



## The effect of natural forest cover, afforestation and pasture on soil organic and mineral characteristics

Yahya Kooch<sup>\*1</sup>, Mahin Fooladi Doghozlo<sup>2</sup>, Katayoun Haghverdi<sup>3</sup>

1. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Range Management, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran. E-mail: [yahya.kooch@modares.ac.ir](mailto:yahya.kooch@modares.ac.ir)
2. Ph.D. Student, Dept. of Range Management, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran. E-mail: [m-fooladi@modares.ac.ir](mailto:m-fooladi@modares.ac.ir)
3. Assistant Prof., Dept. of Wood and Paper Science and Technology, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran. E-mail: [katayoun.haghverdi@kia.ac.ir](mailto:katayoun.haghverdi@kia.ac.ir)

### Article Info

#### Article type:

Full Length Research Paper

#### Article history:

Received: 02.18.2024

Revised: 05.31.2024

Accepted: 06.02.2024

#### Keywords:

Ecosystem Degradation,  
Land use,  
Physical and Chemical  
Characteristics,  
Soil Fertility

### ABSTRACT

**Background and Objectives:** The increasing demands of a growing population have led to significant pressures on forest habitats, resulting in degradation and land use change. Land cover changes can profoundly impact soil dynamics, including physical, chemical, and biological characteristics. However, limited studies have focused on soil quality across different land uses. This research aims to investigate the effects of various land uses on the organic and mineral layers of soil in the Abbassabad region of Mazandaran province.

**Materials and Methods:** In this study, various soil characteristics were examined in different habitats, including natural Mamrez-Anjili natural forest, pure alder afforestation, pure pellet afforestation, mixed afforestation, and pasture cover in the Abbassabad region of Mazandaran province. To investigate the effects of land covers on the different characteristics of the organic and mineral layers of the soil, parts of the above-mentioned lands were selected that were continuous with each other and had minimal height differences. A minimal change in percentage and direction of slope was observed in them. Three plots of one hectare (100 × 100 meters) were selected in each of the habitats, with distances of at least 600 meters. In each of the plots, four samples were taken from the organic layer (leaves or debris on the surface of the earth) and mineral soil (30 × 30 cm surface to a depth of 10 cm). A total of 12 organic layer samples and 12 soil samples were taken to the laboratory for analysis. Part of the soil samples was passed through a 2 mm sieve after drying to perform physical and chemical tests, and the second part of the samples was used for biological tests until the time of the test at a temperature of 4 °C. Standard soil methods were used to conduct physical, chemical, and biological soil tests.

**Results:** The results demonstrate that elevated levels of nitrogen, phosphorus, potassium, and calcium positively influence soil fertility characteristics, as well as the physical and chemical properties of microbial and enzyme activity, soil worm populations, and soil organism populations in natural forests and mixed forestry. Conversely, pasture habitats, pure pellet forestry, and pure alder forestry, characterized by the production of organic matter with higher carbon content and carbon-to-nitrogen ratio, result in reduced organic matter decomposition (indicated by thicker litter

---

---

layers) and subsequently, diminished characteristics in the soil mineral layer. Additionally, natural forest cover shows higher levels of ammonium and nitrate compared to other land uses. Furthermore, the presence of plant residues, along with high nitrogen content and a low carbon-to-nitrogen ratio, enhances the soil's efficacy in nitrogen transformation.

**Conclusion:** Based on the findings of this research, natural forest cover plays a significant role in preserving soil quality. Therefore, protecting natural forest cover should be prioritized. Moreover, in areas undergoing degradation, tree cover with suitable combinations can be employed to restore natural ecosystems, enhance fertility, and facilitate the nutrient cycling of the soil.

---

Cite this article: Kooch, Yahya, Fooladi Doghozlo, Mahin, Haghverdi, Katayoun. 2025. The effect of natural forest cover, afforestation and pasture on soil organic and mineral characteristics. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 14 (4), 29-52.



© The Author(s).

DOI: -----

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

---



## اثر پوشش‌های جنگل طبیعی، جنگل کاری و مرتعی بر مشخصه‌های آلی و معدنی خاک

یحیی کوچ\*<sup>۱</sup>، مهین فولادی دوفزلو<sup>۲</sup>، کتابون حق‌وردی<sup>۳</sup>

۱. نویسنده مسئول، دانشیار گروه مرتعداری، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی نور، نور، ایران. رایانامه: [yahya.kooch@modares.ac.ir](mailto:yahya.kooch@modares.ac.ir)

۲. دانشجوی دکتری گروه علوم مرتع، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی نور، نور، ایران. رایانامه: [m-fooladi@modares.ac.ir](mailto:m-fooladi@modares.ac.ir)

۳. استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران. رایانامه: [katayoun.haghverdi@kia.ac.ir](mailto:katayoun.haghverdi@kia.ac.ir)

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله:</p> <p>مقاله کامل علمی - پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۹</p> <p>تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۳/۱۱</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۱۳</p>	<p><b>سابقه و هدف:</b> افزایش جمعیت و نیازهای رو به رشد آن، منجر به تنش‌های زیادی در رویشگاه‌های جنگلی شده است و به عنوان یک عامل اصلی در تخریب رویشگاه‌های جنگلی و تغییر کاربری اراضی مطرح می‌شود. پوشش‌های مختلف اراضی اثرات قابل توجهی بر پویایی خواص خاک دارند. تغییر کاربری اراضی به واسطه تخریب پوشش‌های گیاهی اثرات منفی بر روی مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک دارد. گزارش‌های اندکی از بررسی کیفیت خاک در کاربری‌های مختلف اراضی مشاهده می‌شود. با این حال، پژوهش حاضر با هدف مطالعه اثر کاربری‌های مختلف اراضی بر ویژگی‌های لایه آلی و معدنی خاک در منطقه عباس‌آباد استان مازندران انجام شد.</p>
<p><b>واژه‌های کلیدی:</b></p> <p>تخریب اکوسیستم، حاصل خیزی خاک، کاربری اراضی، مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی</p>	<p><b>مواد و روش‌ها:</b> در این پژوهش، مشخصه‌های مختلف خاک در هر یک از رویشگاه‌های جنگل طبیعی ممرز- انجیلی، جنگل کاری خالص توسکا، جنگل کاری خالص پلت، جنگل کاری آمیخته و پوشش مرتعی در منطقه عباس‌آباد استان مازندران مورد بررسی قرار گرفت. به منظور بررسی اثرات پوشش‌های اراضی بر مشخصه‌های مختلف لایه‌های آلی 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. سپس در هر یک از رویشگاه‌ها سه قطعه یک هکتاری (۱۰۰×۱۰۰) با فواصل حداقل ۶۰۰ متر انتخاب شد. در هر یک از قطعات، تعداد ۴ نمونه از لایه آلی (لاشبرگ یا لاشه‌ریزه سطح زمین) و معدنی خاک (سطح ۳۰ × ۳۰ سانتی‌متر تا عمق ۱۰ سانتی‌متری) برداشت و در مجموع از هر یک از رویشگاه‌های مورد مطالعه تعداد ۱۲ نمونه لایه آلی و ۱۲ نمونه خاک جهت تجزیه و تحلیل به آزمایشگاه منتقل شد. یک بخش از نمونه‌های خاک جهت</p>

انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی، پس از خشک شدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شده و بخش دوم نمونه‌ها برای انجام آزمایش‌های زیستی تا زمان آزمایش در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. به‌طورکلی برای انجام آزمایش‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک از روش‌های استاندارد خاک استفاده گردید.

**یافته‌ها:** نتایج بیانگر آن است که مقادیر بالای نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کلسیم باعث بهبود ویژگی‌های حاصل‌خیزی خاک، مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی فعالیت میکروبی و آنزیمی، جمعیت کرم‌های خاکی، جمعیت موجودات خاکی تحت جنگل طبیعی و جنگل کاری آمیخته شده است. این در حالی است که رویشگاه‌های مرتعی، جنگل کاری خالص پلت و جنگل کاری خالص توسکا با تولید مواد آلی محتوای کربن و نسبت کربن به نیتروژن بالاتر، منجر به کاهش تجزیه مواد آلی (ضخامت بیش‌تر لایه لاشبرگی) و در نتیجه کاهش مشخصه‌های مذکور در لایه معدنی خاک شدند. هم‌چنین پوشش جنگل طبیعی دارای مقادیر بالاتری از آمونیوم و نترات نسبت به سایر کاربری‌ها بود. علاوه‌بر این، خاک جنگل طبیعی به‌دلیل وجود بقایای گیاهی و هم‌چنین بیش‌تر بودن میزان نیتروژن و کم‌تر بودن نسبت کربن به نیتروژن خاک در تغییر شکل نیتروژن اثرگذارتر می‌باشد.

**نتیجه‌گیری:** با توجه به یافته‌های پژوهش حاضر می‌توان نتیجه گرفت که پوشش جنگل طبیعی در حفظ خاک و کیفیت آن نقش برجسته‌ای دارد. در همین راستا، حفاظت از پوشش جنگل طبیعی باید مورد توجه قرار گیرد. ضمن این‌که در مناطق تخریب‌یافته می‌توان از پوشش‌های درختی با ترکیب آمیختگی برای احیای اکوسیستم‌های طبیعی، بهبود حاصل‌خیزی و چرخه عناصر غذایی خاک استفاده کرد.

استناد: کوچ، یحیی، فولادی دوقزلو، مهین، حق‌وردی، کتایون (۱۴۰۳). اثر پوشش‌های جنگل طبیعی، جنگل کاری و مرتعی بر مشخصه‌های آلی و معدنی خاک. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار، ۱۴ (۴)، ۲۹-۵۲.

DOI: -----



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

## مقدمه

پوشش‌های جنگلی از جمله مهم‌ترین پوشش‌های گیاهی در جهان هستند که اثرات متفاوتی بر مشخصه‌های آلی و معدنی خاک دارند. پوشش زمین به‌ویژه جنگل‌ها، نقش بسیار مهمی در جریان انتقال کربن از طریق فتوسنتز و تنفس دارند و به عنوان یک مخزن کربن در اکوسیستم‌های زمینی محسوب می‌شوند این منابع تقریباً ۳۰ درصد از سطح زمین را پوشش می‌دهند و بیش از ۷۰ درصد کربن آلی خاک در جنگل‌ها ذخیره می‌شود (۱). افزایش جمعیت و نیازهای رو به رشد آن، منجر به تنش‌های زیادی بر روی رویشگاه‌های جنگلی شده است و به عنوان یک عامل اصلی در تخریب رویشگاه‌های جنگلی مطرح می‌شود. تخریب جنگل‌ها و تغییر کاربری اراضی به‌منظور تأمین نیازهای مختلف بدون هزینه نبوده و پیامدهایی چون از بین رفتن تنوع زیستی، تغییرات آب و هوایی، اختلال در چرخه آب، پناهندگان زیست محیطی، شیوع بیماری‌های جدید و تخریب منابع تجدیدپذیر را در پی داشته است (۲). با آشکارتر شدن مخاطرات ناشی از جنگل‌زدایی در جهان، امروزه تلاش‌های زیادی جهت حفظ و گسترش این رویشگاه‌ها صورت گرفته است. یکی از مؤثرترین راهکارها جنگل‌کاری در مناطق تخریب‌یافته و تغییر کاربری مجدد به اراضی جنگلی می‌باشد. جنگل‌کاری نه تنها از مخاطرات زیست‌محیطی بسیاری مانند تغییر اقلیم جلوگیری می‌کند، بلکه کیفیت مؤلفه‌های اساسی خاک مانند کربن آلی، پتاسیم و رطوبت خاک را نیز مجدداً به‌طور قابل‌توجهی بهبود می‌بخشد (۳). به‌منظور بررسی دقیق‌تر اثرات تغییر کاربری اراضی بر کیفیت خاک منطقه باید خاک از دیدگاه‌های فیزیکی، شیمیایی، بیوشیمی و زیستی مورد بررسی قرار گیرد (۴). تغییر کاربری اراضی از جنگل به کاربری‌های دیگر، باعث افت کیفیت لایه لاشبرگ و کاهش

