Iranian Journal of Soil and Water Research ISNN: 2423-7833
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

The effect of canopy composition of shrub species on soil quality indicators in West Mazandaran

Yahya Kooch[✉] | **Nahid Jafarian** | **Katayoun Haghverdi** [3]

1. Corresponding Author, Department of Range Management, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran. E-mail: yahya.kooch@modares.ac.ir
2. Division of forests, Rangelands and Watershed, Ilam Agricultural and Natural Resources Research Center (AREEO), Ilam, Iran. E-mail: n.jafarian@areeo.ac.ir
3. Department of Wood and Paper Science and Technology, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran. E-mail: Katayoun.haghverdi@kiau.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Dec. 31, 2024

Revised: March. 1, 2024

Accepted: Apr. 4, 2024

Published online: April. 2025

Keywords:
Enzyme Activity Litter Characteristics,
Soil Biological Characteristics,
Soil Fertility,
Shrub Cover.

ABSTRACT

Different composition of vegetation can have significant effects on the variability of soil characteristics. Therefore, the present study was aimed to reveal the effect of the canopy composition of shrub species on soil quality indicators. The different characteristics was studied for the litter and the soil covered with a mix of four shrubs species (Crataegus nigra, Berberis integerrima Bunge, Ribes Uva – crispa L and Prunus spinosa L.), three species (Crataegus nigra, Berberis integerrima Bunge and Ribes Uva – crispa L.), two species (Crataegus nigra and Berberis integerrima Bunge), shrub cover with the predominance of Berberis integerrima Bunge. and Crataegus nigra. For this purpose, in each of the habitats studied, 3 sample plots of one hectare were selected with at least 600 meters distances, and in each sample plot, 5 samples of litter and soil were collected, and a total of 15 samples of litter and soil were collected from each habitat. The results showed significant effects of different Composition of vegetation on most litter and soil characteristics; so that, the highest carbon to nitrogen ratio of litter belongs to the habitat with predominance of Berberis integerrima Bunge (24.46). The highest characteristics of porosity, soil stability, clay, moisture content, carbon and organic matter, storage of carbon and nitrogen, nitrogen, potassium, calcium, magnesium, mineralization of nitrogen, ammonium, nitrate, particulate organic C and N, dissolved organic C and N, activity of enzymes, soil organisms, basic and substrate induced respiration, microbial biomass of carbon, nitrogen and phosphorus were observed in the composition of a canopy with four species. The results of principal component analysis showed that the habitats with high soil fertility and biological activity belonged to the canopy composition with four species. The results of this research indicate that the composition of vegetation with four species can maintain soil quality.

Cite this article: Kooch, Y., Jafarian, N., & Haghverdi, K. (2025). The effect of canopy composition of shrub species on soil quality indicators in West Mazandaran, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 56 (2), 519-543. https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.382570.669791

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.382570.669791

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Different composition of vegetation can have significant effects on the variability of soil characteristics. Therefore, the present study was conducted to reveal the effect of the canopy composition of shrub species on soil quality indicators in the mountainous part of Kiakla, Nowshahr city.

Materials and Methods

In order to investigate the effects of land cover on different characteristics of organic and mineral soil layers, Parts of the mentioned areas were selected after conducting preliminary investigations and field visits. Characteristics of the litter (organic carbon, total nitrogen and carbon to nitrogen ratio) and different characteristics of the soil (physical, chemical and biological) under the cover of four mixed shrubs species (Crataegus nigra, Berberis integerrima Bunge, Ribes Uva – crispa L. and Prunus spinosa L.), three species (Crataegus nigra, Berberis integerrima Bunge and Ribes Uva – crispa L.), two species (Crataegus nigra and Berberis integerrima Bunge), shrub cover with the predominance of Berberis integerrima Bunge and Crataegus nigra was measured. For this purpose, in each of the habitats studied, 3 one-hectare plots with at least 600 meters distances were selected in each studied habitat. In each of the one-hectare plots, 5 leaf litter samples and 5 soil samples (30 cm × 30 cm by 10 cm depth) were taken to the laboratory for analysis. In total, 15 litter samples and 15 soil samples were collected from each of the habitats being studied.

Results and Discussion

The results showed significant effects of different Composition of vegetation on most litter and soil characteristics; so that, the highest carbon to nitrogen ratio of litter belongs to the habitat with predominance of Berberis integerrima Bunge (24.46). The highest characteristics of porosity, soil stability, clay, moisture content, carbon and organic matter, storage of carbon and nitrogen, nitrogen, potassium, calcium, magnesium, mineralization of nitrogen, ammonium, nitrate, Particulate organic C and N, dissolved organic C and N, activity of enzymes (urease, arylsulfatase, acid phosphatase and invertase), bacteria, fungus, Acarina, Collembola, protozoa and the number and biomass of earthworms, basic and substrate induced respiration, microbial biomass carbon, nitrogen and phosphorus were observed in the composition of the canopy with four species. The results of principal component analysis (PCA) also showed that the habitats with high soil fertility and biological activity belonged to the canopy composition with four species. The habitats with the dominance of Berberis integerrima Bunge and Crataegus nigra had lower quality and nutritional elements.

Conclusions

The results of this study indicate that the composition of different shrub canopy has a significant impact on litter quality, biological indicators, and physicochemical characteristics. Our research shows that combining vegetation with four species can maintain soil quality and improve soil quality indicators. Therefore, it is suggested that in order to restore degraded pasture lands in the studied habitats and in areas with similar environmental conditions, a composition of species should be used to protect the soil, because the composition of species can be more beneficial in determining the litter and soil quality of the region.

Author Contributions

Yahya Kooch: Conceptualization, Supervision, Project Administration, Software, Validation, Writing – Review & Editing. Nahid Jafarian: Investigation, Formal Analysis, Software, Validation, Visualization, Writing – Original Draft, Writing – Review & Editing. Katayoun Haghverdi: Methodology, Software, Validation, Writing – Review & Editing.

