیق حاضر نیز مشاهده شد به طوری که نتایج اختلاف معنی‌دای بین کاربری‌های مختلف از نظر ویژگی‌های زیستی را نشان داد (۱۳). مطابق با نتایج این پژوهش زیست‌توده ریز ریشه تفاوت معنی‌داری در کاربری‌های مختلف نشان داد و در کاربری جنگل بیش‌ترین میزان را داشت که می‌تواند به دلیل تراکم بیشتر گیاهان و درختان، ورود مداوم مواد آلی به خاک و حاصلخیزی خاک در این کاربری باشد. مطالعه آگوستو و همکاران (۲۰۱۵) به نقش حاصلخیزی خاک در افزایش زیست‌توده ریز ریشه تأکید کرد (۷۴). از دلایل دیگر تغییرات میزان زیست توده ریز ریشه در کاربری‌های مختلف می‌توان به واکنش ریشه در پاسخ به وفور عناصر غذایی در خاک اشاره کرد؛ چرا که ریز ریشه‌های گیاهان جهت دسترسی بیش‌تر به عناصر غذایی مورد نیاز خود در سطح بیش‌تری از خاک گسترش می‌یابد (۷۵).

براساس نتایج بیش‌ترین میزان تنفس برانگیخته در کاربری جنگل با غالبیت بلندمازو و کاربری باغی با سابقه جنگلی و تنفس پایه در کاربری جنگل وجود داشت. نتایج پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که تنفس خاک، فعالیت‌های آنزیمی و زیست‌توده میکروبی نسبت به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به تغییرات کاربری اراضی حساس‌تر هستند (۷۶). تنفس خاک نشان‌دهنده فعالیت‌های زیستی و تجزیه بقایای گیاه است و محتوی نیتروژن بستر در افزایش تنفس خاک نقش مهمی دارد (۷۷). در واقع، میزان تجزیه و سطح تنفس خاک تحت‌تأثیر کیفیت بستر ورودی به خاک تحت‌تأثیر پوشش گیاهی مختلف قرار دارد. هم‌چنین، محتوی رطوبت خاک نقش اساسی و تعیین‌کننده‌ای در فعالیت زیستی و تنفس میکروبی خاک دارد (۷۸). تخریب اراضی جنگلی از جمله عواملی است که با تأثیر بر نسبت اجزای تشکیل‌دهنده بافت خاک می‌تواند نقش به‌سزایی در تغییرپذیری تنفس میکروبی ایفا نماید (۷۹). تنفس خاک ارتباط مستقیمی با حاصلخیزی خاک دارد و در مکان‌هایی با خاک غنی از کاتیون‌های پایه، میزان فعالیت میکروبی و در نتیجه تنفس خاک افزایش می‌یابد (۸۰). از این‌رو، میزان تنفس (پایه و برانگیخته) خاک تحت‌تأثیر عوامل متعددی مانند پوشش گیاهی سطح زمین، شیوه‌های مدیریتی (۸۱)، میزان رطوبت و دمای خاک (۸۲)، محتوای نیتروژن خاک، میزان مواد آلی ورودی به بستر خاک (۸۳) قرار دارد. در این پژوهش دلیل اصلی بالا بودن میزان تنفس پایه در کاربری جنگلی و تنفس برانگیخته در کاربری جنگلی و کاربری باغی با سابقه جنگل را می‌توان به میزان رطوبت، رس، کربن و موادآلی بیش‌تر در کاربری جنگل دانست. نتایج مطالعات پیشین نشان داد که میزان تنفس میکروبی خاک با میزان کربن و نیتروژن خاک ارتباط نزدیک و معناداری داشت (۸۴). نتایج حاصل از تجزیه PCA در این پژوهش نیز بیش‌تر بودن میزان تنفس، ماده‌آلی، رطوبت و کربن را نشان داد. از طرف دیگر در کاربری‌های زراعی به‌علت عملیات کشاورزی به‌خصوص خاک ورزی در درازمدت باعث افزایش دسترسی موجودات ریز خاک به اکسیژن شده و باعث افزایش فعالیت‌های میکروبی مانند تنفس خاک می‌شود و در نهایت باعث تجزیه مواد آلی خاک و کاهش کیفیت خاک می‌شود (۶۴).

ترکیب و فراوانی زیتوده میکروبی به‌عنوان شاخص‌های مؤثر تغییرات در انواع مواد مغذی، گونه‌های گیاهی و آب و هوا عمل می‌کند (۸۵). تغییر در شرایط عادی اکوسیستم‌ها و تخریب زیستگاه‌های طبیعی می‌تواند بر عواملی تأثیرگذار (مانند کیفیت و کیفیت لاشبرگ، شکاف‌های تاج‌پوش، گونه‌های مختلف، ریزاقلیم و غیره) بر فعالیت‌های میکروبی و انتشار دی‌اکسید کربن خاک تأثیر بگذارد (۸۶). از طرفی، فعالیت‌های میکروبی خاک توسط عوامل محیطی مانند دما، محتوای آب، اسیدیته و ترکیب جامعه روزمینی هدایت می‌شود (۸۷). افزایش کربن زیست‌توده میکروبی و نیتروژن در کاربری جنگل و زیست‌توده میکروبی فسفر در کاربری جنگل و باغ با سابقه جنگل می‌تواند به دلیل در دسترس بودن بیش‌تر کربن، عناصر غذایی (نیتروژن، فسفر و ...) و شرایط محیطی بهتر ار نظر دما و محتوای رطوبت خاک باشد که بالاتربودن میزان زیست توده‌های میکروبی در نتایج تجزیه PCA در این پژوهش با قرارگیری میزان بالاتر این پارامترها در کاربری جنگل نیز این مسأله را تأیید می‌کند و تأییدی بر بالاتر بودن بیومس میکروبی در اکوسیستم جنگلی به دلیل شرایط محیطی و عناصر غذایی بهتر است.