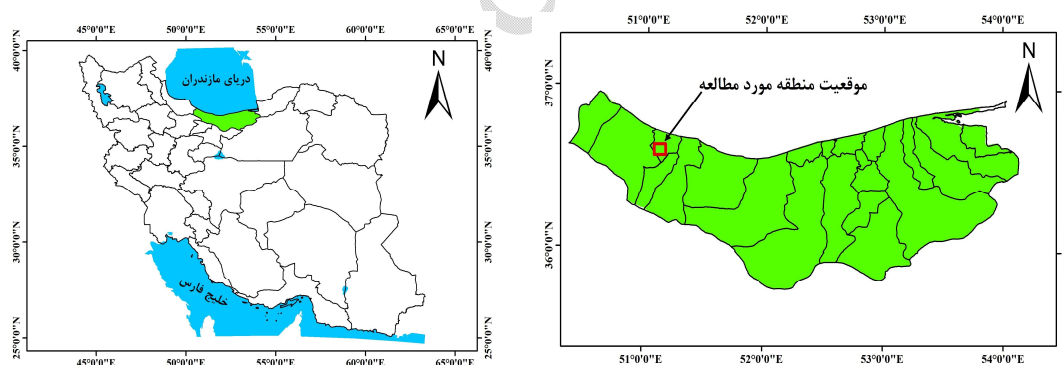
قابل‌توجهی در سطوح مواد مغذی خاک و بسترهای آلی می‌شود (۵). هم‌چنین این تغییر کاربری‌ها، ویژگی‌های فیزیکی خاک را تحت‌تأثیر قرار داده و موجب افزایش جرم مخصوص ظاهری و افزایش مقاومت خاک در برابر نفوذ آب می‌شود. تغییر کاربری موجب کاهش قابل‌توجه تخلخل و پایداری خاک شده و سرعت فرسایش خاک سطحی را بالا می‌برد (۶). هم‌چنین تخریب جنگل‌ها و تغییر کاربری اثرات منفی بر روی پارامترهای شیمیایی خاک می‌گذارد، در همین راستا هدایت الکتریکی و واکنش خاک در کاربری تغییر یافته، بسیار بیش‌تر از جنگل طبیعی می‌باشد (۷). خاک جنگل طبیعی معمولاً دارای تنوع زیستی فراوانی از جمله میکروارگانیسم‌ها، قارچ‌ها و کرم‌های خاکی است، این تنوع به‌عنوان یک سیستم تعادل زیستی در پایداری خاک نقش دارد. جامعه زنده خاک در چرخه عناصر، افزایش حاصل‌خیزی و کیفیت خاک نقش اساسی دارد (۸). تغییر کاربری، تنوع زیستی، نرخ جامعه باکتریایی خاک و فعالیت‌های میکروبی را کاهش می‌دهد (۹). آنزیم‌ها، واکنش‌ها و فرآیندهای مختلف متابولیکی در چرخه زیست‌شیمیایی مواد غذایی خاک را کنترل می‌کنند (۱۰). با توجه به این‌که در مقایسه با سایر ویژگی‌های خاک نسبت به تغییرات پوشش گیاهی و مدیریت اراضی سریع‌تر تغییر می‌کنند، به‌عنوان شاخصی از تغییرات زیستی خاک مورد بررسی قرار می‌گیرند. تغییر کاربری موجب کاهش فعالیت‌های آنزیمی می‌شود (۱۱). بر اساس منابع، تأثیر تخریب جنگل و تغییر کاربری اراضی بر روی ویژگی‌های خاک بررسی شده اما در ارتباط با نقش این تغییر کاربری‌ها بر مشخصه‌های زیستی اطلاعات چندانی در دسترس نمی‌باشد. در حالی‌که این مشخصه‌ها نقش به‌سزایی در چرخه عناصر غذایی و پایداری اکوسیستم‌ها دارند. غالبیت جنگل‌کاری در مناطق شمالی کشور از

بارندگی آن ۱۱۰۰-۱۵۰۰ میلی‌متر، درصد شیب (۶-۸ درصد)، جهت جغرافیایی غالب شمالی، میانگین دمای ۱۶ درجه سانتی‌گراد و ارتفاع از سطح دریا حداکثر ۳۷۰ متر است. براساس مطالعات خاکشناسی خاک‌های محدوده عمدتاً از تیپ راندزین تکامل نیافته قهوه‌ای جنگلی و قهوه‌ای شسته‌شده با افق آرچیلیک می‌باشند. پوشش‌های اراضی مورد مطالعه در این پژوهش عبارتند از: جنگل طبیعی ممرز-انجیلی، جنگل کاری ۳۰ ساله آمیخته توسکا بیلاقی و پلت، جنگل کاری ۳۰ ساله خالص توسکا بیلاقی، جنگل کاری ۳۰ ساله خالص پلت و پوشش مرتعی که شامل گونه‌های (*Brachypodium pinnatum* >25%)، *Carex sylvatica* (>25%)، *Oplismenus undulatifolius* (>15%)، *Parietaria officinalis* (>10%) می‌باشد.

گونه‌های توسکا و پلت می‌باشد. بنابراین در پژوهش حاضر تلاش شد که اثر کاربری‌های مختلف اراضی از جمله جنگل طبیعی، جنگل کاری خالص پلت، جنگل کاری خالص توسکا، جنگل کاری آمیخته و پوشش مرتعی مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به این‌که تغییرات مشخصه‌های زیستی خاک متأثر از کیفیت لاشبرگ و هم‌چنین شرایط فیزیکی و شیمی خاک می‌باشد بنابراین در کنار پارامترهای زیستی به مطالعه مشخصه‌های لایه آلی و فیزیکی و شیمیایی خاک نیز پرداخته شد.

### مواد و روش‌ها

**منطقه مورد مطالعه:** منطقه مورد مطالعه در شهرستان عباس‌آباد استان مازندران در عرض شمالی  $39^{\circ} 09' 51''$  و طول شرقی  $36^{\circ} 39' 51''$  واقع شده است (شکل ۱) و بر اساس طبقه‌بندی آمبرژه در طبقه اقلیمی خیلی مرطوب با زمستان‌های معتدل قرار دارد. میانگین



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در استان مازندران، شمال ایران.

Figure 1. Location of the study area in Mazandaran Province, Northern Iran.

جهت شیب در آن‌ها مشاهده شد. بدین‌منظور در هر یک از رویشگاه‌های مورد مطالعه سه قطعه یک هکتاری با فواصل حداقل ۶۰۰ متر انتخاب شدند. در هر یک از قطعات یک هکتاری (۱۰۰×۱۰۰)، تعداد ۴ نمونه از لایه آلی (لاشبرگ یا لاشه‌ریزه سطح زمین در محل نمونه‌برداری خاک می‌باشد) و معدنی خاک

نمونه‌برداری و تجزیه آزمایشگاهی: به منظور بررسی اثرات پوشش‌های اراضی بر مشخصه‌های مختلف لایه‌های آلی و معدنی خاک، پس از بررسی‌های اولیه و بازدیدهای میدانی، بخش‌هایی از اراضی فوق‌الذکر انتخاب شد که به‌صورت پیوسته با هم بوده و حداقل اختلاف ارتفاع از سطح دریا، حداقل تغییر درصد و

(درصد)، Bd، جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، D، عمق نمونه‌برداری خاک (سطح ۳۰ سانتی‌متر × ۳۰ سانتی‌متر تا عمق ۱۰ سانتی‌متری) می‌باشند. فسفر به روش اولسن (۲۴)، پتاسیم، کلسیم و منیزیم قابل‌جذب خاک با استفاده از روش جذب اتمی اندازه‌گیری شد (۲۵). کربن و نیتروژن آلی ذره‌ای با روش کاهش وزن (۲۶) به‌وسیله سوزاندن تعیین شد. پس از تعیین مقدار خاکدانه‌های میکرو (ذرات کوچک‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر) و ماکرو (ذرات بزرگ‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر) به روش الک‌تر (۲۷)، روش والکی-بلاک برای اندازه‌گیری مقادیر کربن و نیتروژن موجود در خاکدانه‌های میکرو و ماکرو مورد استفاده قرار گرفت (۲۸). کربن و نیتروژن آلی محلول به‌وسیله دستگاه تجزیه کربن آلی (Shimadzu TOC-550A) اندازه‌گیری شد (۲۹). شاخص مدیریت کربن به روش (۳۰) به‌دست آمد. مقدار زیتوده درشت ریشه‌ها (قطر بالای ۲ میلی‌متر) و ریزریشه‌ها (قطر کم‌تر از ۲ میلی‌متر) در مترمربع برای هر رویشگاه به‌دست آمد (۳۱). از روش انکوباسیون آزمایشگاهی برای سنجش فعالیت آنزیم‌های اوره‌آز، فسفاتاز، آریل سولفاتاز و اینورتاز استفاده شد (۳۲).  
 مشخصه‌های اقلیمی (رطوبت و حرارت) و زیستی خاک در دو فصل تابستان (مرداد) و پاییز (آبان) مورد بررسی قرار گرفت. برای شناسایی کرم‌های خاکی از روی شکل ظاهری، هر یک از آن‌ها ابتدا به‌صورت دستی از خاک جدا و پس از شستشو در آب در ظروف حاوی الکل نگهداری شد. با توجه به مشخصه‌های ریخت‌شناسی (اندازه، طول و رنگ بدن) و هم‌چنین مشخصه‌هایی مانند محل قرارگیری و شکل گلیتوم، محل قرارگیری اندام‌های جنسی روی سگمنت‌ها و گلیتوم، شکل و نوع اندام‌های جنسی و دیگر مشخصات ظاهری، کرم‌های خاکی مورد شناسایی قرار گرفت (۳۳). نمونه‌های جمع‌آوری‌شده

(سطح ۳۰ سانتی‌متر × ۳۰ سانتی‌متر تا عمق ۱۰ سانتی‌متری) برداشت و در مجموع از هر یک از رویشگاه‌های مورد مطالعه تعداد ۱۲ نمونه لایه آلی و ۱۲ نمونه خاک جهت تجزیه و تحلیل به آزمایشگاه منتقل شد. یک بخش از نمونه‌های خاک جهت انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی، پس از هوا خشک شدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شده و بخش دوم نمونه‌ها برای انجام آزمایش‌های زیستی تا زمان آزمایش در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد (۱۲).

ضخامت لایه بستر در عرصه، مقدار کربن لایه آلی (لاشبرگ یا لاشه‌ریزه) به روش احتراق (۱۳) و مقدار نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم لاشبرگ به روش معدنی‌سازی نمونه‌ها (۱۴) در محیط آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری رطوبت خاک قبل از هوا خشک شدن به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند (۱۵). دمای خاک نیز با استفاده از دماسنج دیجیتال برای عمق مورد مطالعه در زمان نمونه‌برداری اندازه‌گیری گردید (۱۶). جرم مخصوص ظاهری به روش کلوخه و جرم مخصوص حقیقی به روش پیکنومتری (۱۷) اندازه‌گیری و سپس تخلخل خاک محاسبه شد (۱۸). پایداری خاکدانه‌ها به روش یودر (۱۹) و بافت خاک به روش هیدرومتری (۲۰) اندازه‌گیری شد. واکنش به روش پتانسیومتری از طریق دستگاه pH متر الکتریکی، هدایت الکتریکی به‌وسیله EC سنج، کربن آلی خاک به روش والکی-بلاک (۲۱) و نیتروژن کل به روش کج‌لدال (۲۲) اندازه‌گیری شدند. میزان ذخیره کربن از رابطه  $Cstock = 10000 \times OC \times Bd \times D$  و ذخیره نیتروژن از رابطه  $Nstock = 10000 \times N \times Bd \times D$  (۲۳) محاسبه شد. در این معادلات، Cstock و Nstock به ترتیب ذخیره کربن و نیتروژن (مگاگرم بر هکتار)، OC، کربن آلی (درصد)، N، نیتروژن کل

## نتایج و بحث

**لایه آلی:** نتایج تجزیه و تحلیل ویژگی‌های لایه آلی (لاشبرگ) خاک در نمونه‌های برداشت شده از پوشش‌های مختلف بیانگر وجود بیش‌ترین مقدار مشخصه ضخامت لاشبرگ در پوشش جنگل طبیعی و کم‌ترین مقدار آن به جنگل کاری خالص پلت می‌باشد. بیش‌ترین و کم‌ترین میزان نسبت کربن به نیتروژن لاشبرگ به ترتیب در پوشش مرتعی و جنگل طبیعی مشاهده شد. هم‌چنین پوشش جنگل طبیعی دارای بیش‌ترین مقادیر نیتروژن و فسفر لاشبرگ و کم‌ترین مقادیر این مشخصه‌ها در پوشش مرتعی بود. اما مشخصه‌های کربن، پتاسیم و منیزیم لاشبرگ در انواع پوشش‌ها، اختلاف معنی‌داری نشان ندادند (جدول ۱). با توجه به بررسی‌های انجام شده، کمیت و کیفیت مواد آلی در رویشگاه‌های دارای پوشش‌های گیاهی مختلف، متفاوت می‌باشد (۴۳). در رویشگاه‌های جنگل طبیعی با توجه به وجود گونه‌های درختی غالب متفاوت نسبت به رویشگاه‌های فاقد حضور گونه‌های درختی، به دلیل تفاوت در کیفیت بستر و ترشحات ریشه، ویژگی‌های لایه آلی نسبت به سایر پوشش‌ها مطلوب‌تر می‌باشد و تغییر کاربری از جنگل طبیعی به سایر کاربری‌ها موجب کاهش حاصل‌خیزی لایه آلی خاک می‌شود (۴۴) که این موضوع در پژوهش حاضر در ویژگی‌های درصد نیتروژن، نسبت کربن به نیتروژن، درصد فسفر، درصد کلسیم و ضخامت لاشبرگ مشاهده شد. مقادیر غلظت‌های فسفر و کلسیم در جنگل طبیعی بیش‌تر از سایر کاربری‌ها بوده است بنابراین، انتظار تجزیه سریع‌تر در تجزیه لاشبرگ‌های این کاربری می‌رود (۴۵). غنای گونه‌های درختی موجود در جنگل طبیعی می‌تواند جذب فسفر خاک را تسهیل کند، که موجب بهبود زیتوده سطح خاک و افزایش ضخامت لایه آلی می‌شود (۴۶) که ضخامت بیش‌تر لایه آلی در جنگل طبیعی را توجیه می‌کند. تخریب جنگل و تبدیل آن به اکوسیستم ثانویه