Data Availability Statement

Statement Data will be made available on request.

Acknowledgements

Hereby, we extend our thanks and appreciation to Tarbiat Modares University for providing the necessary facilities for conducting this research.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۶، شماره ۲ شاپا: ۷۸۳۳-۲۴۲۳
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

اثر ترکیب تاج پوشش گونه‌های درختچه‌ای بر شاخص‌های کیفیت خاک در غرب مازندران

یحیی کوچ[1*]، ناهید جعفریان[2] و کتایون حق‌وردی[3]

۱. نویسنده مسئول، گروه مرتع‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران. رایانامه: yahya.kooch@modares.ac.ir

۲. بخش تحقیقات جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان ایلام، ایلام، ایران. رایانامه: n.jafarian@areeo.ac.ir

۳. گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران. رایانامه: Katayoun.haghverdi@kiau.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۶/۲۹
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۹/۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۹/۱۷
تاریخ انتشار: اردیبهشت ۱۴۰۴

واژه‌های کلیدی:
پوشش درختچه‌ای،
حاصلخیزی خاک،
فعالیت آنزیم مشخصه زیستی خاک،
مشخصه لاشبرگ.

چکیده

ترکیب‌های مختلف پوشش گیاهی می‌تواند اثرات برجسته‌ای در تغییرپذیری ویژگی‌های خاک داشته باشند. بنابراین مطالعه حاضر با هدف اثر ترکیب تاج پوشش گونه‌های درختچه‌ای بر شاخص‌های کیفیت خاک انجام گرفت. ویژگی های مختلف لاشبرگ و خاک تحت پوشش‌درختچه‌ای آمیخته با چهار گونه (سیاه‌ولیک، زرشک، گالش انگور و آلوچه‌وحشی)، سه گونه (سیاه‌ولیک، زرشک و گالش انگور)، دو گونه (سیاه‌ولیک و زرشک)، پوشش با غالبیت زرشک و پوشش با غالبیت سیاه ولیک مطالعه شد. بدین منظور در هر رویشگاه سه قطعه منتخب یک هکتاری با فواصل حداقل ۶۰۰ متر انتخاب و در هر قطعه منتخب، پنج نمونه و در مجموع از هر یک از رویشگاه‌ها، ۱۵ نمونه لاشبرگ و خاک برداشت شد. نتایج حاکی از اثرات معنی‌دار ترکیب‌های مختلف پوشش گیاهی بر اکثر ویژگی‌های لاشبرگ و خاک بود. به‌طوریکه بیشترین مقدار نیتروژن لاشبرگ و بیشترین نسبت کربن به نیتروژن لاشبرگ به رویشگاه با غالبیت زرشک (۲۴/۴۶) تعلق داشت. بیشترین مقادیر ویژگی‌های تخلخل، پایداری خاکدانه، درصد رس، محتوای رطوبت، کربن آلی، ذخیره کربن و نیتروژن، نیتروژن، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، شدت معدنی‌شدن خالص نیتروژن، آمونیوم، نیترات، کربن و نیتروژن ذره‌ای و آلی محلول، فعالیت آنزیم‌ها، موجودات زنده خاک، تنفس پایه و برانگیخته، زیست توده میکروبی کربن و نیتروژن و فسفر در ترکیب تاج پوشش با چهار گونه مشاهده شد. نتایج تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) نشان داد که رویشگاه‌هایی با حاصلخیزی و فعالیت زیستی بالا متعلق به ترکیب تاج پوشش با چهار گونه بود. نتایج این پژوهش حاکی از آنست که ترکیب پوشش گیاهی با چهار گونه درختچه‌ای می‌تواند باعث حفظ کیفیت خاک شود.

استناد: کوچ، یحیی؛ جعفریان، ناهید؛ و حق‌وردی، کتایون (۱۴۰۴). اثر ترکیب تاج پوشش گونه‌های درختچه‌ای بر شاخص‌های کیفیت خاک در غرب مازندران، *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۶ (۲)، ۵۴۳-۵۱۹. https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.382570.669791

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
© نویسندگان.
DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.382570.669791

مقدمه

خاک محیطی زنده و پویا و یکی از بخش‌های مهم اکوسیستم است و دارای فعالیت‌های اکولوژیکی مهمی مانند معدنی‌شدن و تثبیت عناصر غذایی و تجزیه مواد و تبدیل آنها است (Lemanceau et al., 2016). کیفیت خاک برآیندی از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک می‌باشد (Kooch et al., 2023). خاک در توسعه پوشش گیاهی و افزایش کیفیت رویشگاه نقش مهمی دارد (کیان‌مهر و همکاران، ۱۳۹۸)، به‌طوریکه یکی از مهمترین عوامل در پیدایش خاک، پوشش گیاهی می‌باشد که ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد (عیوضی‌نی و همکاران، ۱۳۹۸). یکی از مهمترین اشکال پوشش گیاهی، مراتع هستند که یک پنجم سطح زمین را اشغال می‌کنند (Ambrosino et al., 2023). رویشگاه‌های مرتعی از گونه‌های گیاهی با فرم‌های رویشی درختی، درختچه‌ای و علفی تشکیل شده‌اند که درختچه‌ها یک جزء اساسی و یک نوع پوشش گیاهی غالب در رویشگاه‌های مرتعی نیمه‌خشک در سراسر جهان هستند و بر بسیاری از فرآیندهای چرخه مواد مغذی و شاخص‌های کیفیت خاک تأثیر می‌گذارند (kooch and Sohrabzadeh, ۲۰۲۴). تاج پوشش تأثیر قابل توجهی بر واکنش‌های مختلف بیوشیمیایی که در محیط و لایه‌های بالایی خاک رخ می‌دهد، اعمال می‌کند (Wang et al., ۲۰۲۳). پژوهش‌ها نیز نشان می‌دهد که تاج پوشش درختچه‌ای بر عملکرد خاک رویشگاه اثر گذاشته و سبب تغییر در منابع خاک و کیفیت و عملکرد آن می‌شود (عیوضی‌نی و همکاران، ۱۳۹۸؛ Ambrosino et al., 2023). از اینرو کیفیت خاک را می‌توان با مطالعه همزمان ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک در رویشگاه‌های با ترکیب مختلف تاج پوشش درختچه‌ای بررسی کرد.