فعالیت آنزیم‌های خاک تحت‌تأثیر کاربری‌های مختلف تغییر می‌کنند. ریتز و همکاران (۲۰۰۹) اثر معنی‌دار تغییر کاربری اراضی بر بر فعالیت آنزیم‌های خاک و تنوع میکروبی را نشان دادند (۳). نتایج مطالعه حاضر نیز نشان داد که تحت‌تأثیر کاربری‌های مختلف فعالیت آنزیم‌های خاک نیز تغییر می‌کند. به‌طوری‌که در کاربری جنگل فعالیت آنزیمی بالاتر بود. در مطالعه باربرو و همکاران (۲۰۲۵) بالاترین میزان فعالیت‌های آنزیم در کاربری جنگل و کمترین میزان در کاربری زراعی را گزارش کردند (۱۹). براساس نتایج در کاربری جنگل به علت ورود مواد آلی با کیفیت‌تر، عناصر غذایی در دسترس شامل فسفر، پتاسیم، منیزیم و کلسیم، نیتروژن کل، نیتروژن آلی ذره‌ای و محلول، فعالیت آنزیم‌های خاک نسبت به سایر کاربری‌ها افزایش یافت. در این راستا افزایش فعالیت‌های آنزیمی در ارتباط با میزان ماده‌آلی و غلظت مواد مغذی بیش‌تر در پژوهش یائو و همکاران (۲۰۲۰) گزارش شده است (۸۸). مطابق گزارش زِنگ و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد همبستگی مثبتی بین کربن‌آلی، نیتروژن، فسفر و فعالیت اینورتاز وجود دارد که نتایج مطالعه حاضر مبنی بر بالاتر بودن میزان اینورتاز در کاربری جنگل این مسأله را تأیید می‌کند (۸۹). فعالیت آنزیم اوره‌آز در خاک تحت‌تأثیر عوامل مختلفی از جمله نوع کاربری اراضی قرار می‌گیرد. این آنزیم نقش مهمی در چرخه نیتروژن دارد و هیدرولیز اوره به آمونیاک و دی‌اکسیدکربن را کاتالیز می‌کند. فعالیت اوره‌آز در خاک‌های مختلف بسته به نوع کاربری اراضی (مانند جنگل، مرتع، زمین‌های کشاورزی و غیره) متفاوت است (۹۰). بالاتر بودن میزان pH، خاک و محتوای کل نیتروژن و فسفر به طور قابل‌توجهی فعالیت آنزیم اوره‌آز خاک را افزایش می‌دهد و محتوای بالاتر رطوبت خاک، کربن، نیتروژن و فسفر می‌تواند شرایط مطلوبی را برای فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز فراهم کند (۹۱، ۹۲) که همسو با نتایج مطالعه حاضر می‌باشد. به موازات فعالیت بیش‌تر آنزیم‌ها در کاربری جنگل، شاخص میانگین هندسی فعالیت آنزیم در این کاربری در مقایسه با سایر کاربری‌ها بیش‌تر بود. این میانگین هندسی فعالیت آنزیمی، شاخص مفیدی برای اندازه‌گیری کیفیت خاک است (۹۳)، زیرا مقادیر آن با سایر فیزیکی و شیمیایی خاک (۹۴) یا خواص زیستی مانند عملکرد جامعه نماتد مرتبط می‌باشد (۴۸). هم‌چنین از این شاخص برای تغییرات در مدیریت خاک نیز مورد استفاده می‌شود (۹۴). مطابق با مطالعات پیشین بیش‌تر بودن

میانگین هندسی آنزیم خاک نشان دهنده کیفیت بهتر خاک است (۹۵). در مطالعه ما، میانگین هندسی فعالیت آنزیمی از نظر آماری در کاربری جنگل با غالبیت بلندمازو در مقایسه با سایر کاربری‌ها بالاتر بود که نشان‌دهنده کیفیت بهتر خاک در این کاربری در مقایسه با سایر کاربری‌ها است.

فعالیت‌های زیستی تحت‌تأثیر نوع کاربری هستند و مقدار بیش‌تر فعالیت‌های زیستی در هر کاربری بیانگر کیفیت بالاتر خاک آن می‌باشد(۹۶). در یک پژوهش توسط فیلیپس و همکاران (۲۰۱۹) به نقش مؤثر بیش‌تر بودن عناصر غذایی خاک مانند نیتروژن، پتاسیم، فسفر و منیزیم و کیفیت بهتر بیش‌تر در افزایش فعالیت‌های زیستی خاک تأکید شد (۹۷). در همین راستا مطالعه ما نشان داد که در کاربری جنگل، کربن زیست‌توده میکروبی و نیتروژن در کاربری جنگل و کاربری باغی با سابقه جنگل زیست‌توده میکروبی فسفر بیش‌ترین میزان را داشتند. نتایج آنالیز مؤلفه اصلی نیز بهتر بودن شرایط کاربری جنگل را از نظر فعالیت‌های زیستی تأیید می‌کند. مطالعه کوچ و همکاران (۲۰۲۱) نیز نشان داد که افزایش محتوی مواد مغذی خاک می‌تواند منجر به افزایش فعالیت‌های زیستی شود که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت داشت (۹۸). از طرف دیگر تغییرات در کاربری اراضی از مناطق بکر و جنگلی به سایر کاربری‌ها (مرتع و زراعت) به علت تخریب و کاهش حاصلخیزی خاک، زیست‌توده میکروبی را کاهش می‌دهد (۱۹). افزایش کربن‌آلی خاک را می‌توان یکی از دلایل بالا بودن کربن زیست‌توده میکروبی و نیتروژن در کاربری جنگل دانست. مطالعات پیشین همبستگی بالای کربن زیست‌توده میکروبی و نیتروژن با مقدار کربن خاک را گزارش کردند (۹۹).