کرم‌های خاکی تمیز و شمارش شد، در پاکت‌های مقوایی قرار داده شده و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۶۰ درجه سلسیوس خشک شد و سپس وزن آن‌ها به وسیله ترازو تا دقت میلی‌گرم اندازه‌گیری شد (۳۴). شمارش کنه‌ها و پادمان‌ها به روش قیف برلیز، نماتدهای خاکزی با استفاده از تکنیک قیف بیرمن و سانتریفیوژ (۳۵)، پروتوزوئرها، خاک به وسیله میکروسکوپ با بزرگنمایی ۵۰ (۳۸)، جمعیت باکتری‌ها و قارچ‌های خاکزی به روش کشت (۳۶) در محیط آزمایشگاه ثبت شد. تنفس پایه خاک با استفاده از روش بطری دربسته (۳۷) و تنفس برانگیخته خاک، همانند روش تنفس پایه با اضافه کردن میزان ۱ میلی‌لیتر گلوکز ۱ درصد برای هر نمونه خاک ۱۰ گرمی اندازه‌گیری شد (۳۸). کربن و نیتروژن زی‌توده میکروبی خاک نیز به روش تدخین استخراج اندازه‌گیری شد (۳۹). اندازه‌گیری آمونیوم به روش Idophenol blue method و قرائت عصاره در طول موج ۶۴۵ نانومتر توسط دستگاه طیف‌سنج انجام شد (که اساس آن بر واکنش بین فنل و آمونیوم است) و اندازه‌گیری نترات با دستگاه فتومتر (در طول موج ۴۲۰ نانومتر) به روش نترات صورت پذیرفت (۴۰). برای سنجش فرآیندهای آمونیفیکاسیون، نیتریفیکاسیون و معدنی‌شدن نیتروژن از روش کیسه مدفون استفاده شد (۴۱، ۴۲).

**تجزیه آماری داده‌ها:** جهت تجزیه، تحلیل و هم‌چنین مقایسه داده‌ها ابتدا نرمال بودن آنها با استفاده از آزمون کولموگراف اسمیرنوف و همگنی واریانس با آزمون لون بررسی شد. بررسی تفاوت یا عدم تفاوت مقادیر مشخصه‌های مورد مطالعه در ارتباط با پوشش‌های اراضی، برای مشخصه‌های لاشبرگ، فیزیکی، شیمیایی و زیستی (در فصول تابستان و پاییز) با تجزیه واریانس یک‌طرفه انجام شد. در نهایت مقایسه چندگانه میانگین در نمونه‌های برداشتی با آزمون دانکن در نرم‌افزار SPSS 26 انجام پذیرفت.



آلی خاک می‌شود (۴۹). از آنجا که درصد کربن در رویشگاه‌های مورد مطالعه تغییرات معناداری از خود نشان نداد متفاوت بودن نسبت کربن به نیتروژن در بین این مناطق را می‌توان مرتبط با میزان نیتروژن دانست که این موضوع توسط تولسا و سنبتا (۲۰۱۸) نیز تأیید شد (۵۰).

موجب کاهش کلسیم لایه آلی خاک می‌شود (۴۷). تجزیه لاشبرگ در جنگل طبیعی موجب افزایش نیتروژن و کاهش نسبت کربن به نیتروژن شده که نتایج این قسمت با پژوهش‌های پیشین دیوی و همکاران (۲۰۰۷) مطابقت دارد (۴۸). حضور پوشش‌های ثانویه که در اثر تخریب جنگل‌ها و تغییر کاربری به وجود می‌آید موجب کاهش نیتروژن لایه

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین  $\pm$  اشتباه معیار) ویژگی‌های لایه آلی در رویشگاه‌های مورد مطالعه.

تجزیه واریانس ANOVA		رویشگاه Habitats					ویژگی‌های لایه آلی Organic properties
معنی‌داری Sig.	مقدار F F value	پوشش مرتعی Rangeland	جنگل کاری خالص پلت Pure pellet plantation	جنگل کاری خالص توسکا Pure alder plantation	جنگل کاری آمیخته Mixed plantation	جنگل طبیعی Natural forest	
0	28.142	6.29 $\pm$ 0.38 <sup>c</sup>	5.19 $\pm$ 0.60 <sup>c</sup>	6.38 $\pm$ 0.12 <sup>c</sup>	8.81 $\pm$ 0.55 <sup>b</sup>	11 $\pm$ 0.36 <sup>a</sup>	ضخامت (سانتی‌متر) Thickness (cm)
0.297	1.261	49.85 $\pm$ 3.51 <sup>a</sup>	49.31 $\pm$ 5.90 <sup>a</sup>	40.79 $\pm$ 3.99 <sup>a</sup>	49.07 $\pm$ 5.21 <sup>a</sup>	39.45 $\pm$ 3.75 <sup>a</sup>	کربن (درصد) Carbon (%)
0	9.391	1.63 $\pm$ 0.27 <sup>b</sup>	1.74 $\pm$ 0.31 <sup>b</sup>	2.23 $\pm$ 0.33 <sup>b</sup>	3.12 $\pm$ 0.31 <sup>a</sup>	3.82 $\pm$ 0.29 <sup>a</sup>	نیتروژن (درصد) Nitrogen (%)
0	7.181	42.86 $\pm$ 7.31 <sup>a</sup>	36.01 $\pm$ 6.33 <sup>ab</sup>	24.28 $\pm$ 4.67 <sup>bc</sup>	16.78 $\pm$ 2.13 <sup>c</sup>	10.95 $\pm$ 1.23 <sup>c</sup>	نسبت کربن به نیتروژن C/N ratio
0	5.940	2.98 $\pm$ 0.3 <sup>c</sup>	3.69 $\pm$ 0.34 <sup>bc</sup>	4.29 $\pm$ 0.46 <sup>ab</sup>	4.37 $\pm$ 0.34 <sup>ab</sup>	5.28 $\pm$ 0.27 <sup>a</sup>	فسفر (درصد) Phosphorus (%)
0.106	2.008	2.02 $\pm$ 0.41 <sup>b</sup>	2.07 $\pm$ 0.33 <sup>b</sup>	2.23 $\pm$ 0.32 <sup>ab</sup>	2.84 $\pm$ 0.46 <sup>ab</sup>	3.36 $\pm$ 0.49 <sup>a</sup>	پتاسیم (درصد) Potassium (%)
0	13.849	1.09 $\pm$ 0.3 <sup>c</sup>	1.63 $\pm$ 0.29 <sup>bc</sup>	1.65 $\pm$ 0.28 <sup>bc</sup>	2.14 $\pm$ 0.2 <sup>b</sup>	3.91 $\pm$ 0.35	کلسیم (درصد) Calcium (%)
0.978	0.111	0.73 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	0.82 $\pm$ 0.17 <sup>a</sup>	0.80 $\pm$ 0.17 <sup>a</sup>	0.89 $\pm$ 0.17 <sup>a</sup>	0.83 $\pm$ 0.15 <sup>a</sup>	منیزیم (درصد) Magnesium (%)

و کم‌ترین مقدار آن به خاک رویشگاه جنگل کاری آمیخته و جنگل طبیعی تعلق داشت. حداکثر مقادیر پایداری خاکدانه در جنگل طبیعی و کم‌ترین مقدار آن در پوشش مرتعی می‌باشد. اما مشخصه‌های جرم مخصوص حقیقی، تخلخل، سیلت، خاکدانه درشت و ریز، نسبت خاکدانه درشت به ریز در انواع پوشش‌های دارای اختلاف معنی‌داری نمی‌باشند (جدول ۲). اجزای بافت (شن، سیلت و رس) خاک در بلندمدت می‌تواند تغییرات معنی‌داری را به واسطه

#### لایه معدنی

مشخصه‌های فیزیکی: نتایج تجزیه واریانس بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار در اکثر پارامترهای فیزیکی خاک در بین رویشگاه‌ها است. کم‌ترین مقدار درصد شن در جنگل طبیعی و بیش‌ترین مقدار آن در جنگل کاری خالص توسکا مشاهده شد، هم‌چنین بیش‌ترین میزان درصد رس در جنگل طبیعی و کم‌ترین مقدار آن به جنگل کاری خالص توسکا تعلق داشت. بیش‌ترین مقدار جرم مخصوص ظاهری خاک در پوشش مرتعی

قرار دارد و متأثر از پوشش سطح خاک، مواد آلی، ساختار و تخلخل خاک است (۵۳). هرچه بافت خاک رسی‌تر، ساختمان خاک مطلوب‌تر و خاک غیرمترکم‌تر باشد تخلخل و پایداری خاکدانه بیش‌تر بوده در نتیجه جرم مخصوص ظاهری خاک کمتر می‌شود (۵۴). این روند در جنگل طبیعی مشاهده شد. پایداری خاکدانه‌ها به‌طور قابل‌توجهی تحت‌تأثیر نوع کاربری زمین قرار دارد در کاربری جنگل و به‌خصوص جنگل طبیعی، به‌دلیل بیش‌تر بودن مواد آلی و فعالیت‌های میکروبی، پلی‌ساکارید بیش‌تری تولید شده که در نتیجه آن عامل سیمان‌کنندگی و پایداری خاکدانه‌ها افزایش می‌یابد (۵۵).

تحولات خاک و هم‌چنین توالی‌های پوشش گیاهی نشان دهد، که هم راستا با نتایج پژوهش حاضر می‌باشد. بافت، ساختمان و تراکم خاک به‌عنوان مؤثرترین عوامل بر جرم مخصوص ظاهری خاک به‌شمار می‌روند. به‌طورکلی، هرچه بافت خاک رسی‌تر، ساختمان خاک مطلوب‌تر و خاک غیرمترکم‌تر باشد تخلخل و پایداری خاکدانه خاک بیش‌تر بوده، در نتیجه جرم مخصوص ظاهری خاک کم‌تر می‌شود (۵۱). هم‌راستا با پژوهش حاضر آجنا و آبگاز (۲۰۱۶) نشان دادند که درصد رس در زمین‌های جنگلی به نسبت اراضی مرتعی بالاتر بوده است (۵۲). جرم مخصوص ظاهری خاک از مهم‌ترین خواص فیزیکی خاک است که تحت‌تأثیر سیستم خاک‌ورزی

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین  $\pm$  اشتباه معیار) ویژگی‌های فیزیکی خاک در رویشگاه‌های مورد مطالعه.

Table 2. ANOVA ( $\pm$  standard error) for soil physical characteristics in the studied habitats.