اثر گونه‌های گیاهی بر ویژگی‌های خاک در مطالعات مختلف به اثبات رسیده است. خصوصیات مختلف خاک می‌تواند به تنوع گونه‌های گیاهی وابسته باشد. گونه‌های متفاوت گیاهی می‌توانند بر عناصر غذایی خاک، تنوع در کمیت و کیفیت جذب عناصر غذایی، سرعت و کیفیت تجزیه لایه بستر، تنفس ریشه و نیز بر جوامع زیستی و جانوری خاک اثرگذار باشند (قادری و کوچ، ۱۴۰۰). انواع مختلف درختچه‌ها می‌توانند با تغییر ویژگی‌های بستر و عوامل ریز اقلیم خاک (مانند دمای خاک، رطوبت و نور) از طریق الگوهای رشد منحصربه‌فردشان بر تجزیه بقایا تأثیر بگذارند. به عنوان مثال درختچه‌های بزرگ‌تر می‌توانند با تغییر سرعت باد، به دام انداختن پوشش برف و تغییر نفوذ نور و همچنین تعیین ترکیب و کیفیت بستر، بر دما و رطوبت خاک تأثیر بگذارند (Zhou et al., 2023). بررسی‌های بسیاری در خصوص اثر گونه‌های مختلف گیاهی بر خصوصیات لاشبرگ و خاک انجام گرفته است که اثرات قابل توجه لاشبرگ گونه‌ها بر حاصلخیزی خاک را نشان می‌دهد (Ayres *et al*., 2009). گونه‌های گیاهی به دلیل تفاوت در خصوصیات لاشبرگ تولید شده، ارائه ترکیبات شیمیایی ویژه در لاشبرگ و رهاسازی عناصر غذایی اثرات متفاوتی بر روی خاک می‌گذارند (کیان‌مهر و همکاران، ۱۳۹۸) بر اساس مطالعات انجام شده، ترکیب پوشش تاج پوشش می‌تواند بر کیفیت ورودی‌های لاشبرگ (Ayres et al., 2009; Yifru and Taye, 2011; Tauqeer et al., 2022) اثر بگذارد.

بررسی‌های پیشین نشان داده است که نوع پوشش مختلف اراضی (درختی و درختچه‌ای) می‌تواند بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی (Boudjabi and Chenchouni, 2022; Ambrosino et al., 2023) و زیستی (Kooch et al., 2023; Zhou et al., 2023) خاک اثرگذار باشند. انواع مختلف پوشش‌های زمین در مراتع نقش حیاتی در تغییر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک دارند. ویژگی‌های فیزیکی خاک به دلیل تأثیر گونه‌های مختلف گیاهی در محیط‌های طبیعی در مدت زمان طولانی دستخوش تغییرات می‌شوند (Kooch and Sohrabzadeh, 2024). تأثیر گونه‌های گیاهی در رویشگاه‌های مرتعی بر ویژگی‌های شیمیایی خاک از طریق مسیرهای مختلفی مانند تغییرات نیتروژن کل، کربن آلی، نسبت کربن به نیتروژن، در لایه بستر آنها قابل مشاهده است. ترکیب سیستم‌های ریشه گیاهان نیز می‌تواند بر شیمی خاک تأثیر بگذارد (Jafarian et al., 2024). پژوهش‌های متعدد محتوای کربن، نیتروژن و فسفر در خاک را به‌عنوان متغیرهای مهم مؤثر بر حاصلخیزی خاک شناسایی کرده‌اند که این متغیرها بسته به گونه‌های گیاهی رایج در یک سیستم اکولوژیکی، متفاوت هستند (Boudjabi and Chenchouni, 2022). در همین راستا برخی پژوهش‌ها نشان دادند که مناطقی با یک گونه طیف کمتری از خدمات اکوسیستم را نسبت به توده‌های گونه‌ای مختلط ارائه می‌دهند (Gamfeldt et al., 2013) و تاج پوشش گیاهی با ترکیب چند گونه اثر مثبتی بر حاصلخیزی خاک و بهبود ویژگی‌های زیستی خاک دارد (Kooch and Dolat Zarei, 2023; Zarafshar et al., 2024; Kazmierczak et al., 2024). ویژگی‌های زیستی خاک یکی از حساس‌ترین شاخص‌های کیفیت خاک هستند که در کوتاه مدت پاسخ قطعی به تغییرات مدیریت زمین می‌دهند. تغییر در خصوصیات زیستی خاک ممکن است منجر به تغییرات مهمی در کیفیت خاک شود و بر چرخه عناصر غذایی و رشد گیاه تأثیر بگذارد (Mohmedi Kartalaei et al., 2023). گیاهان می‌توانند منابع مختلف کربن و عناصر غذایی را برای ارگانیسم‌های خاک از طریق مواد آلی و همچنین آزادسازی سوبستراهای مختلف توسط ریشه فراهم کنند. در نتیجه، فعالیت‌های

زیستی خاک در زیستگاه‌هایی با پوشش گیاهی متنوع بسیار متفاوت است (Kooch and Sohrabzadeh, 2024; Zarafshar et al., 2024).