از آنجایی‌که تغییر کاربری به عنوان یک دگرگونی محیطی کلیدی شناخته می‌شود، می‌تواند بر پارامترهای محیطی خاک، حالات مواد مغذی و فعل و انفعالات بیولوژیکی تأثیر بگذارد و در نتیجه بر جوامع میکروبی تأثیر بگذارد. به‌طوری‌که تغییرات کاربری اراضی بر ساختار، جمعیت و تنوع میگروارگانیسم‌های خاک مانند جامعه قارچی خاک، کرم‌های خاکی، پادمان، کنه و باکتری اثر می‌گذارد (۱۰۰، ۱۰۱، ۱۰۲، ۱۰۳، ۱۰۴). براین اساس نتایج مطالعه حاضر نشان داد که بیش‌ترین تعداد و زیتوده کرم‌های حفار، درون خاکی و کل کرم‌های خاکی، کنه، پادمان، نماتد، باکتری، قارچ در کاربری جنگل و کم‌ترین میزان این پارامترها در کاربری‌های زراعی مشاهده شد. جنگل‌ها به دلیل پایداری بیش‌تر اکوسیستم، سرعت تجزیه کندتر و مواد آلی غنی‌تر، ساختار پیچیده‌تر خاک و عدم اختلالات انسانی مانند شخم زدن و استفاده از کودهای شیمیایی که سبب حفظ ساختار فیزیکی و شیمیایی خاک و در نهایت حفظ تنوع زیستی خاک می‌شود، شرایط بهتری را برای رشد و تنوع میکروارگانیسم‌های خاک فراهم می‌کنند (۱۰۵، ۱۰۶). مطالعات پیشین نیز بیش‌تر بودن کرم‌های خاکی، کنه‌ها، پادمان، نماتدها، پروتوزئور، باکتری‌ها و قارچ‌ها در مناطق با عناصر غذایی بیش‌تر را گزارش کرده‌اند (۱۰۷، ۱۰۸). در مقابل، در کاربری‌های مرتعی، باغی و زراعی به دلیل فعالیت‌های انسانی از جمله چرای دام، شخم زدن، استفاده از کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها، سرعت تجزیه سریع‌تر، اختلال در ساختار خاک تنوع و فراوانی میکروارگانیسم‌های خاک کاهش می‌یابد. نتایج مطالعه فان دن هوخن و همکاران (۲۰۱۹) کاهش تنوع نماتدها در اثر تغییر کاربری اراضی را نشان داد و عنوان کردند که تنوع و ساختار جامعه نماتدها در نتیجه تغییرات کاربری اراضی مانند تبدیل جنگل‌ها به زمین‌های کشاورزی تغییر می‌کند (۱۰۴). فایرر و همکاران (۲۰۲۱) کاهش تنوع باکتری‌ها و قارچ‌ها و روزِک (۱۹۹۸) کاهش تنوع و فراوانی

پادمان‌ها در نتیجه تغییرات کاربری اراضی را گزارش کردند (۱۰۰، ۱۰۶).

سهم میکروبی خاک به عنوان یکی از شاخص‌های زیستی خاک بیانگر رابطه متقابل بین کربن زیتوده میکروبی و معدنی‌شدن کربن آلی و کیفیت خاک است که به منظور اندازه‌گیری تجمع کربن در فرآیندهای تخریب اکولوژیکی خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد (۹۱). نتایج مطالعه حاضر نیز بالاتر بودن سهم میکروبی در کاربری جنگل نسبت به سایر کاربری‌ها نشان داد. بیش‌تر بودن سهم میکروبی نشان‌دهنده رشد میکروبی خوب در خاک می‌باشد که این مسأله خود ناشی از سوبسترای در دسترس و حاصلخیزی بالای خاک می‌باشد (۱۰۹). شاخص ضریب متابولیکی نیز اختلاف آماری معنی‌داری را در کاربری‌های مختلف نشان داد. این ضریب نشان‌دهنده مقدار کربن متصاعد شده (تنفس پایه) از هر واحد کربن زیست‌توده میکروبی در واحد زمان می‌باشد (۵۵) که در این پژوهش میزان آن در کاربری زراعت با سابقه مرتع و جنگل بیش‌تر بود که بالاتربودن میزان این ضریب بیانگر این مسأله است که کربن خاک بیش‌تر صرف تولید انرژی شده است (۱۱۰).

به‌طورکلی نتایج حاصل از این پژوهش تأکید می‌کند که تبدیل مناطق جنگلی به اکوسیستم‌های دیگر سبب تغییر در خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولویک خاک می‌شود. کاربری جنگل از زیست‌توده میکروبی بالاتر و کیفیت خاک بهتر در مقایسه با سایر کاربری‌ها برخوردار است که می‌تواند به‌علت در دسترس بودن ماده‌آلی خاک، تنوع لاشبرگ و وجود ریز ریشه‌ها باشد. بنابراین تبدیل جنگل به سایر کاربری‌ها تغییرات قابل‌توجهی برای عملکرد خاک دارد و سبب کاهش حاصلخیزی و فعالیت میکروبی خاک می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش بیانگر آن است که تغییرات کاربری اراضی بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک اثر گذاشته است. مطابق با نتایج این پژوهش جنگل با غالبیت درختان بلند مازو دارای شرایط مناسبی از نظر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک را در مقایسه با سایر کاربری‌های مورد مطالعه بود. به طوری‌که بیش‌ترین میزان عناصر غذایی خاک، میکروارگانیسم‌های خاک، فعالیت‌های آنزیمی و میکروبی در این کاربری مشاهده شد. نتایج تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) نیز حاصلخیزی و فعالیت زیستی خاک بیش‌تر در کاربری جنگل را نشان داد. به‌طورکلی نتایج این پژوهش حاکی از آنست که تغییر کاربری اراضی از جنگل به سایر کاربری‌ها مانند باغ، مرتع و زراعت باعث کاهش کیفیت خاک می‌شود.

