

(OPEN ACCESS)

The effect of forest cover, wooded and non-wooded rangeland on the properties of the organic and mineral soil layer

Yahya Kooch^{*1} , Mahin Fooladi Doqozlu² 

1. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Range Management, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, I. R. Iran. E-mail: yahya.kooch@modares.ac.ir
2. Ph.D. Student of Rangeland Management, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, I. R. Iran. E-mail: m_fooladi@modares.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
<p>Article type: Research Full Paper</p> <p>Article history: Received: 10.06.2024 Revised: 12.23.2024 Accepted: 04.16.2025</p> <p>Keywords: Enzymatic activity, Land use, Microbial activity, Physical and chemical characteristics, Woody cover</p>	<p>Background and Objectives: Vegetation cover type, particularly various tree species, plays a pivotal role in enhancing the physical and chemical structure of soil through the production of litter and organic residues. Differences in vegetation types, such as forests, wooded pastures, and non-wooded grasslands, lead to variations in organic matter content, nutrient availability, and soil biological activities. Soil microorganisms and enzyme activities, influenced by plant species, serve as critical indicators for assessing soil quality, fertility, and sustainability. In this context, the present study investigates the characteristics of organic and mineral soil layers in areas with different vegetation covers in the Gil-Kala summer pasture region of Nowshahr, Mazandaran Province, Iran. The study focuses on four vegetation types: a forest dominated by Oriental beech (<i>Fagus orientalis</i>), a mixed shrub land of hawthorn and barberry (<i>Crataegus microphylla</i> and <i>Berberis integerrima</i>), a shrubland dominated by blackthorn (<i>Prunus spinosa</i>), and a grassland dominated by wheatgrass (<i>Agropyron longiaristatum</i>).</p> <p>Materials and Methods: To evaluate the effects of different land covers on the properties of organic and mineral soil layers, preliminary surveys and field visits were conducted to select contiguous areas with minimal variations in elevation (1600–1610 meters above sea level), slope gradient (5–8%), and slope aspect. In each of the four vegetation types under study, two one-hectare plots (100 m × 100 m) were selected, with a minimum distance of 500 meters between them. Within each plot, five samples of the organic layer (litter or fine debris) and the mineral layer (30 cm × 30 cm to a depth of 10 cm) were collected, resulting in a total of 10 litter samples and 10 soil samples per vegetation type for laboratory analysis. One portion of the soil samples was air-dried and sieved through a 2-mm mesh for physical and chemical analyses, while another portion was stored at 4 °C for biological tests. The nutrient content of the litter-including nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), and magnesium (Mg)-was measured through standard laboratory mineralization procedures. Laboratory incubation methods were used to assess the activities of urease, phosphatase, arylsulfatase, and invertase enzymes. Earthworms were</p>

manually separated from the soil, washed in water, and preserved in alcohol-containing containers. They were identified based on morphological characteristics such as size, body length, color, clitellum position and shape, and the location and type of reproductive organs. Soil mites and collembolans were counted using the Berlese funnel method, soil nematodes were extracted using the Baermann funnel and centrifugation technique, and soil protozoa were quantified under a microscope at 50x magnification. Bacterial and fungal populations were recorded using culture-based methods.

Results: The results indicate that the highest nitrogen content in the organic layer (1.96%) was observed in the beech forest(a), while the lowest (1.03%) was found in the wheatgrass grassland(b). Similarly, the highest values for aggregate stability (72%), clay content (42%), coarse aggregates (52%), and fine aggregates (35%) were recorded in the beech forest(a). In contrast, the lowest values for these properties were 56%, 28%, 30%, and 19%, respectively, in the wheatgrass grassland(b). The highest pH (7.11) and the lowest pH (6.02) was observed in the wheatgrass grassland. Additionally, characteristics such as total nitrogen, organic carbon, and available phosphorus were highest in the beech forest and lowest in the wheatgrass grassland. Furthermore, the beech forest (a) exhibited the highest abundance (4.1 individuals/m²) and biomass (42.48 mg/m²) of epigeic earthworms, abundance (1.2 individuals/m²) and biomass (4.66 mg/m²) of anecic earthworms, total earthworm abundance (9.5 individuals/m²), soil mite abundance (67,343.3 individuals/m²), soil nematode abundance (811 individuals/100 g soil), and soil protozoan abundance (613 individuals/100 g soil). Additionally, the highest populations of bacteria (4.47×10^7 /g soil) and fungi (1.72×10^7 /g soil), basal respiration (0.46 mg CO₂/g/day), microbial biomass carbon (362.8 mg/kg), microbial biomass nitrogen (58.28 mg/kg), and the microbial biomass nitrogen-to-phosphorus ratio (2.2) were observed in the beech forest(a).

Conclusion: Overall, the findings of this study demonstrate that the conversion of herbaceous vegetation to woody (tree and shrub) vegetation in the mountainous Gil-Kala region of Nowshahr, Mazandaran Province, significantly alters the properties of both organic and mineral soil layers. Notable changes include variations in organic layer nitrogen content, aggregate stability, clay percentage, and the proportions of coarse and fine aggregates, all of which showed significant differences among vegetation types. Other parameters, such as ammonium, nitrate, geometric mean of enzyme activities, soil pH, electrical conductivity, total carbon, carbon in fine aggregates, organic matter, total nitrogen, fixed nitrogen, nitrogen in fine aggregates, dissolved organic nitrogen, nutrient elements (phosphorus, potassium, calcium, and magnesium), fine root biomass, and the activities of enzymes such as urease, acid phosphatase, arylsulfatase, and invertase, also exhibited significant changes. Furthermore, attributes such as the abundance and biomass of epigeic, anecic, and endogeic earthworms, as well as the populations of total earthworms, soil mites, nematodes, and protozoa, displayed marked differences across the land cover types. These findings suggest that tree and shrub covers, due to their longer persistence, ability to provide shade, reduce evaporation, and increase soil moisture, play a significant role in improving soil structure and supporting the growth of earthworm and microbial populations. These organisms are crucial for organic matter decomposition, nutrient cycling, and the

enhancement of soil's physical, chemical, and biological properties, ultimately leading to improved soil fertility and productivity. Consequently, the results indicate that expanding woody vegetation cover can create more favorable conditions for optimal soil functioning and serve as an effective strategy for restoring degraded lands. Therefore, in regions with similar semi-arid and mountainous climates facing land degradation and land-use changes, the development of woody vegetation, particularly beech, is recommended.

Cite this article: Kooch, Yahya, Fooladi Doqozlu, Mahin. 2026. The effect of forest cover, wooded and non-wooded rangeland on the properties of the organic and mineral soil layer. *Journal of Water and Soil Conservation*, 32 (4), 81-104.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jwsc.2026.22845.3764

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

اثر پوشش‌های جنگلی، مرتع مشجر و غیر مشجر بر ویژگی‌های لایه آلی و معدنی خاک

یحیی کوچ*^۱ ID، مهین فولادی دوقزلو^۲ ID

۱. نویسنده مسئول، دانشیار گروه مرتع‌داری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران. رایانامه: yahya.kooch@modares.ac.ir
۲. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی مرتع، گروه مرتع‌داری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران. رایانامه: m_fooladi@modares.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: پوشش‌های گیاهی به‌ویژه گونه‌های مختلف درختی، نقش تعیین‌کننده‌ای در بهبود ساختار فیزیکی و شیمیایی خاک از طریق تولید لاشبرگ و بقایای آلی دارند. تفاوت در نوع پوشش مانند جنگل‌ها، مراتع مشجر و غیر مشجر، باعث تغییر در میزان ماده آلی، عناصر غذایی، و فعالیت‌های بیولوژیکی خاک می‌شود. فعالیت میکروارگانیسم‌ها و آنزیم‌های خاک که تحت تأثیر نوع گونه‌های گیاهی هستند، شاخص‌هایی مهم در ارزیابی کیفیت، باروری و پایداری خاک به‌شمار می‌آیند. در همین راستا پژوهش حاضر به‌منظور بررسی مشخصه‌های مختلف لایه آلی و بخش معدنی خاک در اراضی دارای پوشش جنگلی با غالبیت راش (<i>Fagus orientalis</i>)، پوشش درختچه‌ای آمیخته ولیک و زرشک (<i>Crataegus microphylla and Berberis integerrima Bunge</i>)، پوشش درختچه‌ای با غالبیت آلوچه وحشی (<i>Prunus spinosa</i>) و پوشش مرتعی با غالبیت علف گندمی (<i>Agropyron longiaristatum Bois</i>) در منطقه بیلاقی گیل کلا نوشهر استان مازندران مورد بررسی قرار گرفت.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۵ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۱۰/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۲۷	مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی اثرات پوشش‌های اراضی بر مشخصه‌های مختلف لایه 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 (۱۶۰۰-۱۶۱۰ متر) از سطح دریا، حداقل تغییر درصد (۵-۸) و جهت شیب در آن‌ها مشاهده شد. بدین‌منظور در هر یک از رویشگاه‌های مورد مطالعه دو قطعه یک هکتاری (۱۰۰ متر × ۱۰۰ متر) با فواصل حداقل ۵۰۰ متر انتخاب شدند. در هر یک از قطعات یک هکتاری، تعداد ۵ نمونه از لایه آلی (لاشبرگ یا لاشه‌ریزه) و معدنی (سطح ۳۰ سانتی‌متر × ۳۰ سانتی‌متر تا عمق ۱۰ سانتی‌متری) خاک
واژه‌های کلیدی: پوشش‌های چوبی، فعالیت آنزیمی، فعالیت میکروبی، کاربری اراضی، مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی	

برداشت و در مجموع از هر یک از رویشگاه‌های مورد مطالعه تعداد ۱۰ نمونه لاشبرگ و ۱۰ نمونه خاک جهت تجزیه و تحلیل به آزمایشگاه انتقال داده 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. مقدار نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و مینریم لاشبرگ به روش معدنی‌سازی نمونه‌ها در محیط آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. از روش انکوباسیون آزمایشگاهی برای سنجش فعالیت آنزیم‌های اوره‌آز، فسفاتاز، آریل سولفاتاز و اینورتاز استفاده شد. برای شناسایی کرم‌های خاکی از روی شکل ظاهری، هر یک از آن‌ها ابتدا به صورت 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 گلیتلوم، محل قرارگیری اندام‌های جنسی روی سگمنت‌ها و گلیتلوم، شکل و نوع اندام‌های جنسی و دیگر مشخصات ظاهری، کرم‌های خاکی مورد شناسایی قرار گرفت. شمارش کنه‌ها و پادمان‌ها به روش قیف برلیز، نمادهای خاکزی با استفاده از تکنیک قیف بیرمن و سانتریفیوژ، پروتوزوئرها و قارچ‌های خاکی به وسیله میکروسکوپ با بزرگنمایی ۵۰ اندازه‌گیری شد. هم‌چنین جمعیت باکتری‌ها و قارچ‌های خاکزی به روش کشت ثبت شد.