اگرچه در داخل کشور پژوهش‌هایی در ارتباط با اثرات گونه‌های گیاهی بر روی کیفیت خاک صورت گرفته است، اما بیشتر مطالعات به تأثیر گونه‌های درختی بر خصوصیات خاک به ویژه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی (اصغری سرخی و همکاران، ۱۳۹۴؛کریمیان بهنمیری و همکاران، ۱۳۹۸؛ کیان‌مهر و همکاران، ۱۳۹۸؛ موسوی ثانی و همکاران، ۱۴۰۲) پرداخته است. اما در زمینه تأثیر گونه‌های درختچه‌ای با ترکیب تاج پوشش مختلف بر خصوصیات خاک پژوهش‌های کمتری ارائه شده است. بنابراین با توجه به تعداد کم بررسی‌ها در خصوص اثر گونه‌های درختچه‌ای بر خصوصیات خاک و محدودیت در مطالعات زیستی خاک، مطالعه حاضر با هدف بررسی اثر ترکیب تاج پوشش گونه‌های درختچه‌ای بر شاخص‌های کیفیت خاک با تأکید بر خصوصیات زیستی خاک، در غرب مازندران انجام گرفت تا بتوان در برنامه‌های مدیریت مناطق مشابه از نتایج آن استفاده نمود. درک اثر درختچه‌ها بر مشخصات خاک می‌تواند در جنگلداری کاربردهای عملی داشته و به توسعه روش‌های مدیریت بهتر، مؤثرتر و استراتژی‌های بهتر برای مدیریت پایدار خاک کمک کند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

به منظور اجرای این پژوهش بخش کوهستانی کیاکلا شهرستان نوشهر، در نظر گرفته شد. منطقه مورد مطالعه در طول شرقی ۳۵ درجه و ۳۰ دقیقه و عرض شمالی ۵۱ درجه و ۳۸ دقیقه قرار دارد. متوسط ارتفاع از سطح دریا ۱۵۰۰ متر، میزان بارندگی متوسط سالیانه آن ۳۶۵ میلی‌متر و پتانسیل تبخیر سالیانه آن برابر با ۱۳۰۰ میلی‌متر است. حداقل دما ۶ درجه سانتی‌گراد در بهمن‌ماه و حداکثر دما ۲۱ درجه سانتی‌گراد در مردادماه می‌باشد. شیب عمومی منطقه شرقی- غربی و به‌طور متوسط حدود ۱۰ درصد می‌باشد. سطوح گسترده‌ای از منطقه مورد مطالعه توسط پوشش‌های درختچه‌ای خالص و آمیخته از گونه‌های مختلف اشغال شده است. در همین راستا، قبل از اقدام به نمونه‌برداری، ابتدا عرصه‌هایی (سطوحی) از هر یک از پوشش‌های گیاهی مدنظر قرار گرفت که زمان تحت پوشش بودن اراضی با پوشش‌های مختلف گیاهی و همچنین عوامل محیطی حداقل اختلاف ارتفاع از سطح دریا، حداقل تغییر درصد و جهت شیب تقریباً یکسان بودند. پوشش‌های اراضی مورد مطالعه در این تحقیق عبارتند از:

۱- پوشش درختچه‌ای با غالبیت سیاه ولیک
۲- پوشش درختچه‌ای با غالبیت زرشک
۳- پوشش درختچه‌ای آمیخته‌ای از سیاه ولیک و زرشک
۴- پوشش درختچه‌ای آمیخته‌ای از سیاه ولیک، زرشک و گالش انگور
۵- پوشش درختچه‌ای آمیخته‌ای از سیاه ولیک، زرشک، گالش انگور و آلوچه وحشی

روش نمونه‌برداری و تجزیه آزمایشگاهی

به‌منظور بررسی اثرات پوشش‌های اراضی بر ویژگی‌های مختلف لایه‌های آلی (لاشبرگ‌های روی سطح خاک) و معدنی خاک، پس از بررسی‌های اولیه و بازدیدهای میدانی، بخش‌هایی از اراضی فوق‌الذکر انتخاب شد که به صورت پیوسته با هم بوده و حداقل اختلاف ارتفاع از سطح دریا، حداقل تغییر درصد و جهت شیب در آن‌ها مشاهده شد. طرح آماری مورد استفاده در این تحقیق، طرح کاملا تصادفی می‌باشد.

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

به منظور انجام آنالیزهای خاک در ابتدا بخشی از نمونه‌های خاک در کیسه‌های پلی اتیلن برای آنالیز زیستی در دمای ۴ درجه

سانتی‌گراد تا زمان پردازش نگهداری و قسمت دیگر به منظور آنالیزهای فیزیکی و شیمیایی هوا خشک شد و سپس از الک ۲ میلی متری عبور داده شد. اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری به روش کلوخه و جرم مخصوص حقیقی به روش پیکنومتری (Blake and Hartge, 1986) انجام و سپس تخلخل خاک محاسبه شد (Pires et al., 2014). بافت خاک با استفاده از روش بایکوس هیدرومتری (Bouyoucos, 1962)، pH به روش پتانسیل سنجی (در عصاره گل اشباع) با استفاده از دستگاه pH متر (Tavakoli et al., 2018)، هدایت الکتریکی خاک با استفاده از دستگاه EC متر (شوری سنج) در عصاره گل اشباع، نیتروژن کل خاک با استفاده از روش کجلدال (Bremner and Mulvaney, 1982)، فسفر قابل جذب به روش اولسن (Homer and Pratt 1961)، پتاسیم، کلسیم و منیزیم قابل جذب با استفاده ازروش جذب اتمی (Bower et al., 1952)، کربن آلی به روش والکی و بلک (Allison, 1965)، کربن و نیتروژن آلی ذره‌ای با روش کاهش وزن و به وسیله سوزاندن (Handayani et al. 2010)، نیترات با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر و آمونیوم به روش method blue Idophenol با استفاده از دستگاه طیف سنج (Robertson et al., 1999)، نیتروژن و کربن آلی محلول با استفاده از دستگاه تجزیه آلی (himadzu TOC-550A) (Jones and Willett, 2006) و پایداری خاکدانه‌ها با روش یودر (Kemper and Rosenau, 1986) انجام شد. محتوای رطوبت خاک با خشک کردن نمونه‌های خاک در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت اندازه گیری شد (Tavakoli et al., 2018). دمای خاک نیز به وسیله دماسنج دیجیتال در عمق مورد مطالعه در زمان نمونه‌برداری اندازه‌گیری شد (Zancan et al., 2006).