منابع

1.Lal, R. (2020). Soil science beyond COVID-19. *Journal of Soil and Water Conservation*, 75(4), 79A-81A. **DOI:10.2489/jswc.2020.0408A.**

2.Kopittke, P. M., Menzies, N. W., Wang, P., McKenna, B. A., & Lombi, E. (2019). Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment International*, 132, 105078. **https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105078.**

3.Ritz, K., Black, H. I. J., Campbell, C. D., Harris, J. A., & Wood, C. (2009). Selecting biological indicators for monitoring soils: A framework for balancing scientific and technical opinion to assist policy development. *Ecological Indicators*, 110, 105951. **https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.02.009.**

4.Sun, Y., Luo, C., Jiang, L., Song, M., Zhang, D., Li, J., Li, Y., Ostle, N. J., & Zhang, G. (2020). Land-use changes

alter soil bacterial composition and diversity in tropical forest soil in China. *Science of the total environment*, 712, 136526. **DOI: 10.1016/j.scitotenv. 2020.136526.**

5.Dahir, Y. A., Derege, T. M., & Tadeos, S. W. (2022). Variability of soil chemical properties in lower Wabishebele Sub-Basin in Somali Region South-eastern Ethiopia, as influenced by land use and land cover. *African Journal of Agricultural Research*, 18 (2), 153-161. **DOI://doi. org/10.5897/AJAR2021.15840.**

6.Meyfroidt, P., & Lambin, E. F. (2011). Global forest transition: prospects for an end to deforestation. *Annual review of environment and resources*, 36, 343-371. **DOI:10.1146/annurev-environ-090710-143732.**

7.Zahedifar, M. (2023). Assessing alteration of soil quality, degradation, and resistance indices under different land uses through network and factor analysis. *Catena*, 222, 106807. **https:// doi.org/10.1016/j.catena.2022.106807.**

8.Leul, Y., Assen, M., Damene, S., & Legass, A. (2023). Effects of land use types on soil quality dynamics in a tropical sub-humid ecosystem, western Ethiopia. *Ecological Indicators*, 147, 110024. **https://doi.org/10.1016/ j.ecolind.2023.110024.**

9.Liu, M., Han, G., Li, Z., Zhang, Q., & Song, Z. (2019). Soil organic carbon sequestration in soil aggregates in the karst Critical Zone Observatory, Southwest China. *Plant, Soil & Environment*, 65 (5), 253-259. **DOI:10.17221/602/2018-PSE.**

10.Jafari, M., Chahouki, M. A. Z., Tavili, A., & Azarnivand, H. (2013). Soil-vegetation relationships in rangelands of Qom Province, Iran. *Journal of Rangeland Science*, 3 (1), 11-20. **DOI:10.3923/pjn.2003.329.334.**

11.Kooch, Y., Hosseini, S. M., Zaccone, C., Jalilvand, H., & Hojjati, S. M. (2012). Soil organic carbon sequestration as affected by afforestation: The Darab Kola forest (north of Iran) case study. *Journal of Environmental Management*, 197, 457-464. **DOI:10.1039/c2em30410d.**

12.Post, W. M., & Kwon, K. C. (2000). Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. *Global Change Biology*, 6 (3), 317-327. **DOI: 10. 1046/j.1365-2486.2000.00308.x.**

13.Trivedi, P., Delgado-Baquerizo, M., Anderson, I. C., & Singh, B. K. (2016). Response of soil properties and microbial communities to agriculture: Implications for primary productivity and soil health indicators. *Frontiers in Plant Science*, 10, 980. **doi: 10.3389/ fpls.2016.00990.**

14.Brevik, E. C., Cerdà, A., Mataix-Solera, J., Pereg, L., Quinton, J. N., Six, J., & Van Oost, K. (2015). The interdisciplinary nature of SOIL. *SOIL*, 1 (1), 117-129. **DOI:10.5194/soil-1-117-2015.**

15.Newbold, T., Hudson, L. N., Arnell, A. P., Contu, S., De Palma, A., Ferrier, S., Hill, S. L., Hoskins, A. J., Lysenko, I., Phillips, H. R., & Burton, V. J. (2016). Has land use pushed terrestrial biodiversity beyond the planetary boundary? A global assessment. *Science*, 353 (6296), 288-291. **DOI: 10.1126/ science.aaf2201.**

16.Kooch, Y., Rostayee, F., & Hosseini, S. M. (2016). Effects of tree species on topsoil properties and nitrogen cycling in natural forest and tree plantations of northern Iran. *Catena*, 144, 65-73. **https:// doi.org/ 10.1016/j.catena.2016. 05.002.**

17.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.**

18.Davari, M., Gholami, L., Nabiollahi, K., Homaee, M., & Jafari, H. J. (2020). Deforestation and cultivation of sparse forest impacts on soil quality (case

study: West Iran, Baneh). *Soil and Tillage Research*, 198, 104504. **https:// doi.org/10.1016/j.still.2019.104504.**