یافته‌ها: طبق نتایج پژوهش حاضر بیش‌ترین مقدار (۱/۹۶ درصد) نیتروژن لایه آلی به رویشگاه جنگلی راش (a) و کم‌ترین مقدار (۱/۰۳ درصد) آن به پوشش علف گندمی (b) تعلق داشت (جدول ۱). هم‌چنین، بیش‌ترین مقادیر مربوط به پایداری خاکدانه (۷۲/۳۴ درصد)، رس (۴۲/۳ درصد)، خاکدانه درشت (۵۲ درصد) و خاکدانه ریز (۳۵/۸ درصد) در رویشگاه راش (a) و کم‌ترین مقادیر آن‌ها به ترتیب برابر با ۵۶، ۲۸/۵، ۳۰/۴ و ۱۹/۶ درصد در پوشش گیاهی علف گندمی (b) مشاهده شد که تفاوت بین گروه‌ها از نظر آماری معنی‌دار بود (جدول ۲). لازم به ذکر است که بیش‌ترین مقدار واکنش خاک (pH) در راش با مقدار ۷/۱۱ (a) به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از سایر رویشگاه‌ها و در علف گندمی با مقدار ۶/۰۲ (c) کم‌ترین مقدار را داشت. هم‌چنین ویژگی‌هایی مانند نیتروژن کل، کربن آلی و فسفر قابل‌جذب نیز در راش بیش‌ترین و در علف گندمی کم‌ترین مقدار را داشتند (جدول ۲). هم‌چنین، بیش‌ترین فراوانی (۴/۱ در مترمربع) و زی‌توده اپی‌ژئیک (۴۲/۴۸ میلی‌گرم در مترمربع)، فراوانی (۱/۲ در مترمربع) و زی‌توده آنسئیک (۴/۶۶ میلی‌گرم در مترمربع)، فراوانی کل کرم‌های خاکی (۹/۵ در مترمربع)، فراوانی کنه‌های خاکزی (۶۷۳۴۳/۳ در مترمربع)، نمادهای خاکزی (۸۱۱ در ۱۰۰ گرم خاک) و پروتوزوئرها و خاکزی (۶۱۳ در ۱۰۰ گرم خاک) به پوشش درختی راش (a) تعلق داشت. لازم به ذکر است که بیش‌ترین جمعیت باکتری‌ها (۴/۴۷ در ۱۰۷ گرم خاک) و قارچ‌ها (۱/۷۲ در ۱۰۷ گرم خاک)، تنفس پایه (۰/۴۶ میلی‌گرم دی‌اکسیدکربن به‌ازای هر گرم در روز)، زی‌توده میکروبی کربن (۳۶۲/۸ میلی‌گرم به‌ازای هر کیلوگرم) و زی‌توده میکروبی نیتروژن (۵۸/۲۸ میلی‌گرم به‌ازای هر کیلوگرم) و نسبت زی‌توده میکروبی نیتروژن به زی‌توده میکروبی فسفر (۲/۲) خاک در پوشش درختی راش (a) مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که تبدیل پوشش‌های گیاهی از نوع علفی به پوشش‌های درختی و درختچه‌ای در ناحیه کوهستانی گیل‌کلا نوشهر واقع در استان مازندران، موجب تغییرات معناداری در بسیاری از ویژگی‌های لایه‌های آلی و معدنی خاک گردید. از جمله این تغییرات می‌توان به نیتروژن موجود در لایه آلی، پایداری خاک‌دانه‌ها، درصد رس، و میزان خاک‌دانه‌های درشت و ریز اشاره کرد که همگی در میان انواع پوشش‌های گیاهی تفاوت معنی‌داری داشتند. همچنین شاخص‌هایی مانند آمونیوم، نترات، میانگین هندسی فعالیت آنزیمی، pH خاک، هدایت الکتریکی، میزان کربن کلی و کربن موجود در خاک‌دانه‌های ریز، ماده آلی، نیتروژن کل، نیتروژن تثبیت‌شده، نیتروژن موجود در خاک‌دانه‌های ریز، نیتروژن آلی محلول، عناصر غذایی از جمله فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم، زی‌توده ریشه‌های ریز، و فعالیت آنزیم‌هایی چون اوره‌آز، اسید فسفاتاز، آریل سولفاتاز و اینورتاز نیز دچار تغییرات قابل‌توجهی شدند. علاوه بر این، ویژگی‌هایی مانند تعداد و زی‌توده اپی‌ژئیک‌ها، آنسیک‌ها و اندوزژئیک‌ها، جمعیت کلی کرم‌های خاکی، کنه‌های خاکزی، نماتدها و پروتوزوئرها موجود در خاک نیز تفاوت‌های چشمگیری بین انواع پوشش‌های اراضی از خود نشان دادند. یافته‌های این مطالعه بیانگر آن است که پوشش‌های درختی و درختچه‌ای به علت ماندگاری بیش‌تر، توان ایجاد سایه، کاهش میزان تبخیر و افزایش رطوبت خاک، نقش مؤثری در بهبود ساختار خاک و رشد جمعیت کرم‌های خاکی و سایر میکروارگانیسم‌های خاکزی ایفا می‌کنند. این موجودات در تجزیه مواد آلی، چرخه عناصر غذایی و ارتقای ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک نقش کلیدی دارند؛ امری که در نهایت منجر به ارتقای باروری و حاصل‌خیزی خاک می‌گردد. بر این اساس، نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که گسترش پوشش‌های چوبی می‌تواند شرایط مساعدتری برای عملکرد مطلوب خاک ایجاد کند و به عنوان راهکاری مؤثر در بازسازی اراضی تخریب‌شده مطرح شود. بنابراین، در مناطقی با شرایط اقلیمی مشابه (نیمه‌خشک و کوهستانی) که با تخریب و تغییر کاربری اراضی مواجه‌اند، توسعه بیش‌تر این نوع پوشش‌های گیاهی (راش) توصیه می‌شود.

استناد: کوچ، بحیی، فولادی دوقزلو، مهین (۱۴۰۴). اثر پوشش‌های جنگلی، مرتع مشجر و غیرمشجر بر ویژگی‌های لایه آلی و معدنی

خاک. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۳۲ (۴)، ۸۱-۱۰۴.

DOI: 10.22069/jwsc.2026.22845.3764



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

خاک به‌عنوان بستر حیات، نقش اساسی در حفظ تعادل اکوسیستم‌های طبیعی ایفا می‌کند. این ماده حیاتی نه تنها به‌عنوان منبع تغذیه برای گیاهان عمل می‌کند، بلکه در ذخیره آب، چرخه مواد مغذی و پشتیبانی از تنوع زیستی نیز نقش کلیدی دارد (۱). خاک از دو بخش اصلی آلی و معدنی تشکیل شده است که لایه آلی خاک، شامل مواد آلی و بقایای گیاهی و لایه معدنی دربرگیرنده خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک هستند (۲). پوشش گیاهی به‌عنوان یکی از عوامل اصلی تأثیرگذار بر ویژگی‌های خاک، از طریق تولید لاشبرگ و بقایای گیاهی، ماده آلی خاک را افزایش می‌دهد و به بهبود ساختار فیزیکی و شیمیایی آن کمک می‌کند (۳). هم‌چنین پوشش گیاهی به‌عنوان یکی از اجزای کلیدی اکوسیستم‌های طبیعی، نقش حیاتی در پایداری و عملکرد این سیستم‌ها به‌ویژه در مناطق کوهستانی که خاک در معرض فرسایش شدید قرار دارند ایفا می‌کند (۴). کاربری‌های مختلف از جمله جنگل‌ها، مراتع مشجر و مراتع غیرمشجر به‌عنوان سه نوع اصلی پوشش گیاهی، تأثیرات متفاوتی بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک دارند که این امر به‌نوبه خود کیفیت و باروری خاک را تغییر می‌دهد (۵). لایه آلی خاک به‌طور مستقیم تحت تأثیر نوع و تراکم پوشش گیاهی قرار دارد. جنگل‌ها و مراتع مشجر با تولید لاشبرگ و بقایای گیاهی، مقدار ماده آلی خاک را افزایش می‌دهند و به بهبود کیفیت آن کمک می‌کنند (۳). این مواد آلی نه تنها به‌عنوان منبع تغذیه برای میکروارگانیسم‌های خاک عمل می‌کنند، بلکه در افزایش ظرفیت نگهداری آب و بهبود ساختار خاک نیز مؤثرند (۶). پوشش گیاهی با ایجاد شبکه‌های ریشه‌ای گسترده تأثیر قابل‌توجهی بر خصوصیات فیزیکی خاک، از جمله تراکم، نفوذپذیری و پایداری خاکدانه‌ها دارد (۷). این

امر باعث افزایش نفوذپذیری خاک و کاهش رواناب سطحی می‌شود. هم‌چنین، پوشش گیاهی با ایجاد پوشش محافظتی بر سطح خاک، از فرسایش بادی و آبی جلوگیری می‌کند. گیاهان تأثیر عمده‌ای بر خصوصیات شیمیایی خاک، از جمله pH و غلظت عناصر غذایی دارد. و با تجمع مواد آلی و بقایای گیاهی، باعث افزایش محتوای کربن آلی و نیتروژن خاک می‌شوند (۸). گیاهان با جذب و تنظیم نسبت‌های مختلف عناصر شیمیایی مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کلسیم، به حفظ تعادل شیمیایی خاک کمک می‌کنند. این تعادل برای رشد بهینه گیاهان و عملکرد اکوسیستم‌های گیاهی ضروری است (۹).

مطالعات متعددی نشان داده‌اند که انواع مختلف کاربری زمین می‌توانند بر شاخص‌های باروری و کیفیت خاک تأثیر بگذارند. این تأثیرات به‌دلیل تغییرات در عوامل زیستی و غیرزیستی و هم‌چنین پایداری ماده آلی خاک رخ می‌دهند (۱۰، ۱۱، ۱۲). نوع کاربری زمین از طریق تأثیر بر چرخه کربن و نیتروژن بر عملکرد میکروبی خاک تحت تأثیر می‌گذارند (۱۳). نوع پوشش زمین تنوع زیستی، نرخ جامعه باکتریایی و فعالیت‌های میکروبی خاک را تعیین می‌کند. به‌طوری‌که مراتع مشجر نسبت علفزارها دارای فعالیت بیولوژیک بالاتری هستند. میکروارگانیسم‌های خاک نقش حیاتی در تجزیه ماده آلی، چرخه عناصر غذایی و حاصل‌خیزی خاک دارند. تخریب رویشگاه‌های طبیعی و تغییر کاربری اراضی تنوع و تراکم جانداران خاکری را به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌دهد (۱۴). اخیراً توجه بیش‌تری به مطالعاتی شده است که اثر تبدیل پوشش‌های طبیعی به زمین‌های زراعی بر ساختار و عملکرد جامعه میکروبی خاک را بررسی کرده‌اند (۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸). آنزیم‌ها، واکنش‌ها و فرآیندهای مختلف متابولیکی در چرخه زیست‌شیمیایی مواد غذایی خاک را کنترل می‌کنند و با توجه به این‌که در مقایسه

کوهستانی، تاکنون پژوهش‌های جامع اندکی در مورد تأثیر کاربری‌های مختلف بر فعالیت‌های زیستی، ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک این مناطق انجام شده است. درک تأثیر پوشش‌های گیاهی مختلف بر خاک می‌تواند به برنامه‌ریزی‌های حفاظتی و مدیریتی بهتر منجر شود. از این رو پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر انواع پوشش‌های گیاهی از جمله راش (*Fagus orientalis*)، آمیخته ولیک و زرشک (*Crataegus microphylla* and *Berberis integerrima Bunge*)، آلوچه وحشی (*Prunus spinosa*) و علف‌زار با پوشش گیاهی غالب علف‌گندمی (*Agropyron longiaristatum Bois*) بر برخی از ویژگی‌های لایه آلی، فیزیکی، شیمیایی و زیستی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه می‌تواند به شناسایی کاربری‌های بهینه برای حفظ سلامت خاک و افزایش پایداری اکوسیستم‌های کوهستانی کمک کند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: محدوده مورد بررسی در منطقه بیلاقی گیل‌کلا در شهرستان نوشهر قرار گرفته است. ارتفاع متوسط منطقه از سطح دریا ۲۰۵۰ متر، متوسط بارندگی سالانه منطقه ۳۸۵ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالانه ۱۰/۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد، شیب منطقه بین ۵ تا ۳۵ درصد متغیر بوده و جهت شیب غالب منطقه، شمال‌غربی می‌باشد (۲۵). مطابق سیستم طبقه‌بندی آمریکایی، بیش‌تر خاک منطقه مورد مطالعه از رده‌های آلفی‌سول، انتی‌سول و اینسپتی‌سول تشکیل شده است. سطح منطقه غالباً توسط گونه‌های جنگلی و مرتعی پوشیده شده است. پوشش‌های اراضی مورد مطالعه در این تحقیق عبارتند از:

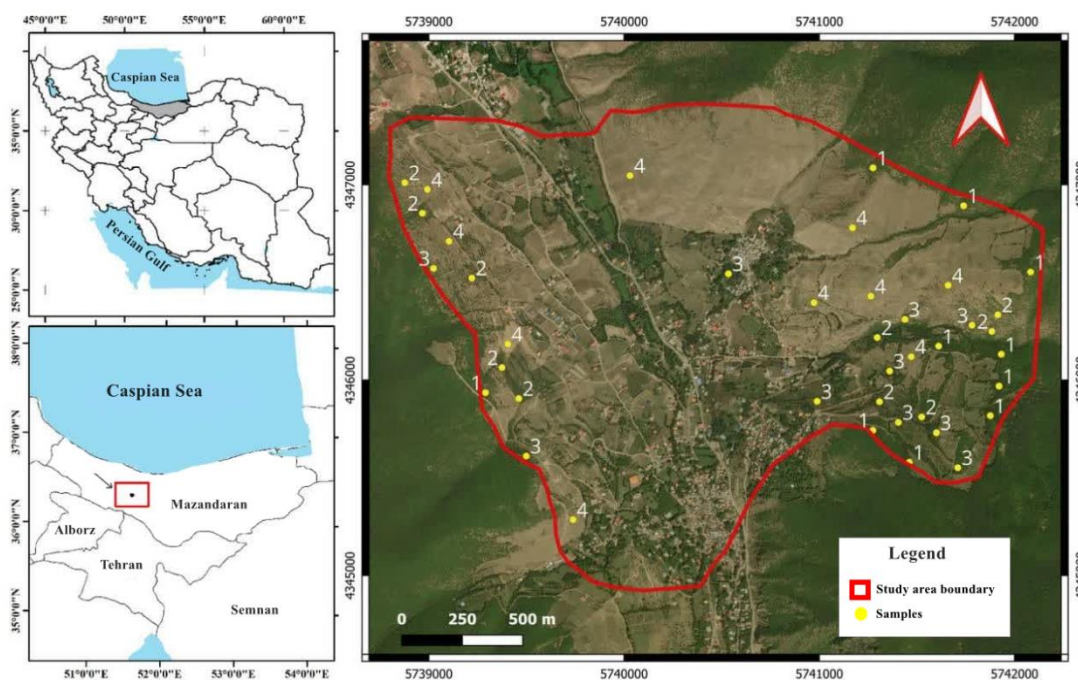
- ۱- پوشش جنگلی با غالبیت (پوشش بیش از ۹۰ درصد) گونه راش ۲- پوشش درختچه‌ای آمیخته

با سایر ویژگی‌های خاک نسبت به تغییرات پوشش گیاهی و مدیریت اراضی سریع‌تر تغییر می‌کند، به‌عنوان شاخصی از تغییرات زیستی خاک مورد استفاده قرار می‌گیرند. فعالیت آنزیم‌های خاک به‌عنوان نشانگرهای جامعه و عملکرد میکروبی در نظر گرفته می‌شوند و تغییرات در فرآیندهای بیوشیمیایی خاک و پویایی ماده آلی خاک را که ناشی از تغییرات زیستی و غیرزیستی است، منعکس می‌کند (۱۹). بنابراین، بررسی ویژگی‌های میکروبی خاک و فعالیت‌های آنزیمی نقش کلیدی در مطالعات مرتبط با تغییرات کاربری زمین و مدیریت خاک ایفا می‌کند. زیرا این فعالیت‌های زیستی نه تنها به تجزیه مواد آلی و آزادسازی عناصر غذایی کمک می‌کنند، بلکه در بهبود ساختار خاک و افزایش پایداری آن نیز مؤثرند (۲۰). در واقع، پایداری و عملکرد اکوسیستم خاک به چرخه مواد مغذی توسط جامعه میکروبی خاک وابسته است. این میکروارگانیسم‌ها وظایف کلیدی از جمله تثبیت کربن و نیتروژن و چرخه مواد مغذی را بر عهده دارند (۲۱).

مرور منابع بیانگر آن است که مطالعه و بررسی تأثیر انواع پوشش‌های درختی، درختچه‌ای و علفی بر ویژگی‌های خاک در یک منطقه کوهستانی که به دلیل شیب تند و شرایط اقلیمی خاص، فرسایش شدید خاک و کاهش حاصل‌خیزی و نهایتاً رویشگاه‌های با شرایط حساس و شکننده هستند کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است (۲۲، ۲۳). منطقه هیرکانی ایران نیز از جمله مکان‌هایی است که طی سالیان اخیر، بخش‌های وسیعی از آن به دلیل تغییر کاربری زمین و تخریب گسترده پوشش جنگل توسط بومیان این مناطق انجام شده و امروزه کاربری‌ها و انواع پوشش‌های گیاهی مختلف، به‌ویژه کشاورزی و مراتع، در این مناطق مشاهده می‌شود (۲۴). به دلیل اهمیت جهانی منطقه هیرکانی و شکنندگی اکوسیستم‌های آن‌ها در مناطق

مرتعی با غالبیت (پوشش بیش از ۸۰ درصد) علف‌گندمی.

ولیک (پوشش حدود ۴۵ درصد) و زرشک (پوشش حدود ۴۰ درصد) -۳ پوشش درختچه‌ای با غالبیت (پوشش بیش از ۸۰ درصد) آلوچه‌وحشی -۴ پوشش



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری در استان مازندران، شمال ایران زون ۳۹.

Figure 1. Location of the study area and sampling points in Mazandaran Province, Northern Iran zone 39.

مجموع از هر یک از رویشگاه‌های مورد مطالعه تعداد ۱۰ نمونه از لایه آلی (لاشبرگ) و ۱۰ نمونه خاک جهت تجزیه و تحلیل به آزمایشگاه انتقال داده 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 (۲۵). ضخامت لایه بستر در عرصه، مقدار کربن لایه آلی (لاشبرگ یا لاشه‌ریزه) به روش احتراق (۲۶) و مقدار نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و مینریم لاشبرگ به روش معدنی‌سازی نمونه‌ها (۲۷) در محیط آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. سپس، برای اندازه‌گیری رطوبت

روش نمونه‌برداری، تجزیه آزمایشگاهی لاشبرگ و خاک: به منظور بررسی اثرات پوشش‌های اراضی بر مشخصه‌های مختلف لایه 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 (۱۶۰۰-۱۶۱۰ متر) از سطح دریا، حداقل تغییر درصد (۵-۸) و جهت شیب در آن‌ها مشاهده شد. بدین‌منظور در هر یک از رویشگاه‌های مورد مطالعه دو قطعه یک هکتاری (۱۰۰ متر × ۱۰۰ متر) با فواصل حداقل ۵۰۰ متر انتخاب شدند. در هر یک از قطعات یک هکتاری، تعداد ۵ نمونه از لایه آلی و معدنی خاک (سطح ۳۰ سانتی‌متر × ۳۰ سانتی‌متر تا عمق ۱۰ سانتی‌متری) برداشت و در

خاک قبل از هوا خشک شدن به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد خشک شدند (۲۸). دمای خاک نیز با استفاده از دماسنج دیجیتال برای عمق مورد مطالعه در زمان نمونه‌برداری اندازه‌گیری گردید (۲۹). به علاوه، جرم مخصوص ظاهری به روش کلوخه و جرم مخصوص حقیقی به روش پیکنومتری اندازه‌گیری و سپس تخلخل خاک محاسبه شد (۳۰). در نهایت، پایداری خاکدانه‌ها به روش یودر (۳۱) و بافت خاک به روش هیدرومتری اندازه‌گیری شد (۳۲). واکنش به روش پتانسیومتری از طریق دستگاه pH متر الکتریکی، هدایت الکتریکی به وسیله ECسنج، کربن آلی خاک به روش والکلی‌بلاک (۳۴) و نیتروژن کل به روش کجلدال (۳۵) اندازه‌گیری شدند. میزان ذخیره کربن از رابطه $Cstock = 10000 \times OC \times Bd \times D$ و ذخیره نیتروژن از رابطه $Nstock = 10000 \times N \times Bd \times D$ محاسبه شد (۳۶). در این معادلات، $Cstock$ و $Nstock$ به ترتیب ذخیره کربن و نیتروژن (مگاگرم بر هکتار)، OC ، کربن آلی (درصد)، N ، نیتروژن کل (درصد)، Bd ، جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، D ، عمق نمونه‌برداری خاک (سطح ۳۰ سانتی‌متر \times ۳۰ سانتی‌متر تا عمق ۱۰ سانتی‌متری) می‌باشند. به علاوه، فسفر به روش اولسن (۳۷)، پتاسیم، کلسیم و منیزیم قابل‌جذب خاک با استفاده از روش جذب اتمی اندازه‌گیری شد (۳۸). کربن و نیتروژن آلی ذره‌ای با روش کاهش وزن به وسیله سوزاندن تعیین شد (۳۹). پس از تعیین مقدار خاکدانه‌های میکرو (ذرات کوچکتر از ۰/۲۵ میلی‌متر) و ماکرو (ذرات بزرگ‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر) به روش الک تر (۴۰)، روش والکی‌بلاک برای اندازه‌گیری مقادیر کربن و نیتروژن موجود در خاکدانه‌های میکرو و ماکرو مورد استفاده قرار گرفت (۴۱). کربن و نیتروژن آلی محلول به وسیله دستگاه تجزیه کربن آلی

(Shimadzu TOC-550A) اندازه‌گیری شد. سپس، مقدار زیتوده درشت‌ریشه‌ها (قطر بالای ۲ میلی‌متر) و ریزریشه‌ها (قطر کم‌تر از ۲ میلی‌متر) در متر مربع برای هر رویشگاه به دست آمد (۴۲). سپس، از روش انکوباسیون آزمایشگاهی برای سنجش فعالیت آنزیم‌های اوره‌آز، فسفاتاز، آریل سولفاتاز و اینورتاز استفاده شد (۴۳). برای شناسایی کرم‌های خاکی از روی شکل ظاهری، هر یک از آن‌ها ابتدا به صورت 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 (۴۴). به علاوه، نمونه‌های جمع‌آوری شده 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 (۴۵). شمارش کنه‌ها و پادمان‌ها به روش قیف برلیز، نماتدهای خاکزی با استفاده از تکنیک قیف بیرمن و سانتریفیوژ (۴۳)، پروتوزوئرها، خاک به وسیله میکروسکوپ با بزرگنمایی ۵۰ اندازه‌گیری شد (۴۶). جمعیت باکتری‌ها و قارچ‌های خاکزی به روش کشت (۴۷) در محیط آزمایشگاه ثبت شد. تنفس پایه خاک با استفاده از روش بطری دربسته (۴۴) 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 (۴۸). کربن و نیتروژن زی‌توده میکروبی خاک نیز به روش تدخین استخراج اندازه‌گیری شد (۴۹). همچنین، اندازه‌گیری آمونیوم به روش Indophenol blue 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 نیترات با دستگاه فتومتر (در طول موج ۴۲۰ نانومتر) به روش نیترات صورت گرفت (۵۰). در نهایت، برای سنجش فرآیندهای آمونیفیکاسیون، نیتریفیکاسیون و معدنی‌شدن نیتروژن از روش کیسه مدفون استفاده شد (۵۱).