شدت معدنی‌شدن خالص نیتروژن خاک (Soil net N mineralization rate) با استفاده از روش کیسه مدفون (Buried bag) محاسبه گردید. بدین منظور، طی یک فرآیند یک ماهه، در اولین زمان نمونه‌برداری (اواسط مردادماه)، از مجموع نمونه خاک‌های برداشت شده برخی به آزمایشگاه منتقل شده و باقی‌مانده نمونه‌ها در همان زمان در داخل نایلون و در همان عمق مورد مطالعه مدفون می‌شوند. در نهایت پس از گذشت سی روز در دومین زمان نمونه‌برداری (اواسط شهریورماه) این نمونه‌ها نیز به آزمایشگاه منتقل شدند. پس از انتقال نمونه‌های خاک به آزمایشگاه، ازت معدنی (آمونیوم و نیترات) برای تمام نمونه‌های متعلق به هر دو سری زمانی اندازه‌گیری گردیدند. بدین منظور عصاره‌گیری خاک با روش هضم انجام و اندازه‌گیری آمونیوم به روش Idophenol blue method و قرائت عصاره در طول موج ۶۳۶ نانومتر توسط دستگاه طیف‌سنج انجام شد (که اساس آن بر واکنش بین فنل و آمونیوم است) و اندازه‌گیری نیترات با دستگاه فتومتر به روش نیترات صورت پذیرفت. در نهایت شدت آمونیفیکاسیون خالص (NAR)، شدت نیتریفیکاسیون خالص (NNR) و شدت معدنی‌شدن خالص نیتروژن (NMR) در بازه زمانی سی روز با استفاده از روابط ذیل محاسبه گردید.

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

رابطه ۲)
$$NR = \frac{No_3^- - N_{i+1} - No_3^- - N_i}{t_{i+1} - t_i}$$

رابطه ۳)
$$NMR = \frac{NH_4^+ - N_{i+1} + No_3^- - N_{i+1} - NH_4^+ - N_i + No_3^- - N_i}{t_{i+1} - t_i}$$

که در این روابط، $NH_4^+ - N_{i+1}$ مقدار آمونیوم خاک در زمان دوم، $NH_4^+ - N_i$ مقدار آمونیوم خاک در زمان اول، $NO_3^- - N_{i+1}$ مقدار نیترات خاک در زمان دوم، $NO_3^- - N_i$ مقدار نیترات خاک در زمان دوم، $t_{i+1} - t_i$ (تعداد روزها، که ۳۰ روز می‌باشد). بر مبنای این معادلات، نرخ‌های خالص آمونیفیکاسیون، نیتریفیکاسیون و معدنی‌شدن نیتروژن با واحد روز محاسبه و گزارش می‌شوند (Durán et al., 2009; Kooch et al., 2016). ذخیره نیتروژن براساس جرم مخصوص ظاهری و غلظت نیتروژن و ذخیره کربن براساس جرم مخصوص ظاهری و غلظت کربن (Nianpeng et al., 2012) و نسبت کربن آلی ذره‌ای به نیتروژن آلی ذره‌ای و نسبت کربن به نیتروژن خاک نیز محاسبه شد.

شناسایی کرم‌های خاکی از روی شکل ظاهری و با توجه به ویژگی‌های ریخت شناسی شامل اندازه، طول و رنگ بدن و ویژگی‌هایی مانند شکل و نوع اندام‌های جنسی، محل قرارگیری و شکل کلیتلوم، محل قرارگیری اندام‌های جنسی روی سگمنتها و کلیتلوم، انواع اکولوژیک کرمهای خاکی از قبیل برون خاکی (اپی ژئیک)، حفار (آنسئیک) و درون خاکی (اندوژئیک) شناسایی شدند (Bayranvand and Kooch, 2017). کرم‌های خاکی شمارش و به مدت ۴۵ ساعت در دمای ۳۰ درجه سلسیوس خشک شدند و سپس وزن آنها به وسیله ترازو تا دقت میلی‌گرم اندازه‌گیری شد (Kooch et al., 2017) شمارش نماتدهای خاکزی با استفاده از تکنیک قیف بیرمن و سانتریفیوژ، شمارش