19. Barbero, F. M., Dominchin, M. F., Verdenelli, R. A., Frasier. I., Restovich, S. B., Campilongo Mancilla, E. J., Mlewski, E. C., Labuckas, D., Gil, S. V., & Meriles, J. M. (2025). Impact of land use changes on soil chemical properties, enzyme activities and microbial communities in two contrasting localities of the Argentinian Pampas. *Applied Soil Ecology*, 206, 105836. **https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2024. 105836.**
20. Rahmani, R., Hosseini, S. M., & Kooch, Y. (2021). Effects of land use change on soil properties and carbon sequestration in northern Iran. *Journal of Environmental Management*, 280, 111742.
21. Mehmandoost, F., Owliaie, H. R., Adhami, E., & Naghiha, R. (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), 578-599. **DOI://doi.org/ 10.22067/jsw.v32i3.71746.** [In Persian]
22. Akbari-Shahriari, F., Boroomand, N., Shahriari, A., Shirmohammadi, E., & Fazeli-Nasab, B. (2023). The effect of land use changes on soil organic carbon and determination of the affecting soil factors in a bio-sequence (Case study: Jazink region of Sistan plain). *Journal of Water and Soil Conservation*, 30 (1), 131-150. **10.22069/jwsc.2023. 20864.3604.** [In Persian]
23. Sadati, M. S., Beheshti Ale Agha, A., & Hamedi, F. (2023). The effect of land abandonment on biological, physical and chemical properties of soils. *Journal of Water and Soil*, 37 (3), 397-413. **https://doi.org/10.22067/jsw.2022.7754 3.1179.** [In Persian]
24. Blake, G. R., & Hartge, K. H. (1986). Particle density. In: Klute, A. (Ed.), Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods, 2nd ed. SSSA Book Ser. 5. ASA and SSSA, Madison. Pp: 377-382.
25. Pires, L.F., Brinatti, A. M., Saab, S. C., & Cassaro, F. A. (2014). Porosity distribution by computed tomography and its importance to characterise soil clod samples. *Applied Radiation and Isotopes*, 92, 37-45. **https://doi.org/10. 1016/j.apradiso.2014.06.010.**
26. Tavakoli, M., Kooch, Y., & Akbarinia, M. (2018, May). The effect of degraded and reclaimed forest areas on carbon dioxide gas emissions and soil carbon mineralization in West of Mazandaran. In Proceedings of the International Symposium of Climate Change and Dendrochronology in Caspian Ecosystems: Sari, Iran.
27. Bouyoucos, G. J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Journal of Agrobiology*, 56, 464-465. **doi: 10.2134/ agronj1962.00021962005400050028x.**
28. Allison, L. E. (1965). Organic carbon. In: "Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties" (Page AL, Miller RH, Keeney DR eds). American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, *Madison*, WI, USA, Pp: 1367-1378.
29. Handayani, I. P., Coyne, M. S., & Tokosh, R. S. (2010). Soil organic matter fractions and aggregate distribution in response to tall fescue stands. *International Journal of Soil Science*, 5, 1-10**. doi: 10.3923/ijss.2010. 1.10.**
30. Robertson, G. P., Coleman, D. C., Sollins, P., & Bledsoe, C. S. (1999). Standard soil methods for long-term ecological research (Vol. 2). Oxford University Press on Demand. 480p.
31. Bremner, J. M., & Mulvaney, C. S. (1982). Nitrogen-total. In: "Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties" (Page AL, Miller RH, Keeney DR eds). American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI, USA, Pp: 595-624.

32. Jones, D. L., & Willett, V. B. (2006). Experimental evaluation of methods to quantify dissolved organic nitrogen (DON) and dissolved organic carbon (DOC) in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 38, 991-999. **https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.08.012.**
33. Bower, C. A., Reitemeier, R. F., & Fireman, M. (1952). Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. Soil Science, 73, 251-261. **DOI:10.1097/00010694-195204000-00001.**
34. Homer, C. D., & Pratt, P. F. (1961). Methods of analysis for soils, plants and waters. Agricultural Sciences Publications, University of California, Berkeley, CA, USA. 309 p.
35. Kemper, W. D., & Rosenau, R. C. (1986). Aggregate stability and size distribution. In: Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods, 2nd ed. *American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin*, Pp: 383-411.
36. Zancan, S., Trevisan, R., & Paoletti, M. G. (2006). Soil algae composition under different agro-ecosystems in North-Eastern Italy. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 112 (1), 1-12. **https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.06.018.**
37. Duran, J., Rodriguez, A., Palacios, J. M. F., & Gallardo, A. (2009). Changes in net Nmineralization rates and soil N and P pools in pine forest wildfire chronosequence. *Biology and Fertility of Soils*, 45, 781-788. **DOI:10.1007/s00374-009-0389-4.**
38. Nianpeng, H., Yunhai, Z., Jingzhong, D., Xingguo, H., Taogetao, B., & Guirui, Y. (2012). Land-use impact on soil carbon and nitrogen sequestration in typical steppe ecosystems, Inner Mongolia. *Journal of Geographical Sciences*, 22, 859-873. **DOI: 10.1007/s11442-012-0968-4.**
39. Bayranvand, M., Kooch, Y., & Rey, A. (2017). Earthworm population and microbial activity temporal dynamics in a Caspian Hyrcanian mixed forest. *European Journal of Forest Research*, 136, 447-456. **DOI: 10.1007/s10342-017-1044-5.**
40. Kooch, Y., Samadzadeh, B., & Hosseini, S. M. (2017). The effects of broad-leaved tree species on litter quality and soil properties in a plain forest stand. *Catena*, 150, 223-229. **DOI: 10.1016/j.catena.2016.11.023.**
41. Neher, D. A. (1999). Soil community composition and ecosystem processes: comparing agricultural ecosystems with natural ecosystems. *Agroforestry Systems*, 45, 159-185. **DOI: 10.1023/A:1006299100678.**
42. Adl, S. M., Acosta-Mercado, D., Anderson, T. R., & Lynn, D. H. (2006). Protozoa, supplementary material. *Soil Sampling and Methods of Analysis*, 2 (1), 455-470.
43. Wollum, A. G. (1983). Cultural methods for soil microorganisms. In: "Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties" (Page AL, Miller RH, Keeney DR eds). American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI, USA. Pp: 781-802.
44. Alef, K., & Nannipieri, P. (1995). Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry. Academic Press, London.
45. Neatrour, M. A., Jones, R. H., & Golladay, S. W. (2005). Correlations between soil nutrient availability and fine-root biomass at two spatial scales in forested wetlands with contrasting hydrological regimes. *Canadian Journal of Forest Research*, 35 (12), 2934-2941. **DOI:10.1139/x05-217.**
46. Anderson, T. H., & Domsch, K. H. (1990). Application of eco-physiological quotients (qCO_2 and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. Soil Biol. *Biochem*, 22, 251-255. **https://doi.org/10.1016/0038-0717(90)90094-G.**
47. Brookes, P. C., Landman, A., Pruden, G., & Jenkinson, D. S. (1985). Chloroform fumigation and the release

of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 17, 837-842. **https://doi org/10.1016/0038-0717(85)90144-0.**