تجزیه آماری داده‌ها: جهت تجزیه، تحلیل و هم‌چنین مقایسه داده‌ها ابتدا نرمال بودن آن‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف اسمیرنوف و همگنی واریانس با آزمون لون بررسی شد. تفاوت یا عدم تفاوت مقادیر مشخصه‌های لایه آلی (لاشبرگ)، فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک در ارتباط با پوشش‌های اراضی، با تجزیه واریانس یک‌طرفه انجام شد. در نهایت مقایسه چندگانه میانگین در نمونه‌های برداشتی با آزمون دانکن در نرم افزار SPSS 26 انجام پذیرفت.

نتایج و بحث

ویژگی‌های لایه آلی و مشخصه‌های فیزیکی خاک: مطابق با یافته‌های پژوهش حاضر، بررسی ویژگی‌های لایه آلی بیانگر آن است که بیش‌ترین مقدار نیتروژن (۱/۹۶ درصد) در پوشش درختی راش (a) و کم‌ترین مقدار (۱/۰۳ درصد) آن در رویشگاه علف‌گندمی (b) مشاهده شد. این در حالی است که مشخصه‌های کربن و نسبت کربن به نیتروژن در بین رویشگاه‌های مورد مطالعه تفاوت آماری معنی‌داری نداشتند. هم‌چنین بررسی مشخصه‌های فیزیکی در بین رویشگاه‌های مختلف بیانگر این است که هم‌چنین، بیش‌ترین مقادیر مربوط به پایداری خاکدانه (۷۲/۳۴ درصد)، رس (۴۲/۰۳ درصد)، خاکدانه درشت (۵۲ درصد) و خاکدانه ریز (۳۵/۸ درصد) در رویشگاه راش (a) و کم‌ترین مقادیر آن‌ها به ترتیب برابر با ۵۶، ۲۸/۵،

۳۰/۴ و ۱۹/۶ درصد در پوشش گیاهی علف‌گندمی (b) مشاهده شد که تفاوت بین گروه‌ها از نظر آماری معنی‌دار بود. اما مشخصه‌های جرم مخصوص ظاهری، جرم مخصوص حقیقی، تخلخل، شن و سیلت دارای اختلاف معنی‌داری در بین پوشش‌های گیاهی اراضی نمی‌باشند (جدول ۱). بر اساس نتایج پژوهش حاضر، حضور گیاهان چندساله باعث افزایش نیتروژن لاشبرگ می‌شود. این امر ناشی از توانایی این گیاهان در افزایش غلظت نیتروژن از طریق بستر برگ‌ها و سیستم ریشه‌ای است که در نهایت موجب بهبود محتوای مواد مغذی خاک می‌گردد (۵۲). وجود پوشش‌های درختی نسبت به سایر پوشش‌ها می‌تواند پایداری خاکدانه‌ها را به شکل قابل‌توجهی افزایش دهند (۵۳). پوشش‌های گیاهی چندساله به دلیل سیستم ریشه‌ای عمیق‌تر و گسترده‌تر خود که به اتصال ذرات خاک کمک می‌کند، می‌تواند پایداری خاکدانه‌ها را بهبود بخشد (۵۴). هم‌چنین گیاهان چند ساله با توانایی خود در بهبود ساختار خاک و حفظ رطوبت، پایداری خاک را نسبت به یک‌ساله‌ها و پوشش‌های علفی افزایش می‌دهد. به‌نحوی که مراتع مشجر به دلیل حضور این گیاهان دارای پایداری بیش‌تری نسبت به مراتع غیرمشجر هستند. ساختار ریشه گیاهان هم‌چنین موجب پایداری خاکدانه‌ها می‌شود که باعث بهبود ساختمان خاک می‌شود (۵۵). لازم به ذکر است که تغییر فرم رویشی گیاهان از پوشش‌های علفی به گونه‌های چندساله و چوبی می‌تواند درصد رس خاک را افزایش دهد. شبکه‌های ریشه‌ای گسترده درختان به اتصال ذرات خاک کمک می‌کنند و از فرسایش و از دست رفتن بخش‌های ریزتر خاک، از جمله رس، جلوگیری می‌نمایند؛ به‌طوری‌که اراضی جنگلی نسبت به مراتع درصد رس بالاتری دارند (۵۶).

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

Table 1. ANOVA (Mean \pm standard error) for organic layer and physical characteristics in the studied habitats.

تجزیه واریانس ANOVA		رویشگاه Habitat				ویژگی‌های لایه آلی Organic properties
معنی‌داری Sig.	مقدار F F value	علف‌گندمی <i>Agropyron longiaristatum Boiss</i>	آلوچه وحشی <i>Prunus spinosa</i>	آمیخته ولیک و زرشک <i>Crataegus microphylla and Berberis integerrima Bunge</i>	راش <i>Fagus orientalis</i>	
0.07 ^{ns}	2.56	20.84 \pm 1.14 ^b	22.19 \pm 2.03 ^b	26.2 \pm 3.58 ^{ab}	30.13 \pm 3.03 ^a	کربن لایه آلی (درصد) Carbon (%)
0.014*	4.087	1.03 \pm 0.16 ^b	1.08 \pm 0.20 ^b	1.44 \pm 0.23 ^{ab}	1.96 \pm 0.24 ^a	نیتروژن لایه آلی (درصد) Nitrogen (%)
0.514 ^{ns}	0.778	25.25 \pm 3.89 ^a	26.64 \pm 4.56 ^a	23.76 \pm 5.53 ^a	17.92 \pm 3 ^a	نسبت کربن به نیتروژن لایه آلی C/N ratio
						مشخصه‌های فیزیکی خاک Physical characteristics
0.491 ^{ns}	0.821	1.5 \pm 0.08 ^a	1.48 \pm 0.09 ^a	1.45 \pm 0.06 ^a	1.34 \pm 0.05 ^a	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب) Bulk density (g cm ⁻³)
0.97 ^{ns}	0.08	2.37 \pm 0.07 ^a	2.37 \pm 0.08 ^a	2.34 \pm 0.12 ^a	2.32 \pm 0.06 ^a	جرم مخصوص حقیقی (گرم بر سانتی‌متر مکعب) Particle density (g cm ⁻³)
0.643 ^{ns}	0.562	36.32 \pm 3.88 ^a	37.77 \pm 3.32 ^a	36.81 \pm 3.81 ^a	41.88 \pm 2.19 ^a	تخلخل (درصد) Porosity (%)
0.01*	4.417	56 \pm 4.33 ^b	58.44 \pm 4.02 ^b	66.2 \pm 3.43 ^{ab}	72.34 \pm 1.89 ^a	پایداری (درصد) Stability (%)
0.087 ^{ns}	2.369	34.1 \pm 2.78 ^a	28.3 \pm 3.05 ^{ab}	26.2 \pm 2.23 ^b	25.4 \pm 1.99 ^b	شن (درصد) Sand (%)
0.535 ^{ns}	0.741	37.4 \pm 3.76 ^a	39.8 \pm 3 ^a	34 \pm 4.67 ^a	32.3 \pm 4.02 ^a	سیلت (درصد) Silt (%)
0.006*	4.862	28.5 \pm 2.88 ^c	31.9 \pm 2.79 ^{bc}	39.8 \pm 2.95 ^{ab}	42.3 \pm 3.13 ^a	رس (درصد) Clay (%)
0.002*	6	30.4 \pm 3.99 ^b	31.4 \pm 2.49 ^b	39.2 \pm 3.75 ^b	52 \pm 5.48 ^a	خاکدانه درشت (درصد) Macro-aggregate (%)
0.003*	5.658	19.6 \pm 3.32 ^b	22.4 \pm 3.83 ^b	32.1 \pm 3.18 ^a	35.8 \pm 2.49 ^a	خاکدانه ریز (درصد) Micro-aggregate (%)
0.018*	3.78	31.19 \pm 2.54 ^c	36.05 \pm 3.91 ^{bc}	44.62 \pm 5.51 ^{ab}	48.4 \pm 3.60 ^a	رطوبت خاک (درصد) Moisture (%)
0.002*	5.92	30.22 \pm 2.07 ^a	25.69 \pm 2.53 ^{ab}	22.56 \pm 3.33 ^{bc}	16.49 \pm 0.74 ^c	دمای خاک (درجه سانتی‌گراد) Temperature

^{ns} عدم معنی‌داری، * معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪

^{ns} non-significance, * significance at the 5% probability level

کمک می‌کنند که فعالیت میکروبی را افزایش می‌دهد. وجود پوشش‌های چندساله سطوح کربن خاک را از روش‌های مختلفی افزایش می‌دهد. به طوری که سایبان درختان بر دما و رطوبت خاک تأثیر می‌گذارد و ریزاقليم‌هایی ایجاد می‌کند که به حفظ کربن کمک می‌کند و نرخ تجزیه را کاهش می‌دهد (۵۸). همسو با نتایج پژوهش حاضر، رویشگاه‌های جنگلی و مراتع مشجر نسبت به اراضی دارای پوشش‌های یک‌ساله و مراتع غیرمشجر به طور قابل توجهی محتوای مواد مغذی خاک بهتری دارند. و حضور پوشش‌های چندساله بر مواد مغذی مختلف مانند آمونیوم، نیترات، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم تأثیر می‌گذارد. سایه گیاهان چندساله و چوبی به سطوح بالاتر آمونیوم و نیترات در خاک کمک می‌کند (۵۹). پوشش درختی به طور قابل توجهی بر جذب نیتروژن خاک تأثیر می‌گذارد (۶۰). اراضی دارای پوشش چوبی معمولاً به دلیل افزودن مستمر مواد آلی از طریق برگ‌ها و ریشه‌ها، محتوای نیتروژن کل بالاتری دارند. این ماده آلی نه تنها ساختار خاک را بهبود می‌بخشد، بلکه حفظ نیتروژن آلی محلول در خاک که برای رشد گیاه حیاتی است را افزایش می‌دهد (۶۱). ریشه‌های گیاهان چندساله روابط همزیستی با میکروارگانیسم خاک ایجاد می‌کنند و از این طریق جذب مواد مغذی از جمله فسفر را افزایش می‌دهد. این ارتباط در علفزارها به مراتب کم‌تر بوده و منجر به کاهش عناصر مغذی در این مناطق می‌شود (۶۲). سیستم ریشه‌های گیاهان چندساله و چوبی معمولاً عمیق بوده که می‌توانند پتاسیم لایه‌های زیرین خاک را جذب کند و آن را در دسترس خاک‌های سطحی قرار دهد (۶۳). هوازگی سنگ مادر در زیر پوشش‌های درختی به طور قابل توجهی در دسترس بودن کلسیم و منیزیم را در مقایسه با علفزارها افزایش می‌دهد. این فرآیند توسط اسیدهای آلی تولید شده در طی تجزیه