کنه‌ها و پادمان‌ها به روش قیف برلیز (Neher et al., 2005)، شمارش پروتوزوئرهای خاک با استفاده از میکروسکوپ با بزرگنمایی ۵۰ (Adl et al., 2006) جمعیت باکتری‌ها و قارچ‌های خاکزی با استفاده از روش کشت (Wollum, 1982) ثبت شد. فعالیت آنزیم اوره‌آز بر اساس اوره (۲۰۰ میلی مولار) به عنوان سوبسترا تحت شرایط استاندارد، در شرایط pH = 9، دمای ۳۷ درجه سانتیگراد به مدت ۲ ساعت، فسفاتاز اسیدی براساس محلول پی نیتروفنیل فسفات به عنوان سوبسترا و انکوباسیون شده در شرایط pH =11، دمای ۳۷ درجه سانتیگراد به مدت ۱ ساعت، آریل‌سولفاتاز با استفاده از پتاسیم پی نیتروفنیل سولفات (۲۵ میلی مولار) در دمای ۳۷ درجه سانتیگراد به مدت ۱ ساعت و اندازه‌گیری مقدار پی نیتروفنل آزادشده در طول هیدرولیز و آنزیم اینورتاز با استفاده از محلول ساکارز (۱٫۲٪) به عنوان سوبسترا، در شرایط pH= 2، در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد به مدت سه ساعت (Alef and Nannipieri, 1995) اندازه‌گیری شد. زیست توده ریز ریشه در هر مترمربع برای هر رویشگاه محاسبه شد (Neatrour et al., 2005). تنفس پایه به روش بطری در بسته و تنفس برانگیخته، با استفاده از روش تنفس پایه با افزودن محلول گلوکز ۱ درصد به عنوان سوبسترا (Anderson and Domsch, 1990)، زیست توده میکروبی کربن، نیتروژن و فسفر با روش تدخین–استخراج اندازه گیری شدند (Brookes et al., 1985). سهم میکروبی خاک از تقسیم تنفس پایه بر زیست توده میکروبی کربن (Anderson and Domsch 1990) و شاخص در دسترس بودن کربن از تقسیم تنفس میکروبی پایه به تنفس برانگیخته محاسبه شد. میانگین هندسی فعالیت‌های آنزیم‌های خاک از رابطه (۴) (Paz-Ferreiro et al., 2012) و شاخص شانون آنزیم‌ها براساس رابطه (۵) (Lagomarsino et al., 2011) محاسبه شد.

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

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

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

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

نسبت اوره‌آز به کربن آلی، نسبت اسیدفسفاتاز به کربن آلی، نسبت آریل سولفاتاز به کربن آلی، نسبت اینورتاز به کربن آلی، نسبت اوره‌آز به زیست توده میکروبی کربن، نسبت اسید فسفاتاز به زیست توده میکروبی کربن، نسبت آریل سولفاتاز به زیست توده میکروبی کربن و نسبت اینورتاز به زیست توده میکروبی کربن، نسبت زیست توده میکروبی نیتروژن به نیتروژن کل نسبت زیست توده میکروبی فسفر به فسفر نسبت زیست توده میکروبی کربن به زیست توده میکروبی نیتروژن نسبت زیست توده میکروبی کربن به زیست توده میکروبی فسفر و نسبت زیست توده میکروبی نیتروژن به زیست توده میکروبی فسفر نیز محاسبه شد.

تجزیه آماری داده‌ها

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

نتایج

ویژگی‌های لاشبرگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کربن و نیتروژن لاشبرگ اختلاف آماری معنی‌داری در رویشگاه‌های بررسی شده نداشتند، در حالیکه نسبت کربن به نیتروژن لاشبرگ به طور معنی‌داری تحت تأثیر نوع توده‌های مختلف درختچه‌ای بود (جدول ۱). بیشترین میزان نسبت کربن به نیتروژن لاشبرگ به توده زرشک و کمترین آن به ترکیب تاج پوشش آمیخته با چهارگونه تعلق داشت (جدول ۱).

جدول ۱. ویژگی‌های لاشبرگ در ارتباط با رویشگاه‌های مورد مطالعه

متغییرهای محیطی	رویشگاه با چهار گونه	رویشگاه با سه گونه	رویشگاه با دو گونه	سیاه ولیک	زرشک	مقدار F	مقدارمعنی‌داری
کربن لاشبرگ (درصد)	۳۶/۲±۸۶/۲۲^{a}	۳۷/۲±۰۰/۴۱^{a}	۳۷/۲±۲۸/۷۱^{a}	۳۸/۲±۱۹/۳۴^{a}	۳۸/۳±۹۵/۲۰^{a}	۰/۱۱۷	۰/۹۷۶^{ns}
نیتروژن لاشبرگ (درصد)	۲/۰±۶۴/۲۴^{a}	۲/۰±۴۷/۲۷^{a}	۲/۰±۲۰/۲۲^{aa}	۱/۰±۹۵/۱۸^{a}	۱/۰±۹۱/۱۸^{a}	۲/۰۹۸	۰/۰۹۰^{ns}
نسبت کربن به نیتروژن	۱۴/۱±۶۷/۱۹^{c}	۱۶/۱±۶۴/۸۰^{c}	۱۸/۲±۸۱/۰۹^{ab}	۲۱/۲±۳۷/۰۸^{ab}	۲۴/۳±۴۶/۵۵^{a}	۲/۸۶	۰/۰۳۰*

هر داده نشان دهنده میانگین [خطای معیار ± (n=۱۵)] است.

***، **، به ترتیب نشان دهنده ی معنی‌داری در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد، ns نشان دهنده عدم معنی‌داری و حروف مختلف نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار ($P<0.05$) بین رویشگاه‌ها است.**

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده تفاوت آماری معنی‌دار در تمامی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بجز جرم مخصوص حقیقی و سیلت در بین رویشگاه‌هایی با ترکیب تاج پوشش متفاوت است (جدول ۲). نتایج بدست آمده نشان داده است که بیشترین میزان جرم مخصوص ظاهری و درصد شن به رویشگاه زرشک تعلق داشت. حداکثر میزان دمای خاک در رویشگاه زرشک، سیاه ولیک و آمیخته با دو گونه مشاهده شد. در رویشگاه‌های با ترکیب تاج پوشش چهار و سه گونه بیشترین میزان pH و فسفر خاک مشاهده شد. بیشترین میزان هدایت الکتریکی خاک به ترکیب تاج پوشش آمیخته (به ترتیب با چهار، سه و دو گونه) تعلق داشت. براساس نتایج در میان چهار رویشگاه مورد بررسی رویشگاه با ترکیب تاج پوشش چهار گونه دارای بیشترین مقادیر تخلخل، پایداری خاکدانه، رس، محتوای رطوبت، کربن آلی، ذخیره کربن و نیتروژن، نیتروژن، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، شدت معدنی‌شدن خالص نیتروژن، آمونیوم، نیترات، کربن و نیتروژن ذره‌ای و آلی محلول است (جدول۱).