48. Paz-Ferreiro, J., Gascó, G., Gutiérrez, B., & Méndez, A. (2012). Soil biochemical activities and the geometric mean of enzyme activities after application of sewage sludgeand sewage sludge bio char to soil. *Biology and Fertility of Soils*, 48, 511-517. **DOI: 10.1007/s00374-011-0644-3.**
49. Lagomarsino, A., Benedetti, A., Marinari, S., Pompili, L., Moscatelli, M. C., Roggero, P. P., Lai, R., Ledda, L., & Grego, S. (2011). Soil organic C variability and microbial functions in a Mediterranean agro-forest ecosystem. *Biology and Fertility of Soils*, 47, 283-291. **DOI: 10.1007/s00374-010-0530-4.**
50. Mao, R., & Zeng, D. H. (2010). Changes in soil particulate organic matter, microbial biomass, and activity following afforestation of marginal agricultural lands in a semi-arid area of Northeast China. Environmental Management, 46 (2), 110-116. **DOI: 10. 1007/s00267-010-9504-4.**
51. Wang, Q., Liu, J., Wang, Y., Guan, J., Liu, L., & Lv, D. A. (2012). Land use effects on soil quality along a native wetland to cropland chronosequence. *European Journal of Soil Biology*, 53, 114-120. **https://doi.org/10.1016/ j.ejsobi.2012.09.008.**
52. Askari, E., Owliaie, H. R., Safari, Y., & Sedghi Asl, M. (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. [In Persian]
53. Mueller, R. C., Rodrigues, J. L. M., Nüsslein, K., & Bohannan, B. J. M. (2016). Land use change in the Amazon rain forest favours generalist fungi. *Functional Ecology*, 30, 1845-1853. **https:// doi.org/ 10.1111/ 1365-2435. 12651.** [In Persian]
54. Panwar, N.R., Ramesh, P., Singh, A. B., Ramana, S. (2010). Influence of organic, chemical, and integrated management practices on soil organic carbon and soil nutrient status under semi-arid tropical conditions in Central India. *Communications in soil science and plant analysis*, 41 (9), 1073-1083. **https://doi.org/10.1080/00103621003687166.**
55. Raiesi, F., & Asadi, E. (2006). Soil microbial activity and litter turnover in native grazed and ungrazed rangelands in a semiarid ecosystem. *Biology and Fertility of Soils*, 43, 76-82. **DOI:10. 1007/s00374-005-0066-1.**
56. Kooch, Y., Ghorbanzadeh, N., Hajimirzaaghaee, S., & Francaviglia, R. (2023). Soil biological quality as affected by vegetation types in shrublands of a semi-arid montane environment. *Applied Soil Ecology*, 189, 104980. **DOI: 10.1016/j.apsoil. 2023.104980.**
57. Owliaie, H. R., Adhami, E., Farajee, H., & Fayyaz, F. (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]
58. Sharrow, S. H., & Ismail, S. (2004). Carbon and nitrogen storage in agroforests, tree plantations, and pastures in western Oregon, USA. *Agroforestry Systems*, 60, 123-130. **DOI: 10.1023/B:AGFO.0000013267. 87896.41.**
59. Jiao, S., Li, J., Li, Y., Xu, Z., Kong, B., Li, Y., & Shen, Y. (2020). Variation of soil organic carbon and physical properties in relation to land uses in the Yellow River Delta, China. Scientific Reports, 10 (1), 20317. **DOI: 10.1038/ s41598-020-77303-8.**
60. Fouché, J., Christiansen, C. T., Lafrenière, M. J., Grogan, P., & Lamoureux, S. F. (2020). Canadian permafrost stores large pools of ammonium and optically distinct dissolved organic matter. *Nature*

Communications, 11 (1), 4500. **doi: 10. 1038/s41467-020-18331-w.** [In Persian]

61. Sagheb-Talebi, K., Sajedi, T., & Pourhashemi, M. (2014). Forests of Iran: A treasure from the past, a hope for the future. Springer Science & Business Media, Tehran.
62. Chase, P., & Singh, O. P. (2014). Soil nutrients and fertility in three traditional land use systems of Khonoma, Nagaland, India. *Resources and Environment*, 4 (4), 181-189. **DOI: 10.5923/j.re.2014 0404.01.**
63. Chi, Y., Shi, H., Wang, X., Qin, X., Zheng, W., & Peng, S. (2016). Impact factors identification of spatial heterogeneity of herbaceous plant diversity on five southern islands of Miaodao Archipelago in North China. *Chinese journal of oceanology and limnology*, 34 (5), 937-951. **https://doi. org/10.1007/s00343-016-5111-4.**
64. Owliaie, H. R., Adhami, E., & Najafi Ghiri, M. (2023). Effect of Land Use Change on Some Fertility and Biological Properties of the Soils of Yasouj Forest Region. *Journal of Water and Soil Science*, 27 (3), 57-75. **DOI: 10.47176/ jwss.27.3.53491**. [In Persian]
65. Meyfroidt, P., Vu, T. P., & Hoang, V. A. (2013). Trajectories of deforestation, coffee expansion and displacement of shifting cultivation in the Central Highlands of Vietnam. *Global Environmental Change*, 23(5), 1187-1198. **https:// doi.org/ 10.1016/ j.gloenvcha. 2013.04.005.**
66. Binkley, D., & Fisher, R. (2012). Ecology and Management of Forest Soils. *John Wiley & Sons*, 368p.
67. Tang, X., Qiu, J., Xu, Y., Li, J., Chen, J., Li, B., & Lu, Y. (2022). Responses of soil aggregate stability to organic C and total N as controlled by land-use type in a region of south China affected by sheet erosion. *Catena*, 218, 106543. **https:// doi.org/10.1016/j.catena.2022.106543.**
68. Six J., Elliot, E. T., & Paustian, K. (2000). Soil macroaggregate turn over and micro-aggregate formation for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biology and Biochemistry*, 32, 2099-2103.
69. Kooch, Y., & Sohrabzadeh, Z. (2024). Soil quality indicators are clearly plant species-specific: Implication for ecosystem management in a semi-arid landscape. *Ecological Engineering*, 207, 107357. **https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2024. 107357.**
70. Guo, L. B., & Gifford, R. M. (2002). Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global Change Biology*, 8 (4), 345-360. **https://doi.org/10.1046/ j.1354-1013.2002.00486.x.**
71. Gan, F., Shi, H., Gou, J., Zhang, L., Dai, Q., & Yan, Y. (2024). Responses of soil aggregate stability and soil erosion resistance to different bedrock strata dip and land use types in the karst trough valley of Southwest China. *International Soil and Water Conservation Research*, 12 (3), 684-696. **https://doi.org/10. 1016/j.iswcr.2023.09.002.**
72. Sullivan, P. F., Stokes, M. C., McMillan, C. K., & Weintraub, M. N. (2020). Labile carbon limits late winter microbial activity near Arctic tree line. *Nature Communications*, 11 (1), 1-9. **DOI:10.1038/s41467-020-17790-5.**
73. Sparks, D. L. (2003). Environmental soil chemistry (2nd ed.). Academic Press.
74. Augusto, L., De Schrijver, A., Vesterdal, L., Smolander, A., Prescott, C., & Ranger, J. (2015). Influences of evergreen gymnosperm and deciduous angiosperm tree species on the functioning of temperate and boreal forests. *Biological Reviews*, 90 (2), 444-466. **https://doi.org/10.1111/brv.12119.**
75. Yuan, Z. Y., & Chen, H. Y. (2010). Fine Root Biomass, Production, Turnover Rates, and Nutrient Contents in Boreal Forest Ecosystems in Relation to Species, Climate, Fertility, and Stand Age: Literature Review and Meta-Analyses. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 29 (4), 204-221. **https://doi. org/10.1080/07352689.2010.483579.**