مشخصه‌های شیمیایی خاک: طبق نتایج حاصل از آنالیز مشخصه‌های شیمیایی خاک، بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر آمونیوم، نیترات، میانگین هندسی فعالیت آنزیمی، واکنش خاک، هدایت الکتریکی، کربن، کربن در خاکدانه ریز، ماده آلی، نیتروژن، ترسیب نیتروژن، نیتروژن در خاکدانه ریز، نیتروژن آلی محلول، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، زی‌توده ریزیشه، آنزیم اوره آز، آنزیم اسید فسفاتاز، آنزیم آریل سولفاتاز و آنزیم اینورتاز به ترتیب متعلق به پوشش درختی راش و علف گندمی می‌باشد. برخی از مشخصه‌های خاک مانند کربن آلی ذره‌ای و نیتروژن آلی در خاکدانه درشت، اگرچه تفاوت عددی داشتند، اما از نظر آماری معنی‌دار نبودند. همچنین آنزیم اوره آز، کربن آلی، نسبت آنزیم اسید فسفاتاز به کربن آلی، نسبت آنزیم آریل سولفاتاز به کربن آلی، نسبت آنزیم اینورتاز به کربن آلی، نسبت آنزیم میکروبی کربن، نسبت آنزیم اسید سولفاتاز به زی‌توده میکروبی کربن آلی، نسبت آنزیم آریل سولفاتاز به زی‌توده میکروبی کربن آلی، نسبت آنزیم اینورتاز به زی‌توده میکروبی کربن آلی، اختلاف معنی‌داری در بین رویشگاه‌های مورد مطالعه نبودند (جدول ۲). در حالی که پوشش‌های علفی در برخی خصوصیات خاک باعث ایجاد اثرات مثبتی می‌شوند اما این اثرات نسبت به پوشش‌های درختچه‌ای و درختی، کم‌تر است این اثرات عمدتاً به دنبال افزایش چرخه مواد مغذی و تجمع مواد آلی رخ می‌دهند که بر خواص شیمیایی خاک تأثیر مثبت می‌گذارد (۵۷). بررسی‌ها نشان می‌دهد که مناطق دارای پوشش گیاهی چندساله نسبت به علفزارها به طور قابل توجهی دارای کربن آلی خاک بیش‌تری هستند، که عمدتاً به دلیل تجمع مواد گیاهی تجزیه شده و زی‌توده ریشه است. کربن موجود در ریزیشه‌های گیاهان چندساله از طریق زیست‌توده ریشه و ترشحات به ذخیره کربن خاک

بسیار مهم است (۶۶). در مراتع مشجر تغییرات pH در مقایسه با علفزارها کم‌تر است. سیستم ریشه‌ای درختان pH خاک را افزایش داده و محیط مساعدتری برای دسترسی به مواد مغذی ایجاد کند (۶۷). هم‌چنین مطابق با نتایج پژوهش حاضر وجود پوشش‌های درختی و درختچه‌ای می‌تواند جوامع میکروبی را تقویت کند که باعث افزایش تولید آنزیم شده و در نتیجه حاصل‌خیزی خاک را بهبود می‌بخشد (۶۸).

مواد گیاهی تسهیل می‌شود، که حلالیت این مواد معدنی را در خاک افزایش می‌دهد (۶۴). بنابراین پوشش‌های درختی نه تنها از فرآیند هوازدگی مؤثر پشتیبانی می‌کنند، بلکه محیطی غنی از مواد مغذی را برای رشد گیاهان فراهم می‌سازند (۶۵). وجود پوشش‌های گیاهی چندساله هم‌چنین باعث ایجاد ریزرویشگاه‌هایی می‌شود که بر روی بیوتای خاک و فرآیندهای تجزیه و رهاسازی مواد مغذی تأثیر می‌گذارد، که برای حفظ تعادل هدایت الکتریکی خاک

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

Table 2. ANOVA (Mean \pm standard error) for soil chemicals characteristic in the studied habitats.

تجزیه واریانس ANOVA		رویشگاه Habitat				ویژگی‌های خاک Soil properties
معنی‌داری Sig.	مقدار F F value	علف‌گندمی <i>Agropyron longiaristatum Boiss</i>	آلوچه وحشی <i>Prunus spinosa</i>	آمیخته ولیک و زرشک <i>Crataegus microphylla and Berberis integerrima Bunge</i>	راش <i>Fagus orientalis</i>	
0.000*	17.405	21.83 \pm 1.68 ^b	25 \pm 3.61 ^b	40.71 \pm 2.32 ^a	44.55 \pm 2.8 ^a	آمونوم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) NH ₄ (mg kg ⁻¹)
0.000*	26.258	30.55 \pm 1.82 ^b	32.41 \pm 1.13 ^b	46.07 \pm 1.64 ^a	51.33 \pm 2.92 ^a	نترات (میلی‌گرم بر کیلوگرم) NO ₃ (mg kg ⁻¹)
0.000*	17.895	4.45 \pm 0.07 ^b	4.69 \pm 0.13 ^b	5.15 \pm 0.1 ^a	5.41 \pm 0.09 ^a	GME (میانگین هندسی فعالیت آنزیمی)
0.016*	3.882	6.02 \pm 0.287 ^b	6.1 \pm 0.324 ^b	6.51 \pm 0.224 ^{ab}	7.11 \pm 0.139 ^a	واکنش pH
0.01*	7.473	0.2 \pm 0.01 ^b	0.21 \pm 0.01 ^b	0.2 \pm 0.01 ^a	0.28 \pm 0.01 ^a	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC (ds/m)
0.009*	4.415	2.5 \pm 0.41 ^c	2.98 \pm 0.4 ^{bc}	3.73 \pm 0.28 ^{ab}	4.21 \pm 0.32 ^a	کربن (درصد) C (%)
0.009*	4.412	4.32 \pm 0.7 ^c	5.14 \pm 0.7 ^{bc}	6.43 \pm 0.49 ^{ab}	7.26 \pm 0.56 ^a	ماده آلی OM ratio
0.000*	10.849	0.26 \pm 0.02 ^c	0.29 \pm 0.03 ^c	0.4 \pm 0.03 ^b	0.5 \pm 0.02 ^a	نیتروژن (درصد) Total N (%)
0.000*	7.734	3.89 \pm 0.29 ^b	4.19 \pm 0.5 ^b	5.86 \pm 0.71 ^a	6.84 \pm 0.39 ^a	ترسیب نیتروژن (مگاگرم بر هکتار) N sequestration (Mg ha ⁻¹)
0.000*	11.607	18.71 \pm 3.73 ^b	24.19 \pm 2.58 ^b	42.43 \pm 4.59 ^a	48.11 \pm 5.19 ^a	نیتروژن آلی محلول (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Dissolved organic N (mg kg ⁻¹)
0.587 ^{ns}	0.65	10.13 \pm 1.79 ^a	11.72 \pm 2.22 ^a	9.77 \pm 0.87 ^a	8.64 \pm 0.98 ^a	نسبت کربن به نیتروژن C/N ratio
0.363 ^{ns}	1.094	2 \pm 0.87 ^a	1.27 \pm 0.15 ^a	0.98 \pm 0.16 ^a	0.99 \pm 0.13 ^a	نسبت کربن به نیتروژن آلی محلول Dissolved organic C/N ratio

ادامه جدول ۲-

Continue Table 2.

تجزیه واریانس ANOVA		رویشگاه Habitat				ویژگی‌های خاک Soil properties
معنی‌داری Sig.	F مقدار F value	علف‌گندمی <i>Agropyron longiaristatum Boiss</i>	آلوچه وحشی <i>Prunus spinosa</i>	آمیخته ولیک و زرشک <i>Crataegus microphylla and Berberis integerrima Bunge</i>	راش <i>Fagus orientalis</i>	
0.729 ^{ns}	0.434	8.62±1.69 ^a	8.5±2.99 ^a	8.29±2.19 ^a	5.72±0.92 ^a	نسبت کربن به نیتروژن آلی ذره‌ای Particulate organic C/N ratio
0.000*	21.15	24.79±2.48 ^b	26.91±2.14 ^b	39.81±1.31 ^a	44.46±2.24 ^a	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Available P (mg kg ⁻¹)
0.000*	15.947	224.6±14.13 ^c	289.2±24.82 ^{bc}	339.9±25.53 ^b	455.7±30.44 ^a	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Available K (mg kg ⁻¹)
0.000*	12.529	150.5±15.4 ^c	188.8±14.71 ^c	287.5±24.9 ^b	374.5±46.65 ^a	کلسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Available Ca (mg kg ⁻¹)
0.003*	5.476	38.5±3.87 ^c	46.3±4.63 ^{bc}	51.7±2.44 ^{ab}	61.2±4.89 ^a	منیزیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Available Mg (mg kg ⁻¹)
0.000*	13.3	43.93±5.41 ^b	50.37±3.12 ^b	73.14±7.59 ^a	85.99±4.33 ^a	زی‌توده ریزیشه (گرم بر مترمربع) Fine root biomass (g m ²)
0.000*	8.612	13.36±1.01 ^c	14.25±1.68 ^{bc}	18.67±1.2 ^b	24.24±2.49 ^a	آنزیم اوره‌آز Urease (μg NH ⁴⁺ N g ⁻¹ 2 h ⁻¹)
0.01*	4.375	168.1±15.9 ^b	219.6±28.97 ^b	253.8±22.21 ^{ab}	362.5±67.81 ^a	آنزیم اسید فسفاتاز Acid phosphatase (μg PNP g ⁻¹ h ⁻¹)
0.000*	8.139	105.9±11.31 ^b	118.7±15.03 ^b	216.6±21.28 ^a	209±29.41 ^a	آنزیم آریل سولفاتاز Arylsulphatase (μg PNP g ⁻¹ h ⁻¹)
0.013*	4.057	112.3±15.18 ^c	153.7±35.37 ^{bc}	232.7±50.61 ^{ab}	277.8±38.51 ^a	آنزیم اینورتاز Invertase (μg Glucose g ⁻¹ 3 h ⁻¹)
0.819 ^{ns}	0.307	6.16±0.69 ^a	6.98±2.21 ^a	5.26±0.48 ^a	6.21±0.88 ^a	نسبت آنزیم اوره‌آز به کربن آلی Urease/OC
0.579 ^{ns}	0.664	76.33±9.55 ^a	90.81±17.2 ^a	69.57±5.45 ^a	91.53±17.18 ^a	نسبت آنزیم اسید فسفاتاز به کربن آلی Acid phosphatase/OC
0.879 ^{ns}	0.223	52.3±8.15 ^a	51.25±10.81 ^a	59.19±5.49 ^a	50.66±8.12 ^a	نسبت آنزیم آریل سولفاتاز به کربن آلی Arylsulfatase/OC
0.769 ^{ns}	0.377	57.05±11.05 ^a	57.26±13.39 ^a	75.38±22.97 ^a	72.52±13.45 ^a	نسبت آنزیم اینورتاز به کربن آلی Invertase/OC
0.137 ^{ns}	1.96	0.09±0.01 ^a	0.05±0.009 ^b	0.07±0.005 ^{ab}	0.08±0.01 ^{ab}	نسبت آنزیم اوره‌آز به زی‌توده میکروبی کربن Urease/MBC
0.47 ^{ns}	0.86	1.27±0.28 ^a	0.87±0.15 ^a	0.97±0.1 ^a	1.04±0.13 ^a	نسبت آنزیم اسید فسفاتاز به زی‌توده میکروبی کربن Acid phosphatase/MBC
0.145 ^{ns}	1.912	0.76±0.15 ^{ab}	0.44±0.05 ^b	0.85±0.12 ^a	0.7±0.14 ^{ab}	نسبت آنزیم آریل سولفاتاز به زی‌توده میکروبی کربن Arylsulfatase/MBC
0.588 ^{ns}	0.649	0.83±0.19 ^a	0.61±0.15 ^a	0.94±0.24 ^a	1.01±0.25 ^a	نسبت آنزیم اینورتاز به زی‌توده میکروبی کربن Invertase/MBC