تجزیه واریانس ANOVA		رویشگاه Habitats					ویژگی‌های خاک Soil properties
معنی‌داری Sig.	F مقدار F value	پوشش مرتعی Rangeland	جنگل کاری خالص پلت Pure pellet plantation	جنگل کاری خالص توسکا Pure alder plantation	جنگل کاری آمیخته mixed plantation	جنگل طبیعی Natural forest	
0.000	8.312	1.26 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>	1.23 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	1.30 $\pm$ 0.05 <sup>a</sup>	1.07 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	1.10 $\pm$ 0.04 <sup>b</sup>	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب) Bulk density (g cm <sup>-3</sup> )
0.982	0.100	2.66 $\pm$ 0.31 <sup>a</sup>	2.58 $\pm$ 0.11 <sup>a</sup>	2.60 $\pm$ 0.08 <sup>a</sup>	2.60 $\pm$ 0.08 <sup>a</sup>	2.62 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup>	جرم مخصوص حقیقی (گرم بر سانتی‌متر مکعب) Particle density (g cm <sup>-3</sup> )
0.653	0.616	45 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>	49 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	42 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	46 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	43 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	تخلخل (درصد) Porosity (%)
0.005	4.141	53.10 $\pm$ 3.62 <sup>b</sup>	58.54 $\pm$ 2.63 <sup>b</sup>	59.72 $\pm$ 6.26 <sup>b</sup>	65.10 $\pm$ 3.94 <sup>ab</sup>	74.08 $\pm$ 1.04 <sup>a</sup>	پایداری (درصد) Stability (%)
0.005	4.249	28.83 $\pm$ 1.72 <sup>a</sup>	29.67 $\pm$ 2.31 <sup>a</sup>	33.75 $\pm$ 4.52 <sup>a</sup>	26.08 $\pm$ 1.47 <sup>ab</sup>	19.58 $\pm$ 1.18 <sup>b</sup>	شن (درصد) Sand (%)
0.146	1.781	40.83 $\pm$ 2.28 <sup>a</sup>	32.58 $\pm$ 3.27 <sup>b</sup>	39.00 $\pm$ 2.99 <sup>ab</sup>	40.50 $\pm$ 1.75 <sup>a</sup>	38.17 $\pm$ 1.79 <sup>ab</sup>	سیلت (درصد) Silt (%)
0.000	7.343	30.33 $\pm$ 0.97 <sup>c</sup>	37.75 $\pm$ 2.26 <sup>ab</sup>	27.25 $\pm$ 3.19 <sup>c</sup>	33.42 $\pm$ 1.86 <sup>bc</sup>	42.25 $\pm$ 2.07 <sup>a</sup>	رس (درصد) Clay (%)
0.093	2.100	26.08 $\pm$ 2.69 <sup>a</sup>	26.33 $\pm$ 3.67 <sup>a</sup>	31.75 $\pm$ 3.05 <sup>a</sup>	34.17 $\pm$ 3.49 <sup>a</sup>	39.58 $\pm$ 5.84 <sup>a</sup>	خاکدانه درشت Macro-aggregate (g kg <sup>-1</sup> )
0.260	4.360	32.58 $\pm$ 6.82 <sup>b</sup>	40.42 $\pm$ 6.77 <sup>ab</sup>	41.17 $\pm$ 7.95 <sup>ab</sup>	46.08 $\pm$ 6.89 <sup>ab</sup>	54.83 $\pm$ 6.55 <sup>a</sup>	خاکدانه ریز Micro-aggregate (g kg <sup>-1</sup> )
0.825	0.376	1.21 $\pm$ 0.22 <sup>a</sup>	0.89 $\pm$ 0.18 <sup>a</sup>	1.24 $\pm$ 0.32 <sup>a</sup>	1.22 $\pm$ 0.41 <sup>a</sup>	0.93 $\pm$ 0.21 <sup>a</sup>	نسبت خاکدانه درشت به ریز Macro/Micro-aggregate ratio (g kg <sup>-1</sup> )

را دارد، همراه با فقدان فعالیت‌های خاک‌ورزی و سرعت پایین تجزیه می‌تواند باعث افزایش کربن آلی محلول خاک شود (۵۸). زیاد بودن میزان کربن آلی خاک در پوشش جنگل طبیعی به دلیل بالاتر بودن سرعت تجزیه مواد آلی و وجود بقایای گیاهی است (۵۹). نیتروژن کل و مشتقات آن در خاک نیز در اثر تغییر کاربری، کاهش می‌یابد که کاهش لاشبرگ علت عمده این موضوع است (۶۰). بیش‌تر بودن میزان پتاسیم در خاک رویشگاه‌های جنگلی به علت جابه‌جایی پتاسیم از لایه‌های پایین‌تر، به خاک سطحی توسط پوشش گیاهی می‌باشد (۶۱). به‌طور کلی، توزیع فسفر در خاک توسط چرخه ژئوشیمیایی مشخص می‌شود و لئو و همکاران (۲۰۲۰) همسو با نتایج پژوهش حاضر بیش‌ترین میزان فسفر خاک را در رویشگاه‌های جنگلی گزارش کردند (۶۰). هم‌چنین رام و همکاران (۲۰۲۲) تأکید دارند که محتوای کربن آلی بیش‌تر، فعالیت‌های آنزیم اوهره آز در خاک را تشدید می‌کند (۶۲). برای مرتع و رویشگاه‌های جنگلی، فعالیت‌های آنزیم آریل سولفاتاز وابسته به محتویات اشکال مختلف کربن، زیست توده میکروبی گوگرد و گوگرد کل خاک می‌باشد (۶۳). تغییرات آنزیم اینورتاز به کربن آلی، نیتروژن کل و فسفر بستگی دارد (۶۴). در پژوهشی بوراکا و همکاران (۲۰۲۳) نشان دادند که بیش‌ترین مقدار منیزیم و کلسیم در اراضی جنگلی بوده و کم‌ترین میزان آن در اراضی مرتعی است که همسو با نتایج پژوهش حاضر است (۶۵). مطالعه شی و همکاران (۲۰۰۷) نشان داد که تنوع گونه‌ها در جنگل طبیعی نسبت به اراضی تخریب‌یافته بیش‌تر است و می‌تواند دلیلی برای افزایش زیتوده ریزریشه در جنگل طبیعی باشد (۶۶) که هم‌راستا با نتایج این پژوهش بوده و بیش‌ترین میزان زیتوده به جنگل طبیعی و کم‌ترین میزان آن به پوشش مرتعی اختصاص داشت. در پژوهشی ما و

مشخصه‌های شیمیایی: طبق نتایج حاصل از آنالیز مشخصه‌های شیمیایی خاک، بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر کربن آلی ذره‌ای، نیتروژن در خاکدانه درشت، نیتروژن آلی ذره‌ای، نسبت کربن به نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، زیتوده درشت ریشه، زیتوده ریز ریشه، آنزیم اوهره آز و آنزیم اسید فسفاتاز به‌ترتیب در جنگل طبیعی و پوشش مرتعی می‌باشد. بیش‌ترین مقادیر پارامترهای کربن میکرو خاکدانه و کربن به جنگل کاری آمیخته و کم‌ترین میزان آن به جنگل کاری خالص پلت تعلق داشت. بیش‌ترین مقادیر نیتروژن، کربن آلی محلول، ذخیره نیتروژن، در جنگل طبیعی و کم‌ترین مقدار آن در جنگل کاری خالص پلت است. مقدار ذخیره کربن در پوشش مرتع بیش‌ترین و در جنگل کاری خالص پلت دارای کم‌ترین مقدار می‌باشد. نسبت کربن خاکدانه درشت به ریز دارای بیش‌ترین مقدار در جنگل طبیعی و کم‌ترین مقدار در جنگل کاری آمیخته می‌باشد. مشخصه‌های واکنش خاک، کربن در خاکدانه درشت، شاخص مدیریت کربن، نیتروژن در خاکدانه ریز، نسبت نیتروژن خاکدانه درشت به ریز، نسبت کربن به نیتروژن آلی محلول، نسبت کربن به نیتروژن آلی ذره‌ای، آنزیم اینورتازو آنزیم آریل سولفاتاز در انواع پوشش‌ها دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند (جدول ۳). مطالعه مولگتا و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد که محتوای نیتروژن و محتوی کلسیم در زمین‌های جنگلی نسبت به اراضی مرتعی بالاتر بوده است (۵۶). کربن آلی خاک و مشتقات آن در لایه‌ها و خاکدانه‌های مختلف بسیار تحت‌تأثیر تغییر کاربری قرار دارد و به‌طور چشمگیری بعد از تغییر کاربری کاهش می‌یابد، که علت اصلی آن بازگشت کم‌تر زیتوده و بقایای گیاهی به خاک می‌باشد (۵۷). افزودن سالانه مقدار زیادی ماده آلی به شکل لاشبرگ، که به‌طور بالقوه در پوشش جنگل طبیعی بالاترین مقدار

همکاران (۲۰۲۳) بیان داشتند که تغییر در پوشش گیاهی و کاربری اراضی موجب کاهش و افت خصوصیات شیمیایی خاک شده و تخریب جنگل و تبدیل آن به اراضی دیگر موجب افزایش ۲۲ درصد فرسایش خاک شده است (۵۶).

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین  $\pm$  اشتباه معیار) ویژگی‌های شیمیایی خاک در رویشگاه‌های مورد مطالعه.

Table 3. ANOVA ( $\pm$  standard error) for soil chemical characteristics in the studied habitats.

تجزیه واریانس ANOVA		رویشگاه Habitats					ویژگی‌های خاک Soil properties
معنی‌داری Sig.	F مقدار F value	پوشش مرتعی Rangeland	جنگل کاری خالص پلت Pure pellet plantation	جنگل کاری خالص توسکا Pure alder plantation	جنگل کاری آمیخته mixed plantation	جنگل طبیعی Natural forest	
0.021	3.142	0.27 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	0.27 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	0.25 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>	0.29 $\pm$ 0.01 <sup>ab</sup>	0.33 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC (dS/m)
0.030	2.908	4.82 $\pm$ 0.42 <sup>ab</sup>	3.80 $\pm$ 0.26 <sup>b</sup>	4.63 $\pm$ 0.24 <sup>ab</sup>	5.41 $\pm$ 0.44 <sup>a</sup>	4.47 $\pm$ 0.25 <sup>ab</sup>	کربن (درصد) C (%)
0.062	2.387	60.06 $\pm$ 5.06 <sup>a</sup>	47.00 $\pm$ 3.67 <sup>b</sup>	59.93 $\pm$ 3.65 <sup>a</sup>	57.99 $\pm$ 4.99 <sup>ab</sup>	48.72 $\pm$ 2.72 <sup>ab</sup>	ذخیره کربن (مگاگرم بر هکتار) C stock (Mg ha <sup>-1</sup> )
0.167	1.684	5.22 $\pm$ 0.26 <sup>a</sup>	4.63 $\pm$ 0.30 <sup>a</sup>	5.34 $\pm$ 0.25 <sup>a</sup>	5.28 $\pm$ 0.23 <sup>a</sup>	4.46 $\pm$ 0.46 <sup>a</sup>	کربن در خاکدانه درشت C in Macro-aggregate (g kg <sup>-1</sup> )
0.000	6.032	4.28 $\pm$ 0.34 <sup>ab</sup>	2.61 $\pm$ 0.34 <sup>c</sup>	4.21 $\pm$ 0.49 <sup>ab</sup>	5.29 $\pm$ 0.15 <sup>a</sup>	3.74 $\pm$ 0.53 <sup>b</sup>	کربن در خاکدانه ریز C in Micro-aggregate (g kg <sup>-1</sup> )
0.016	3.343	1.29 $\pm$ 0.10 <sup>b</sup>	2.17 $\pm$ 0.32 <sup>a</sup>	1.49 $\pm$ 0.19 <sup>ab</sup>	1.02 $\pm$ 0.06 <sup>b</sup>	1.52 $\pm$ 0.34 <sup>ab</sup>	نسبت کربن خاکدانه درشت به ریز Macro/Micro-aggregate C ratio (g kg <sup>-1</sup> )
0.046	2.604	4.28 $\pm$ 2.61 <sup>b</sup>	2.61 $\pm$ 3.49 <sup>b</sup>	4.21 $\pm$ 4.70 <sup>ab</sup>	35.13 $\pm$ 4.05 <sup>ab</sup>	41.91 $\pm$ 7.62 <sup>a</sup>	کربن آلی محلول (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Dissolved organic C (mg kg <sup>-1</sup> )
0.024	3.048	2.46 $\pm$ 0.23 <sup>b</sup>	2.81 $\pm$ 0.38 <sup>b</sup>	2.94 $\pm$ 0.48 <sup>b</sup>	3.16 $\pm$ 0.39 <sup>b</sup>	4.34 $\pm$ 0.49 <sup>a</sup>	کربن آلی ذره‌ای (گرم بر کیلوگرم) Particulate organic C (mg kg <sup>-1</sup> )
0.481	0.882	1118.53 $\pm$ 216.43 <sup>a</sup>	1635.92 $\pm$ 474.17 <sup>a</sup>	1073.55 $\pm$ 178.01 <sup>a</sup>	1021.82 $\pm$ 216.31 <sup>a</sup>	1011.11 $\pm$ 203.54 <sup>a</sup>	شاخص مدیریت کربن Carbon management index
0.000	8.113	0.27 $\pm$ 0.02 <sup>c</sup>	0.27 $\pm$ 0.03 <sup>c</sup>	0.36 $\pm$ 0.04 <sup>bc</sup>	38 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup>	0.49 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	نیترژن (درصد) Total N (%)
0.003	4.573	3.35 $\pm$ 0.35 <sup>c</sup>	3.33 $\pm$ 0.37 <sup>c</sup>	4.74 $\pm$ 0.59 <sup>ab</sup>	4.10 $\pm$ 0.36 <sup>bc</sup>	5.32 $\pm$ 0.26 <sup>a</sup>	ذخیره نیترژن (مگاگرم بر هکتار) N stock (Mg ha <sup>-1</sup> )
0.024	3.067	0.34 $\pm$ 0.04 <sup>b</sup>	0.42 $\pm$ 0.07 <sup>b</sup>	0.40 $\pm$ 0.04 <sup>b</sup>	0.51 $\pm$ 0.06 <sup>ab</sup>	0.60 $\pm$ 0.05 <sup>a</sup>	نیترژن در خاکدانه درشت N in Macro-aggregate (g kg <sup>-1</sup> )
0.242	1.414	0.11 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	0.17 $\pm$ 0.05 <sup>a</sup>	0.25 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	0.15 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	0.22 $\pm$ 0.06 <sup>a</sup>	نیترژن در خاکدانه ریز N in Micro-aggregate (g kg <sup>-1</sup> )
0.266	1.342	7.20 $\pm$ 2.75 <sup>a</sup>	10.36 $\pm$ 4.76 <sup>a</sup>	2.75 $\pm$ 0.82 <sup>a</sup>	18.03 $\pm$ 8.10 <sup>a</sup>	16.23 $\pm$ 7.22 <sup>a</sup>	نسبت نیترژن خاکدانه درشت به ریز Macro/Micro-aggregate N ratio (g kg <sup>-1</sup> )

ادامه جدول ۳-

Continue Table 3.