جدول ۲. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در ارتباط با رویشگاه‌های مورد مطالعه

متغییرهای محیطی	رویشگاه با چهار گونه	رویشگاه با سه گونه	رویشگاه با دو گونه	سیاه ولیک	زرشک	مقدار F	مقدار معنی‌داری
جرم مخصوص ظاهری ($g\ cm^{-3}$)	۱/۰±۰۷/۰۱^{c}	۱/۰±۲۳/۰۵^{b}	۱/۰±۲۸/۰۴^{ab}	۱/۰±۳۲/۰۴^{ab}	۱/۰±۳۶/۰۴^{a}	۹/۰۵۱	۰/۰۰۰**
جرم مخصوص حقیقی ($g\ cm^{-3}$)	۲/۰±۴۱/۰۶^{a}	۲/۰±۴۴/۰۷^{a}	۲/۰±۴۴/۰۷^{a}	۲/۰±۴۵/۰۷^{a}	۲/۰±۴۵/۰۸^{a}	۰/۰۵۲	۰/۹۹۵^{ns}

جدول ۲. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در ارتباط با رویشگاه‌های مورد مطالعه

متغییرهای محیطی	رویشگاه با چهار گونه	رویشگاه با سه گونه	رویشگاه با دو گونه	سیاه ولیک	زرشک	مقدار F	مقدار معنی‌داری
تخلخل (درصد)	۵۵/۱±۱۸/۱۱^{a}	۴۹/۲±۰۳/۶۰^{b}	۴۷/۱±۰۷/۹۹^{b}	۴۵/۲±۶۸/۲۰^{b}	۴۳/۲±۷۷/۴۷^{b}	۴/۱۹۳	۰/۰۰۴**
پایداری خاکدانه (درصد)	۶۸/۳±۰۸/۲۴^{a}	۵۳/۲±۶۳/۸۹^{b}	۴۰/۲±۱۲/۷۵^{c}	۳۷/۲±۲۰/۵۴^{c}	۳۵/۲±۶۱/۵۷^{c}	۲۴/۰۶۸	/۰۰۰**
شن (درصد)	۲۳/۱±۴۷/۱۷^{c}	۳۱/۳±۲۷/۱۵^{b}	۳۴/۱±۳۳/۹۶^{ab}	۳۶/۲±۹۳/۵۵^{ab}	۴۰/۲±۲۷/۷۷^{a}	۶/۹۷۳	/۰۰۰**
سیلت (درصد)	۳۷/۱±۵۳/۰۹^{a}	۳۴/۲±۰/۹۸^{a}	۳۵/۱±۹۳/۹۸^{a}	۳۷/۲±۷۳/۷۳^{a}	۳۶/۲±۶۰/۹۹^{a}	۰/۳۷۳	۰/۸۲۷^{ns}
رس (درصد)	۳۹/۰±۰/۷۷^{a}	۳۴/۱±۷۳/۵۰^{b}	۲۹/۱±۷۳/۸۹^{c}	۲۵/۱±۳۳/۱۷^{d}	۲۳/۱±۱۳/۲۳^{d}	۲۳/۰۲۶	/۰۰۰**
محتوای رطوبت (درصد)	۴۸/۳±۹۰/۶۶^{a}	۳۸/۱±۱۳/۷۱^{b}	۳۰/۲±۳۰/۴۱^{c}	۲۷/۱±۵۲/۳۴^{cd}	۲۳/۱±۶۱/۲۰^{d}	۱۹/۸۴۵	/۰۰۰**
دمای خاک (°C)	۲۱/۰±۸۳/۷۱^{b}	۲۴/۰±۵۲/۸۸^{b}	۲۹/۱±۸۷/۸۴^{a}	۳۱/۱±۲۴/۵۸^{a}	۳۲/۱±۲۶/۵۲^{a}	۱۰/۸۵۹	/۰۰۰**
pH (1:2.5 H_2O)	۶/۰±۹۷/۱۲^{a}	۶/۰±۷۲/۱۵^{a}	۶/۰±۱۵/۱۷^{b}	۶/۰±۱۲/۱۹^{b}	۶/۰±۱۲/۰۷^{b}	۷/۶۰۰	/۰۰۰**
EC ($ds\ m^{-1}$)	۰/۰±۳۹/۰۲^{a}	۰/۰±۳۴/۰۲^{a}	۰/۰±۳۳/۰۳^{a}	۰/۰±۲۳/۰۲^{b}	۰/۰±۱۹/۰۱^{b}	۱۸/۰۴۵	/۰۰۰**
کربن آلی (درصد)	۴/۰±۰/۱۹^{a}	۳/۰±۳۱/۱۲^{b}	۲/۰±۷۹/۱۲^{c}	۲/۰±۵۲/۱۷^{cd}	۲/۰±۰۹/۲۶^{d}	۱۶/۸۸۱	/۰۰۰**
ذخیره کربن ($mg\ h^{-1}$)	۴۳/۲±۰۲/۱۴^{a}	۴۰/۲±۸۲/۳۵^{ab}	۳۵/۱±۵۳/۶۴^{bc}	۳۳/۲±۰۹/۲۹^{c}	۲۸/۳±۲۹/۶۱^{c}	۵/۶۵۳	۰/۰۰۱**
نیتروژن (درصد)	۰/۰±۴۲/۰۴^{a}	۰/۰±۳۲/۰۳^{b}	۰/۰±۲۶/۰۲^{bc}	۰/۰±۲۲/۰۱^{cd}	۰/۰±۱۷/۰۲^{d}	۱۶/۴۰۳	/۰۰۰**
ذخیره نیتروژن ($mg\ h^{-1}$)	۴/۰±۵۶/۴۰^{a}	۳/۰±۸۵/۳۱^{ab}	۳/۰±۲۸/۲۶^{bc}	۲/۰±۸۶/۱۵^{cd}	۲/۰±۳۰/۲۲^{d}	۹/۵۶۲	/۰۰۰**
نسبت کربن به نیتروژن خاک	۱۰/۱±۴۳/۰۱^{a}	۱۱/۱±۴۹/۰۷^{a}	۱۱/۰±۷۱/۹۷^{a}	۱۲/۱±۱۱/۱۶^{a}	۱۳/۱±۲۸/۸۸^{a}	۰/۶۶۸	۰/۶۱۶^{ns}