^{ns} عدم معنی‌داری، * معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪

^{ns} non-significance, * significance at the 5% probability level

مشخصه‌های زیستی: مطابق با یافته‌های پژوهش حاضر بیش‌ترین مقادیر مشخصه‌های فراوانی اپی‌ژئیک، زی‌توده اپی‌ژئیک، فراوانی آنسئیک، زی‌توده آنسئیک، زی‌توده اندوژئیک، فراوانی کل کرم‌خاکی، زی‌توده کل کرم‌خاکی، فراوانی کنه خاکزی، نماد کل خاکزی، فراوانی پروتوزوئر خاکزی در پوشش درختی راش و کم‌ترین مقدار آن در رویشگاه علف‌گندمی مشاهده شد. هم‌چنین بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر جمعیت باکتری، جمعیت قارچ، تنفس پایه، کربن زی‌توده میکروبی، نیتروژن زی‌توده میکروبی، نسبت زی‌توده میکروبی نیتروژن به زی‌توده میکروبی فسفر و قابلیت دسترسی کربن به ترتیب به رویشگاه جنگلی با غالبیت راش و پوشش علف‌گندمی تعلق داشت. اما در برخی خصوصیات خاک از جمله تنوع فعالیت‌های آنزیمی، ترسیب کربن، کربن در خاکدانه درشت، کربن آلی محلول، کربن آلی ذره‌ای، نیتروژن در خاکدانه درشت و نیتروژن آلی ذره‌ای تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد. این در حالی است که سایر پارامترها از جمله فراوانی اندوژئیک، فراوانی پادمان خاکزی، تنفس میکروبی برانگیخته، نسبت زی‌توده میکروبی نیتروژن به نیتروژن کل، زی‌توده میکروبی فسفر نسبت زی‌توده میکروبی فسفر به فسفر کل، نسبت زی‌توده میکروبی کربن به زی‌توده میکروبی نیتروژن، نسبت زی‌توده میکروبی کربن به زی‌توده میکروبی فسفر، ضریب متابولیسی و سهم میکروبی دارای تغییرات معنی‌داری در بین رویشگاه‌های مورد مطالعه نبودند (جدول ۳). سطح بالای پوشش گیاهی زیرزمینی در پوشش‌های

چندساله موجب افزایش تامین مواد مغذی و تنوع میکروبی می‌شود (۶۹). اراضی دارای پوشش‌های درختی و درختچه‌ای در مقایسه با علفزارها یا خاک لخت، با دمای پایین‌تر و پایداری در طول سال، اثر خنک‌کنندگی بر دمای خاک دارد. کاهش تراکم درختان دمای خاک را به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌دهد (۷۰). غنای جانداران خاک‌زی به‌طور قابل‌توجهی در اراضی جنگلی نسبت به اراضی مرتعی بالاتر است. حضور گیاهان چندساله تراکم ارگانسیم‌های مانند اپی‌ژئیک، کرم‌های خاکی و کنه‌خاکزی را افزایش می‌دهد. که برای چرخه مواد مغذی و سلامت خاک بسیار مهم هستند. علاوه بر این، پوشش درختی موجب ایجاد جامعه متنوع‌تری از انواع میکروارگانسیم‌های خاک می‌شود و به تعادل و انعطاف‌پذیری اکولوژیکی کمک می‌کند (۷۱). حضور پوشش‌های درختچه‌ای و درختی باعث افزایش زی‌توده میکروبی شده که منجر به افزایش تنفس پایه می‌شود. این امر نشان‌دهنده فعالیت متابولیسی بیش‌تر در بین میکروب‌ها است. این موضوع به سیستم‌های پیچیده ریشه و مواد آلی ورودی از بستر برگ نیز نسبت داده می‌شود که نسبت کربن و نیتروژن میکروبی را در خاک بهبود می‌بخشد. در نتیجه، پوشش‌های چندساله نه تنها تنوع میکروبی را افزایش می‌دهد، بلکه دسترسی به مواد مغذی را نیز بهینه می‌کند و محیطی حاصلخیزتر از علفزارها ایجاد می‌کند (۷۲). که همسو با نتایج پژوهش حاضر است.

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین \pm اشتباه معیار) پویایی کلیما، فون و فلور خاک در رویشگاه‌های مورد مطالعه.

Table 3. ANOVA (Mean \pm standard error) for dynamics of climate, soil fauna and flora in the studied habitats.

تجزیه واریانس ANOVA		رویشگاه Habitat				ویژگی‌های خاک Soil properties
معنی‌داری Sig.	F مقدار F value	علف‌گندمی <i>Agropyron longiaristatum Boiss</i>	آلوچه وحشی <i>Prunus spinosa</i>	آمیخته ولیک و زرشک <i>Crataegus microphylla and Berberis integerrima Bunge</i>	راش <i>Fagus orientalis</i>	
0.00*	28.97	0.8 \pm 0.2 ^c	0.8 \pm 0.24 ^c	2 \pm 0.29 ^b	4.1 \pm 0.37 ^a	فراوانی اپی ژئیک (تعداد در مترمربع) Epigeic density (nm ⁻²)
0.00*	12.95	8.85 \pm 2.86 ^c	10.73 \pm 3.48 ^c	27.7 \pm 4.76 ^b	42.48 \pm 5.85 ^a	زی‌توده اپی ژئیک (میلی‌گرم در مترمربع) Epigeic biomass (mgm ⁻²)
0.00*	11.65	1.1 \pm 0.31 ^c	1.7 \pm 0.42 ^{bc}	2.7 \pm 0.39 ^b	1.2 \pm 0.41 ^a	فراوانی آنسئیک (تعداد در مترمربع) Anecic density (nm ⁻²)
0.00*	10.76	12.02 \pm 3.51 ^b	20.94 \pm 5.54 ^b	4.66 \pm 5.24 ^a	4.66 \pm 5.24 ^a	زی‌توده آنسئیک (میلی‌گرم در مترمربع) Anecic biomass (mgm ²)
0.229 ^{ns}	1.5	0.3 \pm 0.21 ^a	0.4 \pm 0.22 ^a	0.9 \pm 0.45 ^a	1.2 \pm 0.41 ^a	فراوانی اندوژئیک (تعداد در مترمربع) Endogeic density (nm ²)
0.171 ^{ns}	1.76	2.17 \pm 1.78 ^a	4.14 \pm 2.50 ^a	5.88 \pm 3.23 ^a	11.18 \pm 3.73 ^a	زی‌توده اندوژئیک (میلی‌گرم در مترمربع) Endogeic biomass (mgm ²)
0.00*	26.38	2.2 \pm 0.416 ^c	2.9 \pm 0.504 ^c	5.6 \pm 0.819 ^b	9.5 \pm 0.749 ^a	فراوانی کل کرم‌خاکی (تعداد در مترمربع) Earthworm density (nm ⁻²)
0.00*	19.62	23.05 \pm 4.68 ^c	35.83 \pm 35.83 ^c	70.17 \pm 70.17 ^b	100.98 \pm 9.01 ^a	زی‌توده کل کرم خاکی Earthworm biomass (mg m ⁻²)
0.00*	8.06	29499.2 \pm 5948.17 ^b	34666.3 \pm 6791.31 ^b	54506.3 \pm 4058.06 ^a	67343.3 \pm 7441.55 ^a	فراوانی کنه خاک‌زی (تعداد در مترمربع) Acarina density (n m ⁻²)
0.082 ^{ns}	2.41	20610.7 \pm 3274.44 ^b	31010.5 \pm 4451.42 ^{ab}	34116.7 \pm 4624.33 ^{ab}	39796.7 \pm 7455.12 ^a	فراوانی پادمان خاک‌زی (تعداد در مترمربع) Collembola density (n m ⁻²)
0.00*	8.09	334 \pm 28.87 ^b	410.1 \pm 62.68 ^b	465.8 \pm 82.67 ^b	811 \pm 101.9 ^a	نماتد کل خاک‌زی Total nematode (in 100 gr soil)
0.001*	7.45	261.9 \pm 17.44 ^b	302.4 \pm 44.82 ^b	428.2 \pm 66.24 ^b	613.5 \pm 81.86 ^a	فراوانی پروتوزوئو خاک‌زی Protozoa density (in 100 gr soil)
0.00*	11.01	1.44 \pm 0.3 ^b	1.61 \pm 0.17 ^b	1.98 \pm 0.4 ^b	4.47 \pm 0.66 ^a	جمعیت باکتری (تعداد در ۱۰ ^۷ گرم خاک) Total bacteria ($\times 10^7$ g soil)
0.00*	14.23	0.34 \pm 0.05 ^c	0.76 \pm 0.13 ^c	1 \pm 0.11 ^b	1.72 \pm 0.24 ^a	جمعیت قارچ (تعداد در ۱۰ ^۷ گرم خاک) Total fungi ($\times 10^7$ g soil)
0.00*	18.11	0.15 \pm 0.01 ^b	0.2 \pm 0.01 ^b	0.37 \pm 0.03 ^a	0.46 \pm 0.05 ^a	تنفس پایه BR (mg CO ₂ g ⁻¹ day ⁻¹)
0.12 ^{ns}	2.07	0.78 \pm 0.03 ^b	0.85 \pm 0.04 ^{ab}	0.96 \pm 0.05 ^{ab}	1.01 \pm 0.12 ^a	تنفس میکروبی برانگیخته SIR (mg co ₂ g ⁻¹ day ⁻¹)
0.005*	4.97	166.6 \pm 20.51 ^b	281.1 \pm 30.98 ^a	281.1 \pm 35.23 ^a	362.8 \pm 51.07 ^a	زی‌توده میکروبی کریب MBC (mg kg ⁻¹)
0.00*	28.69	19.54 \pm 1.32 ^c	24.26 \pm 1.67 ^c	44.58 \pm 2.65 ^b	58.28 \pm 5.81 ^a	زی‌توده میکروبی نیتروژن MBN (mg kg ⁻¹)
0.12 ^{ns}	2.081	81.75 \pm 10.99 ^a	92.81 \pm 9.49 ^a	123.48 \pm 18.12 ^a	117.33 \pm 14.64 ^a	نسبت زی‌توده میکروبی نیتروژن به نیتروژن کل MBN/Total N
0.08 ^{ns}	2.43	22.8 \pm 1.99 ^a	24.9 \pm 2.78 ^a	35.3 \pm 3.82 ^a	35.8 \pm 7.04 ^a	زی‌توده میکروبی فسفر MBP (mg kg ⁻¹)

ادامه جدول ۳-

Continue Table 3.