تجزیه واریانس ANOVA		رویشگاه Habitats					ویژگی‌های خاک Soil properties
معنی‌داری Sig.	مقدار F F value	پوشش مرتعی Rangeland	جنگل کاری خالص پلت Pure pellet plantation	جنگل کاری خالص توسکا Pure alder plantation	جنگل کاری آمیخته mixed plantation	جنگل طبیعی Natural forest	
0.000	9.419	11.42±1.10 <sup>b</sup>	14.11±1.71 <sup>b</sup>	16.33±2.39 <sup>b</sup>	15.88±1.45 <sup>b</sup>	30.46±4.15 <sup>a</sup>	نیترژن آلی محلول (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Dissolved organic N (mg kg <sup>-1</sup> )
0.010	3.664	0.23±0.02 <sup>b</sup>	0.29±0.05 <sup>b</sup>	0.25±0.05 <sup>b</sup>	0.26±0.07 <sup>b</sup>	0.47±0.4 <sup>a</sup>	نیترژن آلی ذره‌ای (گرم بر کیلوگرم) Particulate organic N (mg kg <sup>-1</sup> )
0.001	5.741	18.61±0.87 <sup>a</sup>	16.30±2.70 <sup>a</sup>	14.36±1.37 <sup>a</sup>	14.36±0.71 <sup>a</sup>	9.17±0.23 <sup>b</sup>	نسبت کربن به نیترژن C/N ratio
0.992	0.276	2.08±0.21 <sup>a</sup>	2.22±0.48 <sup>a</sup>	2.11±0.26 <sup>a</sup>	2.47±0.40 <sup>a</sup>	1.92±0.47 <sup>a</sup>	نسبت کربن به نیترژن آلی محلول Dissolved organic C/N ratio
0.367	1.098	15.43±3.90 <sup>a</sup>	20.86±7.22 <sup>a</sup>	14.16±2.43 <sup>a</sup>	19.65±3.51 <sup>a</sup>	9.94±1.53 <sup>a</sup>	نسبت کربن به نیترژن آلی ذره‌ای Particulate organic C/N ratio
0.000	17.358	17.06±1.85 <sup>d</sup>	19.83±2.47 <sup>cd</sup>	26.77±2.50 <sup>c</sup>	34.28±3.28 <sup>b</sup>	43.96±2.83 <sup>a</sup>	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Available P (mg kg <sup>-1</sup> )
0.000	11.139	198.75±20.17 <sup>d</sup>	219.67±28.62 <sup>cd</sup>	294.00±27.06 <sup>bc</sup>	329.5±3132 <sup>b</sup>	417.67±23.29 <sup>a</sup>	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Available K (mg kg <sup>-1</sup> )
0.000	7.061	32.58±6.82 <sup>b</sup>	40.42±6.77 <sup>ab</sup>	41.17±7.95 <sup>ab</sup>	46.08±6.89 <sup>ab</sup>	54.83±6.55 <sup>a</sup>	کلسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Available Ca (mg kg <sup>-1</sup> )
0.000	17.623	174.25±16.67 <sup>b</sup>	204.67±20.69 <sup>b</sup>	213.33±18.70 <sup>b</sup>	220.67±20.66 <sup>b</sup>	304.25±1351 <sup>a</sup>	منیزیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Available Mg (mg kg <sup>-1</sup> )
0.000	13.607	31.33±2.33 <sup>c</sup>	40.08±4.49 <sup>c</sup>	42.67±4.82 <sup>c</sup>	65.08±6.58 <sup>b</sup>	78.58±4.05 <sup>a</sup>	زیتوده درشت‌ریشه (کیلوگرم بر هکتار) Coarse root biomass (kg he.)
0.017	3.304	34.02±3.49 <sup>c</sup>	35.99±4.20 <sup>c</sup>	51.63±5.87 <sup>b</sup>	52.79±7.00 <sup>b</sup>	84.45±6.03 <sup>a</sup>	زیتوده ریزریشه (گرم بر مترمربع) Fine root biomass (g m <sup>2</sup> )
0.000	7.585	15.73±1.21 <sup>b</sup>	17.96±1.21 <sup>b</sup>	18.65±2.26 <sup>b</sup>	19.82±2.86 <sup>ab</sup>	25.17±1.56 <sup>a</sup>	آنزیم اوره‌آز Urease (μg NH <sup>4+</sup> -N g <sup>-1</sup> 2 h <sup>-1</sup> )
0.384	1.062	170.92±31.89 <sup>c</sup>	172.08±46.10 <sup>c</sup>	324.25±57.85 <sup>b</sup>	316.75±38.43 <sup>b</sup>	487.92±58.41 <sup>a</sup>	آنزیم اسید فسفاتاز Acid phosphatase (μg PNP g <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )
0.063	2.379	67.17±7.31 <sup>a</sup>	85.83±22.73 <sup>a</sup>	97.33±41.78 <sup>a</sup>	105.50±15.28 <sup>a</sup>	131.58±11.71 <sup>a</sup>	آنزیم آریل سولفاتاز Arylsulphatase (μg PNP g <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )
0.000	8.312	77.50±13.88 <sup>b</sup>	95.75±14.39 <sup>b</sup>	164.17±50.97 <sup>ab</sup>	156.17±45.43 <sup>a</sup>	206.42±27.63 <sup>a</sup>	آنزیم اینورتاز Invertase (μg Glucose g <sup>-1</sup> 3 h <sup>-1</sup> )

ماکروفون‌ها در این رویشگاه‌ها گزارش شده است (۶۹). هم‌چنین سیراجول و حاقو (۲۰۱۴) کاهش معنادار آنسئیک خاک را نتیجه جنگل‌زدایی‌ها می‌دانند و بیش‌ترین مقدار اپی‌ژئیک خاک را برای رویشگاه‌های جنگلی گزارش کردند (۷۰). با جنگل‌زدایی سرعت تبخیر آب افزایش یافته و موجب خشک شدن خاک می‌شود که به دنبال آن جمعیت و تنوع کرم‌های خاکی با از دست دادن رطوبت از طریق پوست، کاهش می‌یابد (۷۱).

در تأیید نتایج پژوهش حاضر، مطالعات نشان می‌دهد که فراوانی کنه خاکزی به دلیل در دسترس‌تر بودن غذا، تجمع بستر و فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی مطلوب‌تر در جنگل‌های طبیعی نسبت به اراضی تغییر کاربری یافته، بیش‌تر است (۷۲). نوع پوشش گیاهی و شرایط خاک مانند pH و دسترسی به مواد غذایی اصلی‌ترین عامل تغییرات فراوانی پادمان خاکزی در کاربری‌های مختلف می‌باشد (۷۳). پژوهش افضل و همکاران (۲۰۲۳) تغییرات فراوانی نماتد کل خاکزی را به دلیل تغییرات شبکه غذایی وابسته به تغییر کاربری می‌داند که این موضوع در رابطه با فراوانی پروتوزوئر نیز برقرار است (۷۴). در اکثر اکوسیستم‌ها فراوانی جمعیت قارچ‌های خاک با حذف پوشش گیاهی به دلیل کاهش میزان و تنوع زیست‌توده‌ها، کاهش می‌یابد (۷۵). تنفس خاک نشان‌دهنده فعالیت‌های زیستی و تجزیه بقایای گیاهی است (۷۶). هم‌چنین محتوی رطوبت خاک نقش اساسی در تنفس میکروبی خاک دارد (۷۷). بر همین اساس در پژوهش حاضر، بیش‌ترین میزان تنفس خاک به جنگل‌کاری آمیخته متعلق بود. تأثیرپذیری کربن زیتوده میکروبی و نیتروژن زیتوده میکروبی از تغییر کاربری زیاد بوده که دلیل اصلی آن‌ها تفاوت گونه‌های مختلف گیاهی و تأثیر پوشش بر فرآیندهای میکروبی خاک می‌باشد (۷۴).

مشخصه‌های زیستی: نتایج بیانگر وجود تفاوت‌های معنی‌دار در مشخصه‌های زیستی خاک در پوشش‌های مورد بررسی بوده و اکثر مشخصه‌های مورد بررسی در جنگل طبیعی دارای بیش‌ترین مقدار و در پوشش مرتعی کم‌ترین مقدار را دارا می‌باشد. فراوانی و زیتوده اپی‌ژئیک، آنسئیک و اندوژئیک در فصل تابستان بین رویشگاه‌ها دارای اختلاف معنی‌داری نمی‌باشد. بیش‌ترین مقدار تنفس پایه در دو فصل (پاییز و تابستان) در جنگل‌کاری آمیخته و کم‌ترین مقدار آن در پوشش مرتعی می‌باشد. هم‌چنین بیش‌ترین میزان تنفس میکروبی برانگیخته در فصل تابستان متعلق به جنگل‌کاری آمیخته و در فصل پاییز در جنگل‌کاری خالص پلت می‌باشد و کم‌ترین میزان این مشخصه در هر دو فصل در پوشش مرتعی مشاهده شد. بیش‌ترین میزان کربن زیتوده میکروبی در فصل تابستان در جنگل طبیعی و در فصل پاییز در جنگل‌کاری آمیخته می‌باشد. کم‌ترین میزان این مشخصه در هر دو فصل متعلق به پوشش مرتعی است. هم‌چنین بیش‌ترین میزان نیتروژن زیتوده میکروبی در جنگل طبیعی و کم‌ترین مقدار آن در پوشش مرتعی می‌باشد. بیش‌ترین میزان نسبت کربن به نیتروژن زیتوده در پاییز به جنگل‌کاری آمیخته و کم‌ترین مقدار متعلق به جنگل طبیعی می‌باشد. هم‌چنین در فصل تابستان این پارامتر اختلاف معنی‌داری را در بین پوشش‌های مورد بررسی نشان نداد (جدول ۴). جنگل‌زدایی باعث افزایش pH، کلسیم و هم‌چنین موجب کاهش رطوبت خاک در پوشش جنگل طبیعی می‌شود، که موجب از بین رفتن مورفولوژی‌های کرم خاکی می‌شود (۶۷). فراوانی و تنوع ماکروفون‌ها همبستگی مثبتی با مواد آلی خاک، کربن و نیتروژن زیست‌توده میکروبی و تخلخل کل و همبستگی منفی با تراکم خاک دارد (۶۸). با توجه به مساعدتر بودن این شرایط در رویشگاه‌های جنگلی، بیش‌تر بودن تراکم و زیتوده

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین ± اشتباه معیار) پویایی کلیما، فون و فلور خاک در رویشگاه‌های مورد مطالعه.  
Table 4. ANOVA (Mean± standard error) for dynamics of climate, soil fauna and flora in the studied habitats.