76. Acosta-Martínez, V., Cruz, L., Sotomayor-Ramírez, D., & Pérez-Alegría, L. (2007). Enzyme Activities as affected by soil properties and land use in a tropical watershed. *Applied Soil Ecology*, 35 (1), 35-45. **DOI:10.1016/j.apsoil.2006.05.012.**
77. Ferreira, A. C. C., Leite, L. F. C., Araújo, A. S. F., & Eisenhauer, N. (2016). Land use type effects on soil organic Carbon and microbial properties in a semi-arid region of Northeast Brazil. *Land Degradation and Development*, 27 (2), 171-178. **https://doi.org/10.1002/ldr.2282.**
78. Kooch, Y., & Ghaderi, E. (2023). The effect of Crataegus and Berberis canopy types on bioindicators of soil quality in a semi-arid climate. *Journal of Arid Environments*, 208, 104862. **DOI:10.1016/j.jaridenv.2022.104862.**
79. Tong, H., Simpson, A. J., Paul, E. A., & Simpson, M. J. (2021). Land-use change and environmental properties alter the quantity and molecular composition of soil-derived dissolved organic matter. *ACS Earth and Space Chemistry*, 5 (6), 1395-1406. **https://doi.org/10. 1021/acsearthspacechem.1c00033.**
80. Fabíola Barros, M., Pinho, B. X., Leão, T., & Tabarelli, M. (2018). Soil attributes structure plant assemblages across an Atlantic forest mosaic. *Journal of Plant Ecology*, 11 (4), 613-622. **DOI:10.1093/jpe/rtx037.**
81. Rothe, A., Cromack, K., Resh, S. C., Makineci, E., & Son, Y. (2002). Soil carbon and nitrogen changes under Douglas-fir with and without red alder. *Soil Science Society of America Journal*, 66 (6), 1988-1995. **DOI:10.2136/sssaj 2002.1988.**
82. Stott, D. E. (2019). Recommended soil health indicators and associated laboratory procedures. *Soil Health Technical Note [Preprint]*, Pp: 450-03.
83. Singh, J. S., Singh, D. P., & Kashyap, A. K. (2009). A comparative account of the microbial biomass-N and N-mineralization of soils under natural forest, grassland and crop field from dry tropical region, India. *Plant Soil Environ*, 55 (6), 223-230. **DOI: 10.17221/1021-PSE.**
84. Brinkmann, N., Schneider, D., Sahner, J., Ballauff, J., Edy, N., Barus, H., Irawan, B., Budi, S. W., Qaim, M., Daniel, R., & Polle, A. (2019). Intensive tropical land use massively shifts soil fungal communities. *Scientific Reports*, 9 (1), 1-11. **DOI:10.1038/s41598-019-39829-4.**
85. Spohn, M., Pötsch, E. M., Eichorst, S. A., Woebken, D., Wanek, W., & Richter, A. (2016). Soil microbial carbon use efficiency and biomass turnover in a long-term fertilization experiment in a temperate grassland. *Soil Biology and Biochemistry*, 97, 168-175. **DOI:10.1016/j.soilbio. 2016.03.008.**
86. Tiamgne, X. T., Kalaba, F. K., & Nyirenda, V. R. (2021). Land use and cover change dynamics in Zambia's Solwezi copper mining district. Scientific African, 14, e01007. **DOI:10.1016/j.sciaf.2021.e01007.**
87. Sherman, L., & Coleman, M. D. (2020). Forest soil respiration and exoenzyme activity in western North America following thinning, residue removal for biofuel production, and compensatory soil amendments. *GCB Bioenergy*, 12 (3), 223-236. **https://doi.org/ 10. 1111/gcbb.12668.**
88. Yao, Y., Shaoa, M., Fu, X., Wang, X., & Wei, X. (2020). Effects of shrubs on soil nutrients and enzymatic activities over a 0–100 cm soil profile in the desert-loess transition zone. *Catena*, 174, 362-370. **https://doi.org/10.1016/j.catena.2018. 11.031.**
89. Zeng, D. H., Hu, Y. L., Chang, S. X., & Fan, Z. P. (2009). Land cover change effects on soil chemical and biological properties after planting Mongolian pine (Pinus sylvestris var. Mongolia) in sandy lands in Keerqin, northeastern China. *Plant Soil*, 317, 121-133. **DOI:10.1007/s11104-008-9793-z.**