تجزیه واریانس ANOVA		رویشگاه Habitat				ویژگی‌های خاک Soil properties
معنی داری Sig.	مقدار F F value	علف‌گندمی <i>Agropyron longiaristatum Boiss</i>	آلوچه وحشی <i>Prunus spinosa</i>	آمیخته ولیک و زرشک <i>Crataegus microphylla and Berberis integerrima Bunge</i>	راش <i>Fagus orientalis</i>	
0.686 ^{ns}	0.49	0.99±0.12 ^a	1.01±0.14 ^a	0.88±0.08 ^a	0.81±0.15 ^a	نسبت زی‌توده میکروبی فسفر به فسفر کل MBP/ P
0.078 ^{ns}	2.46	9.42±1.85 ^{ab}	12.22±1.77 ^b	6.35±0.69 ^b	7.62±1.86 ^{ab}	نسبت زی‌توده میکروبی کربن به زی‌توده میکروبی نیتروژن MBC/MBN
0.164 ^{ns}	1.8	8.13±1.57 ^a	13.4±2.75 ^a	8.52±1.09 ^a	11.77±1.78 ^a	نسبت زی‌توده میکروبی کربن به زی‌توده میکروبی فسفر MBC/MBP
0.00*	7.75	0.89±0.07 ^b	1.09±0.13 ^b	1.33±0.08 ^b	2.2±0.37 ^a	نسبت زی‌توده میکروبی نیتروژن به زی‌توده میکروبی فسفر MBN/MBP
0.063 ^{ns}	2.64	1.08±0.24 ^{ab}	0.8±0.1 ^b	1.46±0.15 ^{ab}	1.65±0.35 ^a	ضریب متابولیسمی (q CO ₂)
0.387 ^{ns}	1.03	81.27±15.33 ^a	112.45±18.01 ^a	79.63±11.67 ^a	90.76±13.5 ^a	سهم میکروبی (Microbial ratio)
0.00*	11.76	0.2±0.03 ^b	0.24±0.02 ^b	0.39±0.03 ^a	0.48±0.06 ^a	قابلیت دسترسی کربن (CAI)
0.075 ^{ns}	2.488	0.1686±0.001 ^a	0.1612±0.002 ^b	0.164±0.002 ^{ab}	0.1614±0.001 ^b	تنوع فعالیت‌های آنزیمی H
0.052 ^{ns}	2.829	36.92±5.46 ^b	43.52±6.31 ^{ab}	54.51±5.09 ^a	56.85±5.33 ^a	ترسیب کربن (مگاگرم بر هکتار) C sequestration (Mg ha ⁻¹)
0.133 ^{ns}	1.983	0.28±0.04 ^b	0.33±0.03 ^{ab}	0.38±0.05 ^{ab}	0.44±0.05 ^a	کربن در خاکدانه درشت (درصد) C in Macro-aggregate (%)
0.005*	4.969	0.18±0.01 ^b	0.24±0.04 ^b	0.3±0.03 ^{ab}	0.4±0.05 ^a	کربن در خاکدانه ریز (درصد) C in Micro-aggregate (%)
0.145 ^{ns}	1.908	24.62±7.07 ^a	30.22±4.87 ^a	39.55±7.08 ^a	42.3±4.12 ^a	کربن آلی محلول (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Dissolved organic C (mg kg ⁻¹)
0.914 ^{ns}	0.171	3.79±0.54 ^a	3.95±0.55 ^a	4.09±0.32 ^a	4.23±0.33 ^a	کربن آلی ذره‌ای (گرم بر کیلوگرم) Particulate organic C (mg kg ⁻¹)
0.092 ^{ns}	2.31	0.15±0.03 ^b	0.22±0.03 ^{ab}	0.36±0.09 ^{ab}	0.4±0.11 ^a	نیتروژن در خاکدانه درشت (درصد) N in Macro-aggregate (g kg ⁻¹)
0.022*	3.604	0.11±0.01 ^b	0.13±0.01 ^b	0.19±0.02 ^{ab}	0.26±0.06 ^a	نیتروژن در خاکدانه ریز (درصد) N in Micro-aggregate (g kg ⁻¹)
0.152 ^{ns}	1.868	0.55±0.07 ^b	0.65±0.07 ^{ab}	0.69±0.09 ^{ab}	0.81±0.05 ^a	نیتروژن آلی ذره‌ای (گرم بر کیلوگرم) Particulate organic N (mg kg ⁻¹)

^{ns} عدم معنی داری، * معنی داری در سطح احتمال ۵٪

^{ns} non-significance, * significance at the 5% probability level

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تغییر گونه‌های گیاهی از پوشش‌های علفی به سمت پوشش‌های درختچه‌ای و درختی در منطقه کوهستانی گیل‌کلا نوشهر استان مازندران باعث ایجاد تغییرات معنی‌داری در اکثر مشخصه‌های لایه آلی و معدنی از جمله نیتروژن لایه آلی، پایداری خاکدانه، درصد رس، خاکدانه درشت و خاکدانه ریز دارای اختلاف معنی‌داری در بین پوشش‌های اراضی مورد بررسی بودند. همچنین مشخصه‌های آمونیوم، نترات، میانگین هندسی فعالیت آنزیمی، واکنش خاک، هدایت الکتریکی، کربن، کربن در خاکدانه ریز، ماده آلی، نیتروژن، ترسیب نیتروژن، نیتروژن در خاکدانه ریز، نیتروژن آلی محلول، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، زی‌توده ریز ریشه، آنزیم اوره آز، آنزیم اسید فسفاتاز، آنزیم آریل سولفاتاز و آنزیم اینورتاز نیز دارای تغییرات معنی‌داری بودند. لازم به ذکر است که مشخصه‌های فراوانی اپی‌ژئیک، زی‌توده اپی‌ژئیک، فراوانی آنستیک، زی‌توده آنستیک، زی‌توده اندوژئیک، فراوانی کل کرم‌خاکی، زی‌توده کل کرم‌خاکی، فراوانی کنه خاکزی، نماتد کل خاکزی، فراوانی پروتوزوئر خاکزی دارای اختلاف معنی‌داری در بین پوشش‌های اراضی بودند. مطابق با یافته‌های پژوهش حاضر پوشش‌های درختی و درختچه‌ای به دلیل این‌که مدت دیر زیستی بالاتری نسبت به پوشش‌های علفی دارند و با ایجاد سایه، کاهش تبخیر و افزایش رطوبت خاک، می‌توانند به بهبود ساختار خاک و افزایش تعداد و زی‌توده کرم‌های خاکی و دیگر موجودات میکروبی در خاک کمک کنند. این موجودات نقش مهمی در تجزیه مواد آلی و چرخه عناصر غذایی و بهبود مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک دارند. که این امر باعث افزایش حاصل‌خیزی و بهره‌وری خاک می‌شود. این نتایج نشان می‌دهد که حضور

پوشش‌های چوبی می‌تواند شرایط بهتری برای عملکرد خاک فراهم کند و این موضوع می‌تواند به‌عنوان یک راهکار مؤثر برای احیای اراضی تخریب‌یافته مورد توجه قرار گیرد. بر همین اساس در مناطقی که با اقلیم مشابه (نیمه‌خشک و کوهستانی) تخریب صورت گرفته است، توسعه بیش‌تر پوشش‌های چوبی در این‌گونه مناطق توصیه می‌شود.

تقدیر و تشکر

نویسندگان مقاله حاضر بر خود لازم دانسته از دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس در راستای همکاری و مساعدت در اجرای این پژوهش تشکر و قدردانی کنند.

داده‌ها، اطلاعات و دسترسی

داده‌های این متن مرتبط با پروژه دانشجویی (مقطع دکتری) با عنوان اثر پوشش‌های جنگلی، مرتع مشجر و غیرمشجر بر ویژگی‌های لایه آلی و معدنی خاک منطقه کوهستانی در دانشگاه تربیت مدرس می‌باشد. دسترسی به داده‌ها و اطلاعات صرفاً برای داوران/دبیر تخصصی/سردبیر نشریه و بنابر درخواست ایشان میسر خواهد بود.

تضاد منافع

در این مقاله تضاد منافی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: طرح تحقیق و روش‌شناسی، اصلاح و نهایی‌سازی مقاله. نویسنده دوم: آماده‌سازی داده‌ها، انجام محاسبات، تهیه پیش‌نویس مقاله.

اصول اخلاق

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر عملی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آن‌ها می‌باشد.

حمایت مالی

این پژوهش از حمایت مستقیم مالی برخوردار نبوده است ولی از آزمایشگاه و امکانات دانشگاه تربیت مدرس استفاده گردیده است.

منابع

1. Delgado-Baquerizo, M., Reich, P. B., Trivedi, C., Eldridge, D. J., Abades, S., Alfaro, F. D., Bastida, F., Berhe, A. A., Cutler, N. A., Gallardo, A., & García-Velázquez, L. (2020). Multiple elements of soil biodiversity drive ecosystem functions across biomes. *Nature ecology & evolution*, 4(2), 210-220 <https://doi.org/10.1038/s41559-019-1084-y>.
2. Verrecchia, E. P., & Trombino, L. (2021). A visual atlas for soil micromorphologists. Springer Nature. <https://doi.org/10.7551/mitpress/6548.003.0006>.
3. Kooch, Y., Tavakoli Feizabadi, M., & Haghverdi, K. (2023). The Effect of Plantation Stands with Different Ages and Rangeland Cover on the Properties of Organic and Surface Soil Layer. *Water and Soil*, 37(5), 701-720. <https://doi.org/10.22067/jsw.2023.82251.1280>.
4. Wang, H., Gao, J., & Hou, W. (2019). Quantitative attribution analysis of soil erosion in different geomorphological types in karst areas: Based on the geodetector method. *Journal of Geographical Sciences*, 29, 271-286. <https://doi.org/10.1007/s11442-019-1596-z>.
5. Babur, E., Uslu, Ö., Battaglia, M., Diatta, A., Fahad, S., Datta, R., Zafar-Ul-Hye, M., Hussain, G., & Danish, S. (2021). Studying soil erosion by evaluating changes in physico-chemical properties of soils under different land-use types. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. <https://doi.org/10.1016/J.JSSAS.2021.01.005>.
6. Lal, R. (2020). Soil organic matter content and crop yield. *Journal of Soil and Water Conservation*, 75(2), 27-32. <http://dx.doi.org/10.2489/jswc.75.2.27A>.
7. Patiño, S., Hernández, Y., Plata, C., Dominguez, I., Daza, M., Oviedo-Ocaña, R., Buytaert, W., & Ochoa-Tocachi, B. (2021). Influence of land use on hydro-physical soil properties of Andean páramos and its effect on streamflow buffering. *Catena*, 202, 105227. <https://doi.org/10.1016/J.CATENA.2021.105227>.
8. Chen, H., Zhang, X., Abla, M., Lü, D., Yan, R., Ren, Q., Ren, Z., Yang, Y., Zhao, W., Lin, P., Liu, B., & Yang, X. (2018). Effects of vegetation and rainfall types on surface runoff and soil erosion on steep slopes on the Loess Plateau, China. *Catena*, 170, 141-149. <https://doi.org/10.1016/J.CATENA.2018.06.006>.
9. Yuan, Z., & Chen, H. (2015). Decoupling of nitrogen and phosphorus in terrestrial plants associated with global changes. *Nature Climate Change*, 5, 465-469. <https://doi.org/10.1038/NCLIMATE2549>.
10. Solomon, D., Lehmann, J., & Zech, W. (2000). Land use effects on soil organic matter properties of chromic luvisols in semi-arid northern Tanzania: carbon, nitrogen, lignin and carbohydrates. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 78(3), 203-213. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00126-7](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00126-7).
11. Grünzweig, J. M., Sparrow, S. D., & Chapin, F. S. (2003). Impact of forest conversion to agriculture on carbon and nitrogen mineralization in subarctic Alaska. *Biogeochemistry*, 64(2), 271-296. <https://doi.org/10.1023/A:1024976713243>.
12. Raiesi, F. (2007). The conversion of overgrazed pastures to almond orchards and alfalfa cropping systems may favor microbial indicators of soil quality in Central Iran. *Agriculture, ecosystems & environment*, 121(4), 309-318. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.11.002>.