معنی داری Sig.	مقدار F F value	رویشگاه Habitats				فصل Season	کلیما، فون و فلور خاک climate, soil fauna and flora
		پوشش مرتعی Rangeland	پوشش پت Pure pellet plantation	جنگل کاری خالص پت Pure alder plantation	جنگل کاری آمیخته mixed plantation		
0.000	21.624	15.77±0.64 <sup>c</sup>	16.48±0.87 <sup>c</sup>	19.56±0.64 <sup>b</sup>	22.40±0.83 <sup>a</sup>	Summer	رطوبت خاک (درصد) Moisture (%)
0.006	4.080	22.16±2.19 <sup>c</sup>	25.16±1.39 <sup>bc</sup>	30.08±6.81 <sup>ab</sup>	29.83±2.51 <sup>ab</sup>	Autumn	
0.000	15.233	28.40±1.24 <sup>a</sup>	26.20±0.71 <sup>a</sup>	22.26±1.13 <sup>b</sup>	20.61±0.68 <sup>b</sup>	Summer	دمای خاک (درجه سانتی گراد) Temperature (°C)
0.659	0.607	20.25±1.44 <sup>a</sup>	18.56±1.44 <sup>a</sup>	17.83±1.51 <sup>a</sup>	17.59±1.00 <sup>a</sup>	Autumn	
0.061	2.401	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.08±0.08 <sup>ab</sup>	0.33±0.18 <sup>ab</sup>	Summer	فراوانی اپی ژئیک (تعداد در مترمربع) Epigeic density (n m <sup>2</sup> )
0.000	8.884	0.08±0.08 <sup>b</sup>	0.16±0.16 <sup>b</sup>	0.16±0.16 <sup>b</sup>	1.16±0.32 <sup>a</sup>	Autumn	
0.066	2.343	0.00±0.00 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	1.23±1.23 <sup>a</sup>	4.82±2.59 <sup>a</sup>	Summer	زیتوده اپی ژئیک (میلی گرم در مترمربع) Epigeic biomass (mg m <sup>2</sup> )
0.000	8.744	0.93±0.93 <sup>b</sup>	1.89±1.27 <sup>b</sup>	1.98±1.98 <sup>b</sup>	11.64±3.07 <sup>a</sup>	Autumn	
0.081	2.200	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.16±0.11 <sup>ab</sup>	0.25±0.17 <sup>ab</sup>	Summer	فراوانی آنسیک (تعداد در مترمربع) Aneic density (n m <sup>2</sup> )
0.003	4.656	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.41±0.17 <sup>a</sup>	Autumn	
0.093	2.099	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	2.31±1.69 <sup>ab</sup>	3.64±2.45 <sup>ab</sup>	Summer	زیتوده آنسیک (میلی گرم در مترمربع) Aneic biomass (mg m <sup>2</sup> )
0.005	4.172	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	5.11±2.46 <sup>a</sup>	Autumn	
0.102	2.037	0.00±0.00 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	0.25±0.17 <sup>a</sup>	0.50±0.19 <sup>a</sup>	Summer	فراوانی اندوژئیک (تعداد در مترمربع) Endogeic density (n m <sup>2</sup> )
0.201	1.549	0.00±0.00 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	0.16±0.11 <sup>a</sup>	Autumn	
0.061	2.403	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	2.76±2.10 <sup>ab</sup>	6.06±2.26 <sup>ab</sup>	Summer	زیتوده اندوژئیک (میلی گرم در مترمربع) Endogeic biomass (mg m <sup>2</sup> )
0.341	1.155	0.00±0.00 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	2.26±1.98 <sup>a</sup>	Autumn	
0.000	6.589	0.00±0.00 <sup>c</sup>	0.00±0.00 <sup>c</sup>	0.50±0.19 <sup>bc</sup>	1.08±0.33 <sup>ab</sup>	Summer	فراوانی کل کرم‌خاکی (تعداد در مترمربع) Earthworm density (n m <sup>2</sup> )
0.000	13.229	0.08±0.08 <sup>b</sup>	0.16±0.11 <sup>b</sup>	0.16±0.16 <sup>b</sup>	0.16±0.16 <sup>b</sup>	Autumn	
0.000	6.225	0.00±0.00 <sup>c</sup>	0.00±0.00 <sup>c</sup>	6.31±2.55 <sup>bc</sup>	14.52±4.73 <sup>ab</sup>	Summer	زیتوده کل کرم‌خاکی Earthworm biomass (mg m <sup>2</sup> )
0.000	12.193	0.93±0.93 <sup>b</sup>	1.89±1.27 <sup>b</sup>	1.98±1.98 <sup>b</sup>	19.02±5.26 <sup>a</sup>	Autumn	

ادامه جدول ۴ -  
Continue Table 4.

معنی داری ANOVA	تجزیه واریانس ANOVA	زیستگاه Habitats				فصل Season	کلیما، فون و فلور خاک climate, soil fauna and flora
		پوشش مرتعی Rangeland	جنگل کاری خلص پت Pure pellet plantation	جنگل کاری خلص توسکا Pure alder plantation	جنگل کاری آمیخته mixed plantation		
0.000	78.565	4070.08±505.68 <sup>c</sup>	3801.00±432.75 <sup>c</sup>	12822.66±390.77 <sup>b</sup>	14982.33±827.84 <sup>b</sup>	Summer	فراوانی کنه خاکزی (تعداد در مترمربع) Acarina density (n m <sup>-2</sup> )
0.000	10.988	7761.41±548.12 <sup>d</sup>	15695.08±797.63 <sup>cd</sup>	23315.08±2580.30 <sup>bc</sup>	25654.41±1804.05 <sup>ab</sup>	Autumn	
0.000	192.024	274.33±15.59 <sup>d</sup>	648.58±70.74 <sup>d</sup>	2647.41±183.62 <sup>c</sup>	8644.91±343.19 <sup>b</sup>	Summer	فراوانی پادمان خاکزی (تعداد در متر مربع) Collembola density (n m <sup>-2</sup> )
0.000	35.565	19225.00±1764.77 <sup>d</sup>	42315.91±4518.89 <sup>c</sup>	54768.08±3139.95 <sup>b</sup>	72839.25±5449.41 <sup>a</sup>	Autumn	
0.000	9.515	61.08±5.19 <sup>e</sup>	114.08±11.35 <sup>b</sup>	143.33±17.27 <sup>ab</sup>	171.66±10.10 <sup>a</sup>	Summer	نماتد کل خاکزی Total nematode (in 100 gr soil)
0.000	122.144	66.58±5.58 <sup>d</sup>	104.83±12.82 <sup>d</sup>	175.41±13.69 <sup>c</sup>	388.75±31.46 <sup>b</sup>	Autumn	
0.000	13.485	44.41±5.84 <sup>d</sup>	77.00±5.36 <sup>cd</sup>	113.16±31.86 <sup>c</sup>	177.91±31.81 <sup>b</sup>	Summer	فراوانی پروتوزوئر خاکزی Protozoa density (in 100 gr soil)
0.000	15.489	46.66±5.51 <sup>c</sup>	120.00±11.63 <sup>bc</sup>	177.25±7.06 <sup>b</sup>	351.58±36.58 <sup>a</sup>	Autumn	
0.000	16.768	0.75±0.07 <sup>e</sup>	1.24±0.21 <sup>bc</sup>	1.75±0.32 <sup>b</sup>	2.61±0.30 <sup>a</sup>	Summer	جمعیت قارچ (تعداد در ۱۰ گرم خاک) Total fungi (×10 <sup>7</sup> g soil)
0.000	123.659	0.24±0.03 <sup>c</sup>	0.65±0.04 <sup>d</sup>	1.09±0.04 <sup>c</sup>	1.46±0.05 <sup>b</sup>	Autumn	
0.000	12.999	0.44±0.05 <sup>c</sup>	0.62±0.06 <sup>c</sup>	1.01±0.10 <sup>b</sup>	1.10±0.13 <sup>b</sup>	Summer	جمعیت باکتری (تعداد در ۱۰ گرم خاک) Total bacteria (×10 <sup>7</sup> g soil)
0.000	51.251	0.25±0.05 <sup>d</sup>	0.41±0.03 <sup>c</sup>	0.74±0.04 <sup>b</sup>	0.85±0.04 <sup>b</sup>	Autumn	
0.000	7.733	0.13±0.01 <sup>c</sup>	0.23±0.03 <sup>b</sup>	0.29±0.03 <sup>ab</sup>	0.36±0.02 <sup>a</sup>	Summer	تنفس پایه BR (mg CO <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> day <sup>-1</sup> )
0.005	4.223	0.11±0.01 <sup>b</sup>	0.19±0.03 <sup>ab</sup>	0.21±0.04 <sup>a</sup>	0.27±0.01 <sup>a</sup>	Autumn	تنفس میکروبی برانگیخته SIR (mg CO <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> day <sup>-1</sup> )
0.000	7.979	0.92±0.15 <sup>c</sup>	1.12±0.10 <sup>bc</sup>	1.09±0.10 <sup>bc</sup>	1.68±0.07 <sup>a</sup>	Summer	
0.049	2.553	0.46±0.04 <sup>b</sup>	1.74±0.07 <sup>ab</sup>	0.78±0.15 <sup>ab</sup>	1.03±0.22 <sup>a</sup>	Autumn	کربن زی توده میکروبی MBC (mg kg <sup>-1</sup> )
0.003	4.537	191.79±11.81 <sup>c</sup>	298.32±44.77 <sup>bc</sup>	336.82±61.92 <sup>bc</sup>	424.13±51.54 <sup>ab</sup>	Summer	
0.000	7.853	75.23±4.55 <sup>c</sup>	124.22±8.95 <sup>b</sup>	141.40±19.81 <sup>ab</sup>	186.30±15.51 <sup>a</sup>	Autumn	نیتروژن زیتوده میکروبی MBN (mg kg <sup>-1</sup> )
0.000	10.481	16.48±1.04 <sup>e</sup>	27.59±4.43 <sup>bc</sup>	28.62±4.66 <sup>bc</sup>	39.34±4.33 <sup>b</sup>	Summer	
0.000	16.035	7.32±0.42 <sup>c</sup>	11.96±0.24 <sup>b</sup>	13.17±1.40 <sup>b</sup>	18.89±1.45 <sup>a</sup>	Autumn	نسبت کربن به نیتروژن زیتوده میکروبی MBC/MBN ratio
0.056	2.465	11.89±0.67 <sup>a</sup>	11.00±0.48 <sup>ab</sup>	9.00±1.26 <sup>b</sup>	8.62±1.27 <sup>b</sup>	Summer	
0.001	5.190	10.26±0.18 <sup>a</sup>	10.43±0.82 <sup>a</sup>	10.44±0.39 <sup>a</sup>	9.81±0.28 <sup>a</sup>	Autumn	



همکاران (۲۰۲۲) بررسی شد و بیان داشتند که نوع پوشش گیاهی در کاربری‌های مختلف خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک را تحت تأثیر مثبت و منفی قرار می‌دهد به طوری که چگالی ظاهری را کاهش و ساختار و خواص هیدرولیکی خاک را بهبود می‌بخشد و میزان نیترات و آمونیوم را افزایش می‌دهد (۷۵). نتایج ژو و همکاران (۲۰۲۱) نشان داد که خاک پوشش جنگل طبیعی بالاترین مقدار معدنی شدن نیتروژن و اراضی که تغییر کاربری در آن‌ها صورت گرفته است دارای کمترین مقدار معدنی شدن نیتروژن می‌باشد (۷۸). مقادیر منفی نیتریفیکاسیون و معدنی شدن نیتروژن، نشان‌دهنده مصرف شدن نیتروژن آلی توسط ریزجانداران در طول دوره انکوباسیون است که می‌تواند به دلیل استفاده از این منبع برای تامین انرژی و نیتروژن مورد نیاز جمعیت میکروبی برای انجام فرآیند تجزیه بقایای گیاهی و معدنی شدن عناصر غذایی از جمله نیتروژن باشد (۶۰). هم‌چنین با توجه به این که معدنی شدن نیتروژن در ارتباط مستقیم با کیفیت بقایای گیاهی، حاصلخیزی خاک و فعالیت‌های میکروبی است (۷۹). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در پوشش جنگل طبیعی به دلیل وجود بقایای گیاهی و هم‌چنین بالا بودن میزان نیتروژن و کم‌تر بودن نسبت کربن به نیتروژن خاک در تغییر شکل نیتروژن اثرگذارتر می‌باشد.

تغییر شکل نیتروژن: نتایج تجزیه و تحلیل واریانس مشخصه‌های خاک در دو فصل تابستان و پاییز بیانگر آنست که بیش‌ترین مقدار نیترات و آمونیوم در هر دو فصل تابستان و پاییز متعلق به جنگل طبیعی و کم‌ترین مقدار آن در پوشش مرتعی می‌باشد. مشخصه نیتریفیکاسیون در فصل تابستان و پاییز روند نزولی دارد، به طوری که در فصل پاییز بیش‌ترین مقدار آن در جنگل کاری خالص پلت و کم‌ترین مقدار آن در جنگل کاری آمیخته می‌باشد. از طرفی میزان این مشخصه در فصل تابستان اختلاف معنی‌داری را در بین پوشش‌های مورد بررسی نشان نمی‌دهد. آمونیفیکاسیون در بین پوشش‌های مختلف در فصل تابستان دارای عدم معنی‌داری بوده در حالی که در فصل پاییز اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهد و بیش‌ترین مقدار آن متعلق به جنگل طبیعی می‌باشد. بیش‌ترین مقدار معدنی شدن نیتروژن در فصل پاییز متعلق به جنگل طبیعی می‌باشد. این مشخصه روند نزولی داشته و در فصل تابستان دارای عدم تفاوت معنی‌دار در بین پوشش‌های مورد بررسی است (جدول ۵). نوع پوشش گیاهی می‌تواند اثرات معنی‌داری بر تغییرپذیری مقادیر آمونیوم و نیترات خاک داشته باشد. مطالعه لی و همکاران (۲۰۱۴) نشان داد که پوشش‌های درختی بر انباشت محتوی آمونیوم و نیترات خاک اثرات مثبت دارد (۶۱). تأثیر پوشش گیاهی بر روی خصوصیات خاک توسط کوداها و

جدول ۵- تجزیه واریانس (میانگین  $\pm$  اشتباه معیار) مشخصه‌های تغییر شکل نیتروژن در رویشگاه‌های مورد مطالعه.