90.Zhou, Z., Wang, C., & Luo, Y. (2020). Effects of forest degradation on microbial communities and soil carbon cycling: A global meta-analysis. *Global Ecology and Biogeography*, 29 (7), 1107-1119. **DOI:10.1111/geb. 13084.**

91.Cheng, F., Peng, X., Zhao, P., Yuan, J., Zhong, C., Cheng, Y., & Zhang, S. (2013). Soil microbial biomass, basal respiration, and enzyme activity of main forest types in the Qinling Mountains. *PloS one*, 8 (6), 1-12. **https://doi. org/10.1371/journal.pone.0067353.**

92.Wang, R., Creamer, C. A., Wang, X., He, P., Xu, Z., & Jiang, Y. (2016). The effects of a 9-year nitrogen and water addition on soil aggregate phosphorus and sulfur availability in semi-arid grassland. Ecological Indicators, 61, 806-814. **https://doi.org/10.1016/ j.ecolind.2015.10.033.**

93.Bastida, F., Zsolnay, A., Hernández, T., García, C. (2008). Past, present and future of soil quality indices: a biological perspective. *Geoderma*, 147, 159-171. **https://doi.org/10.1016/ j.geoderma.2008.08.007.**

94.García-Ruiz, R., Ochoa, V., Hinojosa, M. B., & Carreira, J. A. (2008). Suitability of enzyme activities for the monitoring of soil quality improvement in organic agricultural systems. *Soil Biology and Biochemistry*, 40, 2137-2145**. https://doi.org/10.1016/ j.soilbio.2008.03.023.**

95.Lemanowicz, J., Haddad, S. A., Bartkowiak, A., Lamparski, R., & Wojewódzki, P. (2020). The role of an urban park's tree stands in shaping the enzymatic activity, glomalin content and physicochemical properties of soil. *Science of the Total Environment*, 741, 140446. **doi: 10.1016/j.scitotenv. 2020.140446.**

96.Schlesinger, W. H., & Bernhardt, E. S. (2013). Biogeochemistry: an analysis of global change. Academic Press. 672p.

97.Phillips, H. R. P., Guerra, C. A., Bartz, M. L. C., Briones, G., Brown, T. W., Crowther, O., & et al. (2019). Global distribution of earthworm diversity. *Science*, 366 (6464), 480-485. **https:// dx.doi.org/10.1126/science. aax4851.**

98.Kooch, Y., Ghorbanzadeh, N., Wirth, S., Novara, A., & Shah Piri, A. (2021). Soil functional indicators in a mountain forest-rangeland mosaic of northern Iran. *Ecological Indicators*, 126, 107672. **DOI: 10.1016/j.ecolind.2021.107672.**

99.Ravindran, A., Shang-Shyng, A., & Yang, A. (2015). Effects of vegetation type on microbial biomass carbon and nitrogen in subalpine mountain forest soils. *Journal of Microbiology, Immunology and Infection*, 48, 362-369. **https://doi.org/10.1016/j.jmii.2014.02. 003.**

100.Rusek, J. (1998). Biodiversity of Collembola and their functional role in the ecosystem. *Biodiversity & Conservation*, 7 (9), 1207-1219. **DOI:10.1023/A:1008887817883.**

101.Koehler, H. H. (1999). Predatory mites (Gamasina, Mesostigmata). *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74 (1-3), 395-410**. https://doi.org/10. 1016/S0167-8809(99)00045-6.**

102.Fracetto, G. G. M., Azevedo, L. C. B., Fracetto, F. J. C., Andreote, F. D., Lambais, M. R., & Pfenning, L. H. (2013). Impact of Amazon landuse on the community of soil fungi. *Sciatica Agricola*, 70 (2), 59-67. **DOI: 10.1590/ S0103-90162013000200001.**

103.Blouin, M., Hodson, M. E., Delgado, E. A., Baker, G., Brussaard, L., Butt, K. R., Dai, J., Dendooven, L., Peres, G., Tondoh, J. E., Cluzeau, D., & Brun, J. J. (2013). A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services. *European Journal of Soil Science*, 64 (2), 161-182. **https://doi.org/10. 1111/ejss.12025.**

104.van den Hoogen, J., Geisen, S., Routh, D., Ferris, H., & et al. (2019). Soil nematode abundance and functional group composition at a global scale. *Nature*, 572 (7768), 194-198. **DOI:10.1038/s41586-019-1418-6.**

105.Bardgett, R. D., & van der Putten, W. H. (2014). Belowground biodiversity and ecosystem functioning. *Nature*, 515 (7528), 505-511. **DOI: 10.1038/ nature13855.**

106.Fierer, N., Wood. A. S., & Mesquita, C. B. (2021). How microbes can, and cannot, be used to assess soil health. *Soil Biology and Biochemistry*, 153, 108111. **https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020. 108111.**

107.Elie, F., Vincenot, L., Berthe, T., Quibel, E., Zeller, B., Saint-André, L., Normand, M., Chauvat, M., & Aubert, M. (2018). Soil fauna as bioindicators of organic matter export in temperate forests. *Forest Ecology and Management*, 429, 549-557. **doi: 10.1016/j.foreco. 2018.07.053.**

108.Bazyari, M., Etemad, V., Kooch, Y., & Shirvany, A. (2021). Soil fauna communities and microbial activities response to litter and soil properties under degraded and restored forests of Hyrcania. *iForest*, 14, 490-498**. doi: 10. 3832/ifor3583-014 [online 2021-11-11] .**

109.Xu, X., Han, L., Wang, Y., & Inubushi, K. (2007). Influence of vegetation types and soil properties on microbial biomass carbon and metabolic quotients in temperate volcanic and tropical forest soils. *Soil Science and Plant Nutrition*, 53 (4), 430-440. **DOI:10.1111/j.1747-0765.2007.00146.x.**

110.Moscatelli, M. C., Tizio, A. D., Marinari, S., & Grego, S. (2007). Microbial indicators related to soil carbon in Mediterranean land use systems. *Soil and Tillage Research*, 97, 51-59. **DOI:10.1016/j.still.2007.08.007.**