13. Sousa, F. P., Ferreira, T. O., Mendonça, E. S., Romero, R. E., & Oliveira, J. G. B. (2012). Carbon and nitrogen in degraded Brazilian semi-arid soils undergoing desertification. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 148, 11-21. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.11.009>.
14. Kabiri, V., Raiesi, F., & Ghazavi, M. A. (2016). Tillage effects on soil microbial biomass, SOM mineralization and enzyme activity in a semi-arid Calcixerepts. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 232, 73-84. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.07.022>.
15. Lacerda-Júnior, G. V., Noronha, M. F., Cabral, L., Delforno, T. P., De Sousa, S. T. P., Fernandes-Júnior, P. I., Melo, I. S., & Oliveira, V. M. (2019). Land use and seasonal effects on the soil microbiome of a Brazilian dry forest. *Frontiers in microbiology*, 10, 648. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00648>.
16. Nielsen, U. N., & Ball, B. A. (2015). Impacts of altered precipitation regimes on soil communities and biogeochemistry in arid and semi-arid ecosystems. *Global change biology*, 21(4), 1407-1421. <https://doi.org/10.1111/gcb.12789>.
17. Goenster, S., Gründler, C., Buerkert, A., & Joergensen, R. G. (2017). Soil microbial indicators across land use types in the river oasis Bulgan sum center, Western Mongolia. *Ecological Indicators*, 76, 111-118. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.01.002>.
18. Thapa, V. R., Ghimire, R., Mikha, M. M., Idowu, O. J., & Marsalis, M. A. (2018). Land use effects on soil health in semiarid drylands. *Agricultural & Environmental Letters*, 3(1), 180022. <https://doi.org/10.2134/aerl.2018.05.0022>.
19. Trasar-Cepeda, C., Leirós, M. C., & Gil-Sotres, F. (2008). Hydrolytic enzyme activities in agricultural and forest soils. Some implications for their use as indicators of soil quality. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(9), 2146-2155. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.03.015>.
20. Griffiths, B., Bonkowski, M., Roy, J., & Ritz, K. (2001). Functional stability, substrate utilization and biological indicators of soils following environmental impacts. *Applied Soil Ecology*, 16, 49-61. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(00\)00081-0](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00081-0).
21. Rogers, B. F., & Tate Iii, R. L. (2001). Temporal analysis of the soil microbial community along a toposequence in Pineland soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 33(10), 1389-1401. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(01\)00044-X](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(01)00044-X).
22. Román-Sánchez, A., Vanwalleghem, T., Peña, A., Laguna, A., & Giráldez, J. V. (2018). Controls on soil carbon storage from topography and vegetation in a rocky, semi-arid landscapes. *Geoderma*, 311, 159-166. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.10.013>.
23. Tamfuh, P. A., Temgoua, E., Wotchoko, P., Boukong, A., & Bitom, D. (2018). Soil properties and land capability evaluation in a mountainous ecosystem of North-West Cameroon. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 6(7), 15-33. <https://doi.org/10.4236/gep.2018.67002>.
24. 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. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104621>.
25. Sadeghi, S. H., & Kheirparast, M. (2024). A Biological Management Model for Controlling Soil Erosion in Rangelands of the Kojour Watershed, Mazandaran Province, Iran. *Rangeland*, 18(1), 23-41. <http://rangelandsrm.ir/article-1-1203-fa.html>.
26. 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. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104621>.
27. 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>.
28. Bremner, J. M., & Mulvaney, C. S. (1982). Nitrogen-total (In: Methods of Soil Analysis, Part 2, Eds: RH Miller, RR Keeney).
 29. Tavakoli, M., Kooch, Y., & Akbarinia, M. (2018). 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]
 30. Zancan, S., Trevisan, R., & Paoletti, M. G. (2006). Soil algae composition under different agro-ecosystems in North-Eastern Italy. *Agric Ecosyst Environ*, 112(1), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.06.018>.
 31. 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. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c14>.
 32. 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>.
 33. 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>.
 34. Allison, L. E. (1975). Organic carbon. In: Black CA. Methods of soil analysis. *American Society of Agronomy*, Part, 2.
 35. Bremner, J. M., & Mulvaney, C. S. (1982). Nitrogen-total total. In 'Methods of Soil Analyses. Part 2: Chemical and Microbiological Properties. *American Society of Agronomy, Madison*, 595-624. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c31>.
 36. Wang, Q., & Wang, S. (2006). Microbial biomass in subtropical forest soils: effect of conversion of natural secondary broad-leaved forest to *Cunninghamia lanceolata* plantation. *Journal of Forestry Research*, 17(3), 197-200. <https://doi.org/10.1007/s11676-006-0046-9>.
 37. Chapman, H. D., & Pratt, P. F. (1962). Methods of analysis for soils, plants and waters. *Soil Science*, 93(1), 68. <https://doi.org/10.2136/sssaj1963.03615995002700010004x>.
 38. Bower, C. A., Reitemeier, R. F., & Fireman, M. (1952). Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Soil Science*, 73, 251-261. <http://dx.doi.org/10.1097/00010694-195204000-00001>.
 39. 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>.
 40. 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).
 41. Page, A. L., Miller, R. H., & Jeeney, D. R. (1975). Methods of soil analysis, Part 1. Physical properties. SSSA Publication, Madison.
 42. 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>.
 43. Alef, K., & Nannipieri, P. (1995). Methods in applied soil microbiology and biochemistry (Issue 631.46 M592 ma). *Academic Press*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-513840-6.X5014-9>.
 44. Bayranvand, M., & Kooch, Y. (2016). The effect of broad-leaved tree species on abundance and diversity of

- earthworms in the flat forest ecosystem. *Journal of Soil Biology*, 4(1), 15-26. <https://doi.org/10.22092/sbj.2016.106755>.
45. 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 (3), 223-229. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.11.023>.
46. 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.
47. 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>.
48. Anderson, T. H., & Domsch, K. H. (1990). Application of eco-physiological quotients (qCO₂ 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).
49. 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).
50. 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*. <https://doi.org/10.1093/oso/9780195120837.001.0001>.
51. Perfect, E., Kay, B. D., Van Loon, W. K. P., Sheard, R. W., & Pojasok, T. (1990). Factors influencing soil structural stability within a growing season. *Soil Science Society of America Journal*, 54(1), 173-179. <https://doi.org/10.2136/sssaj1990.03615995005400010027x>.
52. Tamfuh, P. A., Temgoua, E., Wotchoko, P., Boukong, A., & Bitom, D. (2018). Soil properties and land capability evaluation in a mountainous ecosystem of North-West Cameroon. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 6(7), 15-33. <https://doi.org/10.4236/gep.2018.67002>.
53. Jafari Haghighi, M. (2003). *Methods of soil analysis sampling and important physical*. 2nd ed., Sari: Neday Zohi, 236p. [In Persian]
54. Wood, M. (1995). *Environmental soil biology*, 2nd ed., Blackie Academic and Professional, Glasgow, 150. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-011-0625-2>.
55. Lieskovský, J., Kenderessy, P., Petlušová, V., & Petluš, P. (2024). Effect of grass cover and abandonment on soil surface changes and soil properties in traditional vineyards in Vráble viticultural region in southwestern Slovakia. *Catena*, 235, 107702. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107702>.
56. 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>.
57. Camarero, J. J., Colangelo, M., Gazol, A., Pizarro, M., Valeriano, C., & Igual, J. M. (2021). Effects of windthrows on forest cover, tree growth and soil characteristics in drought-prone pine plantations. *Forests*, 12(7), 817. <https://doi.org/10.3390/f12070817>.
58. Ding, J., Delgado-Baquerizo, M., Wang, J. T., & Eldridge, D. J. (2021). Ecosystem functions are related to tree diversity in forests but soil biodiversity in open woodlands and shrublands. *Journal of Ecology*, 109(12), 4158-4170. <https://doi.org/10.1111/13652745.13788>.
59. Soto, L., Galleguillos, M., Seguel, O., Sotomayor, B., & Lara, A. (2019). Assessment of soil physical properties' statuses under different land covers within a landscape dominated by exotic

- industrial tree plantations in south-central Chile. *Journal of Soil and Water Conservation*, 74(1), 12-23. <https://doi.org/10.2489/jswc.74.1.12>.
60. Cao, S., Lu, C., & Yue, H. (2017). Optimal tree canopy cover during ecological restoration: a case study of possible ecological thresholds in Changting, China. *BioScience*, 67(3), 221-232. <https://doi.org/10.1093/biosci/biw157>.
61. Venuste, N. (2020). Effects of Tree Forest Plantations on Soil Physicochemical Properties in the Arboretum of Ruhunde, Southern Province of Rwanda. *Rwanda Journal of Engineering, Science, Technology and Environment*, 3(1), 1-12. <https://doi.org/10.4314/rjeste.v3i1.6>.
62. Tong, R., Ji, B., Wang, G. G., Lou, C., Ma, C., Zhu, N., ... & Wu, T. (2024). Canopy gap impacts on soil organic carbon and nutrient dynamic: a meta-analysis. *Annals of Forest Science*, 81(1), 12. <https://doi.org/10.3390/f15081293>.
63. Li, C., Ji, Y., Ma, N., Zhang, J., Zhang, H., Ji, C., ... & Li, Y. (2024). Positive effects of vegetation restoration on the soil properties of post-mining land. *Plant and Soil*, 497(1), 93-103. <https://doi.org/10.1007/s11104-022-05864-w>.
64. Tsogbadrakh, O., Sukhbaatar, G., Ganbaatar, B., Batchuluun, B., Altanjin, D., Kim, K. W., & Oyuntsetseg, B. (2024). Tree canopy area-dependent changes in soil properties: a comparative study in the southern limit of boreal forest distribution. *Forest Science and Technology*, 20(1), 58-66. <https://doi.org/10.1080/21580103.2023.2295450>.
65. Matkala, L., Salemaa, M., & Bäck, J. (2020). Soil total phosphorus and nitrogen explain vegetation community composition in a northern forest ecosystem near a phosphate massif. *Biogeosciences*, 17(6), 1535-1556. <https://doi.org/10.5194/bg-17-1535-2020>.
66. Chen, Y., Zhang, S., Li, H., & Wang, Y. (2022). Drivers of nutrient content and spatial variability of soil multifunctionality in the topsoil of Kyrgyzstan. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 1001984. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1001984>.
67. Malvestiti, J. A., Casagrande, J. C., & Soares, M. R. (2017). Potencial de extratos vegetais de cana-de-açúcar na neutralização da acidez do solo por método laboratorial. *Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 60(4), 297-301. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2242>.
68. Huang, D., Gong, Z., Wang, Y., Chen, X., Tan, R., Wang, H., & Mao, Y. (2021). Effects of EGCG on the Mobilization of Mineral Elements from Tea Plantation Soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 52(16), 1853-1863. <https://doi.org/10.1080/00103624.2021.1900223>.
69. Kohout, P., Sudová, R., Brabcová, V., Vosolsobě, S., Baldrian, P., & Albrechtová, J. (2021). Forest Microhabitat Affects Succession of Fungal Communities on Decomposing Fine Tree Roots. *Frontiers in microbiology*, 12, 541583. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.541583>.
70. Massi, K. G., Eugênio, C. U. O., Franco, A. C., & Hoffmann, W. A. (2021). The effects of tree cover and soil nutrient addition on native herbaceous richness in a neotropical savanna. *Biotropica*, 53(3), 888-895. <https://doi.org/10.1111/btp.12940>.
71. Li, Y., Han, C., Sun, S., & Zhao, C. (2021). Effects of tree species and soil enzyme activities on soil nutrients in dryland plantations. *Forests*, 12(9), 1153. <https://doi.org/10.3390/f12091153>.
72. Liu, K. L., Chen, B. Y., Zhang, B., Wang, R. H., & Wang, C. S. (2023). Understory vegetation diversity, soil properties and microbial community response to different thinning intensities in *Cryptomeria japonica* var. *sinensis* plantations. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1117384. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1117384>.