**Table 5. ANOVA (Mean  $\pm$  standard error) Nitrogen transformation characteristics in the studied habitats.**

تجزیه واریانس ANOVA		رویشگاه Habitats					فصل Season	تغییر شکل نیتروژن Nitrogen transformation
معنی‌داری Sig.	مقدار F F value	پوشش مرتعی Rangeland	جنگل کاری خالص پلت Pure pellet plantation	جنگل کاری خالص توسکا Pure alder plantation	جنگل کاری آمیخته mixed plantation	جنگل طبیعی Natural forest		
0.000	28.190	12.01 $\pm$ 0.63 <sup>c</sup>	13.66 $\pm$ 0.37 <sup>c</sup>	19.74 $\pm$ 0.98 <sup>b</sup>	21.36 $\pm$ 1.28 <sup>b</sup>	28.38 $\pm$ 2.10 <sup>a</sup>	Summer	نترات (میلی‌گرم بر کیلوگرم) NO <sub>3</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )
0.000	44.788	5.67 $\pm$ 0.18 <sup>c</sup>	7.69 $\pm$ 0.54 <sup>d</sup>	9.98 $\pm$ 0.36 <sup>c</sup>	12.76 $\pm$ 0.51 <sup>b</sup>	15.50 $\pm$ 0.99 <sup>a</sup>	Summer	آمونیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) NH <sub>4</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )
0.494	0.859	-0.23 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	-0.17 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	-0.28 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>	-0.21 $\pm$ 0.05 <sup>a</sup>	-0.22 $\pm$ 0.05 <sup>a</sup>	Summer	نیتریفیکاسیون (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> kg <sup>-1</sup> )
0.024	3.062	0.17 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup>	0.15 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>	0.23 $\pm$ 0.04 <sup>ab</sup>	0.21 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup>	0.32 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>	Summer	آمونیفیکاسیون Ammonification (mg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup> )
0.275	1.316	-0.062 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>	-0.016 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>	-0.044 $\pm$ 0.06 <sup>a</sup>	-0.002 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup>	0.098 $\pm$ 0.05 <sup>a</sup>	Summer	معدنی‌شدن نیتروژن (میلی‌گرم بر کیلوگرم) N mineralization (mg N kg soil <sup>-1</sup> )
0.000	60.948	1.76 $\pm$ 0.14 <sup>d</sup>	2.72 $\pm$ 0.23 <sup>d</sup>	6.78 $\pm$ 0.28 <sup>c</sup>	10.74 $\pm$ 0.85 <sup>b</sup>	14.19 $\pm$ 1.18 <sup>a</sup>	Autumn	نترات (میلی‌گرم بر کیلوگرم) NO <sub>3</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )
0.000	21.017	1.49 $\pm$ 0.16 <sup>c</sup>	1.71 $\pm$ 0.12 <sup>c</sup>	2.34 $\pm$ 0.15 <sup>bc</sup>	3.17 $\pm$ 0.16 <sup>b</sup>	5.64 $\pm$ 0.76 <sup>a</sup>	Autumn	آمونیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) NH <sub>4</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )
0.000	11.373	-0.009 $\pm$ 0.005 <sup>a</sup>	0.040 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	-0.160 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	-0.186 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup>	-0.150 $\pm$ 0.31 <sup>b</sup>	Autumn	نیتریفیکاسیون (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> kg <sup>-1</sup> )
0.000	14.234	0.004 $\pm$ 0.008 <sup>c</sup>	0.003 $\pm$ 0.006 <sup>c</sup>	0.077 $\pm$ 0.012 <sup>b</sup>	0.082 $\pm$ 0.011 <sup>b</sup>	0.169 $\pm$ 0.035 <sup>a</sup>	Autumn	آمونیفیکاسیون Ammonification (mg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup> )
0.029	2.914	-0.004 $\pm$ 0.008 <sup>ab</sup>	-0.036 $\pm$ 0.011 <sup>abc</sup>	0.083 $\pm$ 0.012 <sup>bc</sup>	-0.103 $\pm$ 0.037 <sup>b</sup>	0.019 $\pm$ 0.053 <sup>a</sup>	Autumn	معدنی‌شدن نیتروژن (میلی‌گرم بر کیلوگرم) N mineralization (mg N kg soil <sup>-1</sup> )

### نتیجه‌گیری کلی

پوشش گیاهی نقش مهمی در ذخیره آب، تولید خاک، جلوگیری از هدررفت خاک و افزایش پایداری در دامنه‌های شیب‌دار دارد. بررسی اثرات حذف پوشش گیاهی و تأثیر آن بر روی خصوصیات بیولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی خاک از جدیدترین تحقیقات علوم محیطی به شمار می‌رود. نتایج حاصل

از این پژوهش نشان داد که تغییرات کاربری اراضی از جنگل به مرتع و از مرتع به سایر کاربری‌ها و در نهایت حذف پوشش گیاهی زمین اثرات جبران‌ناپذیری بر روی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک دارد. با توجه به افزایش جمعیت و افزایش فعالیت‌های بشری به‌منظور احداث مسکن و زیربناهای جمعیتی به‌خصوص در نواحی شمال کشور، از بین

داده شده به‌طور قابل‌توجهی کمتر از پوشش گیاهی جنگل طبیعی و مرتع دست‌نخورده می‌باشد. بر همین اساس حفظ و نگهداری از عرصه‌های جنگل باید مورد توجه مدیران و بهره‌برداران قرار گیرد. ضمن این‌که در مناطق تخریب‌یافته می‌توان از پوشش درختی برای حفظ، احیا و بهبود حاصل‌خیزی خاک استفاده کرد.

رفتن جنگل‌ها رو به زیاد می‌باشد که اثرات منفی مهمی خواهد داشت. نتایج تغییر کاربری‌های طبیعی و جنگل‌ها دست‌کاشت در منطقه مورد مطالعه بیانگر آن است که فراوانی موجودات زیستی خاک به دلیل در دسترس‌تر بودن غذا، تجمع بستر و فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی مطلوب‌تر در جنگل‌های طبیعی نسبت به اراضی تغییر کاربری یافته، بیش‌تر می‌باشد. هم‌چنین فراوانی ارگانسیم‌های خاک در زمین‌های تغییر کاربری

### منابع

1. Chimitdorzhieva, G. D. (2023). Paths of Carbon Sequestration in Land Use (Literature Review). *Contemporary Problems of Ecology*, 16, 274-284. doi: <https://doi.org/10.1134/S1995425523030034>.
2. Bodo, T., Gimah, B. G., & Seomoni, K. J. (2021). Deforestation and habitat loss: Human causes, consequences and possible solutions. *Journal of Geographical Research*, 4 (2), 22-30. doi: <https://doi.org/10.30564/jgr.v4i2.3059>.
3. Kebebew, S., Bedadi, B., Erkossa, T., Yimer, F., & Wogi, L. (2022). Effect of different land-use types on soil properties in Cheha District, South-Central Ethiopia. *Sustainability*, 14 (3), 1323. doi: <https://doi.org/10.3390/su14031323>.
4. Huang, W., Zong, M., Fan, Z., Feng, Y., Li, S., Duan, C., & Li, H. (2021). Determining the impacts of deforestation and corn cultivation on soil quality in tropical acidic red soils using a soil quality index. *Ecological Indicators*, 125, 107580. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107580>.
5. Ayoubi, S., Sadeghi, N., Abbaszadeh Afshar, F., Abdi, M. R., Zeraatpisheh, M., & Rodrigo-Comino, J. (2021). Impacts of oak deforestation and rainfed cultivation on soil redistribution processes across hillslopes using <sup>137</sup>Cs techniques. *Forest Ecosystems*, 8 (1), 1-14. doi: <https://doi.org/10.1186/s40663-021-00311-1>.
6. Davari, M., Gholami, L., Nabiollahi, K., Homaei, 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. doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104504>.
7. Pendall, E., Hewitt, A., Boer, M. M., Carrillo, Y., Glenn, N. F., Griebel, A., Middleton, J. H., Mumford, P. J., Ridgeway, P., Rymer, P. D., & Steenbeeke, G. (2022). Remarkable Resilience of Forest Structure and Biodiversity Following Fire in the Peri-Urban Bushland of Sydney, Australia. *Climate*, 10 (6), 86. doi: <https://doi.org/10.3390/cli10060086>.
8. Tian, J., He, N., Kong, W., Deng, Y., Feng, K., Green, S. M., ... & Yu, G. (2018). Deforestation decreases spatial turnover and alters the network interactions in soil bacterial communities. *Soil Biology and Biochemistry*, 123, 80-86. doi: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.05.007>.
9. Wang, L., Hamel, C., Lu, P., Wang, J., Sun, D., Wang, Y., Lee, S. J., & Gan, G. Y. (2023). Using enzyme activities as an indicator of soil fertility in grassland - an academic dilemma. *Frontiers in plant science*, 14, 1175946. doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1175946>.
10. Hassan, F. O., Abdel-Salam, A. A., Rashed, H. S., & Shalaby, A. (2022). Soil quality assessment of El-Fayoum

- depression, Egypt, using remote sensing and GIS. *Annals of Agricultural Science, Moshthor*, 60 (1), 249-258. doi: <https://doi.org/10.21608/assjm.2022.227891>.
11. Kooch, Y., & Noghre, N. (2020). Nutrient cycling and soil-related processes under different land covers of semi-arid rangeland ecosystems in northern Iran. *Catena*, 193, 104621. doi: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104621>.
  12. Nilsson, M. C., Wardle, D. A., & Dahlberg, A. (1999). Effects of plant litter species composition and diversity on the boreal forest plant-soil system. *Oikos*, 16-26. <https://doi.org/10.2307/3546566>.
  13. Bremner, J. M., & Mulvaney, C. S. (1982). Nitrogen-total. In 'Methods of Soil Analyses. Part 2: Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy, Madison, 595-624.
  14. Tavakoli, M., Kooch, Y., & Akbarinia, M. (2018a). Frequency and diversity of worms in topsoil of degraded and reclaimed forest habitats of the Caspian region. *Iranian Journal of Forest*, 10 (3), 293-306. [In Persian]. [https://www.ijf-isaforestry.ir/article\\_79991.html](https://www.ijf-isaforestry.ir/article_79991.html).
  15. Zancan, S., Trevisan, R., & Paoletti, M. G. (2006). Soil algae composition under different agro-ecosystems in North-Eastern Italy. *Agric Ecosystem Environment*, 112 (1), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.06.018>.
  16. 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, WI, 377-382.
  17. Pires, L. F., Brinatti, A. M., Saab, S. C., & Cássaro, F. A. M. (2014). Porosity distribution by computed tomography and its importance to characterize soil clod samples. *Applied Radiation and Isotopes*, 92, 37-45. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2014.06.010>.
  18. Kemper, W. D., & Rosenau, R. C. (1986). Aggregate stability and size distribution. *Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Methods*, 5, 425-442. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c17>.
  19. Six, J., Callewaert, P., Lenders, S., De Gryze, S., Morris, S. J., Gregorich, E. G., Paul, E. A., & Paustian, K. (2002). Measuring and understanding carbon storage in afforested soils by physical fractionation. *Soil Science Society of America Journal*, 66 (6), 1981-1987. <https://doi.org/10.2136/sssaj2002.1981>.
  20. Allison, L. (1965). Organic carbon. *Methods of soil analysis, chemical and microbiological properties*. Madison: American Society of Agronomy, 1367-1378. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.c39>.
  21. Wang, W. J., & Dalal, R. C. (2006). Carbon inventory for a cereal cropping system under contrasting tillage, nitrogen fertilisation and stubble management practices. *Soil and Tillage Research*, 91 (1-2), 68-74. <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.11.005>.
  22. Chapman, H. D., & Pratt, P. F. (1962). *Methods of analysis for soils, plants and waters*. *Soil Science*, 93 (1), 68.
  23. Bower, C. A., Reitemeier, R. F., & Fireman, M. (1952). Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Soil Science*, 73, 251-261.
  24. Nelson, D. W. A., & Sommers, L. (1983). Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties*, 9, 539-579. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c29>.
  25. Elliott, E. T., & Cambardella, C. A. (1991). Physical separation of soil organic matter. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 34 (1-4), 407-419. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(91\)90124-G](https://doi.org/10.1016/0167-8809(91)90124-G).
  26. Page, A. L., Miller, R. H., & Jeeney, D. R. (1975). *Methods of soil analysis, Part 1. Physical properties*. American

- Society of Agronomy Publication, Madison. 770p.
27. 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 (5), 991-999. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.08.012>.
  28. Blair, S. N., Kohl, H. W., 3rd, Barlow, C. E., Paffenbarger, R. S., Jr, Gibbons, L. W., & Macera, C. A. (1995). Changes in physical fitness and all-cause mortality. A prospective study of healthy and unhealthy men. *JAMA*, 273 (14), 1093-1098. <https://doi.org/10.1001/jama.1995.03520380029031>.
  29. Neatrou, 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. <https://doi.org/10.1139/x05-217>.
  30. Alef, K., & Nannipieri, P. (1995). Methods in applied soil microbiology and biochemistry (Issue 631.46 M592ma). Academic Press. 608p. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19951908199>.
  31. 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 (3), 447-456. <https://doi.org/10.1007/s10342-017-1044-5>.
  32. Kooch, Y., Samadzadeh, B., and Hosseini, S. M. (2017). The effects of broad-leaved tree species on litter quality and soil properties in a plain forest stand. *Catena*, 150 (3), 223-229. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.11.023>.
  33. Neher, D., Wu, J., Barbercheck, M., & Anas, O. (2005). Ecosystem type affects interpretation of soil nematode community measures. *Applied Soil Ecology*, 30 (1), 47-64. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2005.01.002>.
  34. Adl, M. S., Acosta-Mercado, D., Anderson, R. T., & Lynn, H. D. (2007). Protozoa, supplementary material. *Soil sampling and methods of analysis*, 2 (1), 455-470.
  35. Wollum, A. G. (1982). Cultural methods for soil microorganisms. Methods of soil analysis: part 2 chemical and microbiological properties, 9, 781-802. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c37>.
  36. Anderson, T. H., & Domsch, K. H. (1990). Application of eco-physiological quotients (qCO<sub>2</sub> and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. *Soil Biology and Biochemistry*, 22 (2), 251-255. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(90\)90094-G](https://doi.org/10.1016/0038-0717(90)90094-G).
  37. 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 (6), 837-842. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(85\)90144-0](https://doi.org/10.1016/0038-0717(85)90144-0).
  38. 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.
  39. 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 Environment*, 55 (6), 223-230. doi: 10.17221/1021-PSE.
  40. Wang, Q., Xiao, F., He, T., & Wang, S. (2010). Responses of labile soil organic carbon and enzyme activity in mineral soils to forest conversion in the subtropics. *Annals of Forest Science*, 70, 579-587. <https://doi.org/10.1007/s13595-013-0294-8>.
  41. López-Vicente, M., Calvo-Seas, E., Álvarez, S., & Cerdà, A. (2020). Effectiveness of Cover Crops to Reduce Loss of Soil Organic Matter in a Rainfed

- Vineyard. *Land*, 9, 230. doi: <https://doi.org/10.3390/land9070230>.
42. Chandra, L. R., Gupta, S., Pande, V., & Singh, N. (2016). Impact of forest vegetation on soil characteristics: a correlation between soil biological and physico-chemical properties. *3 Biotech*, 6, 1-12. doi: <https://doi.org/10.1007/s13205-016-0510-y>.
43. Pérez-Corona, M. E., Hernández, M. C. P., & de Castro, F. B. (2006). Decomposition of alder, ash, and poplar litter in a Mediterranean riverine area. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 37 (7-8), 1111-1125. doi: <https://doi.org/10.1080/00103620600588496>.
44. Liu, X., Tang, X., Lie, Z., He, X., Zhou, G., Yan, J., ... & Liu, J. (2022). Tree species richness as an important biotic factor regulates the soil phosphorus density in China's mature natural forests. *Science of the Total Environment*, 845, 157277. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157277>.
45. Asmare, T. K., Abayneh, B., Yigzaw, M., & Birhan, T. A. (2023). The effect of land use type on selected soil physicochemical properties in Shihatig watershed, Dabat district, Northwest Ethiopia. *Heliyon*, 9(5), e16038. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16038>.
46. Devi, S. S., Devi, L. S., & Yadava, P. S. (2007). Floristic diversity assessment and vegetation analysis of tropical semievergreen forest of Manipur, north east India. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:30392294>.
47. Braos, L. B., Carlos, R. S., Bettiol, A. C. T., Bergamasco, M. A. M., Terçariol, M. C., Ferreira, M. E., & da Cruz, M. C. P. (2023). Soil Carbon and Nitrogen Forms and Their Relationship with Nitrogen Availability Affected by Cover Crop Species and Nitrogen Fertilizer Doses. *Nitrogen*, 4 (1), 85-101. doi: <https://doi.org/10.3390/nitrogen4010007>.
48. Tolessa, T., & Senbeta, F. (2018). The extent of soil organic carbon and total nitrogen in forest fragments of the central highlands of Ethiopia. *Journal of Ecology and Environment*, 42, 1-11. doi: <https://doi.org/10.1186/s41610-018-0081-4>.
49. Kooch, Y. (2012). Soil variability related to pit and mound, canopy cover and individual trees in a Hyrcanian Oriental Beech stand. Ph.D. Thesis, Tarbiat Modares University, 203p. doi: <https://doi.org/10.1007/s10342-013-0766-2>.
50. Adugna, A., & Abegaz, A. (2016). Effects of land use changes on the dynamics of selected soil properties in northeast Wellega, Ethiopia. *Soil*, 2 (1), 63-70. doi: <http://dx.doi.org/10.5194/soild-2-1075-2015>.
51. Swanson, M. E., Studevant, N. M., Campbell, J. L., & Donato, D. C. (2014). Biological associates of early-seral pre-forest in the Pacific Northwest. *Forest Ecology and Management*, 324, 160-171. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.03.046>.
52. Kooch, Y. (2012). Soil variability related to pit and mound, canopy cover and individual trees in a Hyrcanian Oriental Beech stand. Phd Thesis, Tarbiat Modares University, 203p. [In Persian]
53. Luo, G., Xue, C., Jiang, Q., Xiao, Y., Zhang, F., Guo, S., Shen, Q., & Ling, N. (2020). Soil carbon, nitrogen, and phosphorus cycling microbial populations and their resistance to global change depend on soil C: N: P stoichiometry. *Msystems*, 5 (3), e00162-20. doi: <https://doi.org/10.1128/msystems.00162-20>.
54. Molla, E., Getnet, K., & Mekonnen, M. (2022). Land use change and its effect on selected soil properties in the northwest highlands of Ethiopia. *Heliyon*, 8 (8), e10157. doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10157>.
55. Kemmitt, S. J., Wright, D., Goulding, K. W., & Jones, D. L. (2006). pH regulation of carbon and nitrogen dynamics in two agricultural soils. *Soil Biology and Biochemistry*,

- 38 (5), 898-911. doi: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.08.006>.
56. Mulugeta, T., Melese, A., & Wondwosen, T. E. N. A. (2019). Effects of land use types on selected soil physical and chemical properties: The case of Kuyu District, Ethiopia. *Eurasian journal of soil science*, 8 (2), 94-109. doi: [10.18393/ejss.510744](https://doi.org/10.18393/ejss.510744).
57. Kalambukattu, J. G., Singh, R., Patra, A. K., & Arunkumar, K. (2013). Soil carbon pools and carbon management index under different land use systems in the Central Himalayan region. *Acta Agricultura Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science*, 63 (3), 200-205. doi: <https://doi.org/10.1080/09064710.2012.749940>.
58. Abera, Y., & Bilachew, T. (2011). Effects of land use on soil organic carbon and nitrogen in soils of Bale, Southern Ethiopian. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14 (1), 229-235. doi: <http://www.revista.ccba.uady.mx/urn:ISSN:1870-0462-tsaes.v14i1.538>.
59. Tellen, V. A., & Yerima, B. P. (2018). Effects of land use change on soil physicochemical properties in selected areas in the North West region of Cameroon. *Environmental systems research*, 7 (1), 1-29. doi: <https://doi.org/10.1186/s40068-018-0106-0>.
60. Chen, C. R., Condron, L. M., Davis, M. R., & Sherlock, R. R. (2001). Effects of land-use change from grassland to forest on soil sulfur and arylsulfatase activity in New Zealand. *Soil research*, 39 (4), 749-757. doi: <https://doi.org/10.1071/SR00032>.
61. Moghimian, N., Hosseini, S. M., Kooch, Y., & Darki, B. Z. (2017). Impacts of changes in land use/cover on soil microbial and enzyme activities. *Catena*, 157, 407-414. doi: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.06.003>.
62. Buraka, T., Elias, E., & Lelago, A. (2023). Effects of land-use-cover-changes on selected soil physicochemical properties along slope position, Coka watershed, Southern Ethiopia. *Heliyon*, 9 (5). e16142. doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16142>.
63. Qi, L. H., Peng, Z. H., Zhang, X. D., Zhou, J. X., Cai, C. J., & Wang, Z. Y. (2007). Species diversity and biomass allocation of vegetation restoration communities on degraded lands. *Chinese Journal of Ecology*, 26 (11), 1697-1702. [http://www.cje.net.cn/EN/volumn/volumn\\_304.shtml](http://www.cje.net.cn/EN/volumn/volumn_304.shtml).
64. de Pierri Castilho, S. C., Cooper, M., Dominguez, A., & Bedano, J. C. (2016). Effect of land use changes in eastern amazonia on soil chemical, physical, and biological attributes. *Soil Science*, 181 (3/4), 133-147. doi: [10.1097/SS.0000000000000152](https://doi.org/10.1097/SS.0000000000000152).
65. Vanolli, B. S., Pereira, A. P., Franco, A. L., & Cherubin, M. R. (2023). Edaphic and epigeic macrofauna responses to land use change in Brazil. *European Journal of Soil Biology*, 117, 103514. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2023.103514>.
66. Persaud, R. (2019). Impact of deforestation on earthworm populations in Guyana's rainforests (No. e27841v1). *PeerJ Preprints*, 7, e27841v1. doi: <https://doi.org/10.7287/peerj.preprints.27841v1>.
67. Sirajul Haque, S. M., Gupta, S. D., & Miah, S. (2014). Deforestation effects on biological and other important soil properties in an upland watershed of Bangladesh. *Journal of Forestry Research*, 25, 877-885. doi: <https://doi.org/10.1007/s11676-014-0534-2>.
68. Borah, M. I. N. A. T. I., & Kakati, L. N. (2013). Abundance and distribution of soil Acarina in natural and degraded forest ecosystems at Pathalipam, Lakhimpur, Assam. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 12, 1694-1709. doi: <http://dx.doi.org/10.9790/2402-08134550>.
69. da Silva, P. M., Bartz, M., Mendes, S., Boieiro, M., Timóteo, S., Azevedo-

- Pereira, H. M., ... & Sousa, J. P. (2023). Tree canopy enhances Collembola functional richness and diversity across typical habitats of the Gorongosa National Park (Mozambique). *Applied Soil Ecology*, 190, 105010. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.105010>.
70. Afzal, S., Nesar, H., Imran, Z., & Ahmad, W. (2023). Change in land-use from natural forest impacts functional composition and metabolic footprint of soil nematode community in Western Himalayas. *Acta Ecologica Sinica*, 43 (5), 842-852. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2022.12.004>.
71. Han, X., Liang, Z., Wang, M., Chen, Y., Hu, C., & Wu, S. (2013). Effect of agricultural land use types on soil protozoa community. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 42 (9), 54-57. <https://www.cabdigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20133388292>.
72. Fan, L. C., Yang, M. Z., & Han, W. Y. (2015). Soil respiration under different land uses in eastern China. *PloS one*, 10 (4), e0124198. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0124198>.
73. Chen, Q., Yang, F., & Cheng, X. (2022). Effects of land use change type on soil microbial attributes and their controls: Data synthesis. *Ecological Indicators*, 138, 108852. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108852>.
74. Kara, O., & Bolat, I. (2008). The effect of different land uses on soil microbial biomass carbon and nitrogen in Bartın province. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32 (4), 281-288. <https://journals.tubitak.gov.tr/agriculture/vol32/iss4/6/>.
75. Li, M., Zhou, X., Zhang, Q., & Cheng, X. (2014). Consequences of afforestation for soil nitrogen dynamics in Central China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 183 (4), 40-46. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.10.018>.
76. 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. doi: <https://doi.org/10.1002/ldr.2282>.
77. Kooch, Y., & Bayranvand, M. (2017). Composition of tree species can mediate spatial variability of C and N cycles in mixed beech forests. *Forest Ecology and Management*, 401 (10), 55-64.
78. Koudahe, K., Allen, S. C., & Djaman, K. (2022). Critical review of the impact of cover crops on soil properties. *International Soil and Water Conservation Research*, 10 (3), 343-354. doi: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2022.03.003>.
79. Zhu, G., Shangguan, Z., Hu, X., & Deng, L. (2021). Effects of land use changes on soil organic carbon, nitrogen and their losses in a typical watershed of the Loess Plateau, China. *Ecological Indicators*, 133, 108443. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108443>.