ادامه جدول ۲. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در ارتباط با رویشگاه‌های مورد مطالعه

فسفر قابل جذب ($mg\ kg^{-1}$)	۳۳/۱±۹۱/۴۳^{a}	۳۰/۱±۲۷/۱۸^{a}	۲۳/۱±۴۰/۷۹^{b}	۱۸/۱±۱۲/۱۷^{c}	۱۷/۱±۱۹/۲۷^{c}	۲۸/۲۲۰	/۰۰۰**
پتاسیم قابل جذب ($mg\ kg^{-1}$)	۳۴۸/۱۷±۴۰/۶۵^{a}	۳۰۴/۱۰±۴۷/۸۵^{b}	۲۴۷/۸±۶۰/۵۴^{c}	۱۶۳/۱۳±۱۳/۷۶^{d}	۱۱۹/۹±۲۰/۱۳^{e}	۵۸/۷۲۱	/۰۰۰**
کلسیم قابل جذب ($mg\ kg^{-1}$)	۲۶۴/۲۲±۵۳/۷۲^{a}	۱۹۴/۱۳±۸۷/۲۴^{b}	۱۵۲/۱۰±۹۳/۴۲^{c}	۱۲۸/۷±۰۷/۹۱^{c}	۱۱۲/۱۰±۲۰/۱۵^{c}	۱۹/۳۴۹	/۰۰۰**
منیزیم قابل جذب ($mg\ kg^{-1}$)	۹۰/۷±۰/۳۳^{a}	۷۰/۴±۸۷/۱۶^{b}	۶۳/۳±۰/۷۰^{bc}	۵۲/۳±۶۰/۳۱^{c}	۵۰/۴±۰۷/۳۳^{c}	۱۱/۳۵۶	/۰۰۰**
شدت معدنی‌شدن خالص نیتروژن ($mg\ Kg^{-1}\ day^{-1}$)	۴۵/۴±۹۶/۴۲^{a}	۳۸/۲±۶۰/۲۲^{ab}	۳۱/۳±۵۷/۱۸^{bc}	۲۷/۳±۴۷/۰۵^{c}	۲۳/۲±۰۲/۲۵^{c}	۸/۴۴۲	/۰۰۰**
آمونیوم ($mg\ kg^{-1}$)	۲۳/۲±۴۷/۸۳^{a}	۱۹/۰±۰۸/۹۱^{b}	۱۵/۱±۰۲/۴۳^{bc}	۱۲/۰±۹۹/۸۴^{cd}	۱۰/۰±۱۸/۳۸^{d}	۱۲/۰۶۶	/۰۰۰**
نیترات ($mg\ kg^{-1}$)	۱۷/۰±۷۰/۷۳^{a}	۱۲/۰±۷۸/۸۰^{b}	۱۰/۰±۴۵/۵۱^{c}	۸/۰±۹۹/۲۸^{cd}	۸/۰±۱۶/۵۸^{d}	۳۹/۴۱۴	/۰۰۰**
کربن آلی ذره‌ای ($g\ kg^{-1}$)	۳/۰±۴۸/۲۳^{a}	۲/۰±۵۴/۲۶^{b}	۱/۰±۴۲/۲۰^{c}	۱/۰±۰/۰۹^{c}	۰/۰±۷۸/۲۷^{c}	۲۶/۹۰۸	/۰۰۰**
نیتروژن آلی ذره‌ای($g\ kg^{-1}$)	۰/۰±۶۳/۰۵^{a}	۰/۰±۳۳/۰۴^{b}	۰/۰±۱۹/۰۲^{c}	۰/۰±۱۵/۰۲^{c}	۰/۰±۱۱/۰۲^{c}	۴۱/۶۱۳	/۰۰۰**
نسبت کربن آلی ذره‌ای به نیتروژن آلی ذره‌ای	۶/۰±۲۸/۷۷^{a}	۹/۱±۵۵/۸۶^{a}	۷/۰±۸۹/۹۵^{a}	۸/۱±۱۳/۰۹^{a}	۳۲/۱۸±۲۵/۰۸^{a}	۱/۷۹۰	/۱۴۱^{ns}
کربن آلی محلول ($mg\ kg^{-1}$)	۶۶/۴±۶۲/۴۸^{a}	۵۱/۴±۰۸/۷۲^{b}	۲۹/۲±۵۴/۴۰^{c}	۲۱/۱±۲۸/۳۳^{cd}	۱۸/۱±۱۹/۳۸^{d}	۴۱/۷۸۱	/۰۰۰**
نیتروژن آلی محلول ($mg\ kg^{-1}$)	۳۵/۶±۹۳/۸۸^{a}	۲۷/۵±۸۷/۰۱^{ab}	۱۸/۱±۴۸/۶۷^{bc}	۱۳/۱±۵۶/۲۶^{c}	۱۰/۱±۹۷/۵۴^{c}	۶/۸۱۲	/۰۰۰**
نسبت کربن آلی محلول به نیتروژن آلی محلول	۲/۰±۶۶/۳۸^{a}	۲/۰±۴۸/۴۵^{a}	۱/۰±۸۰/۲۲^{a}	۱/۰±۸۲/۲۳^{a}	۲/۰±۲۰/۳۹^{a}	۱/۲۴۴	۰/۳۰۱^{ns}

هر داده نشان دهنده میانگین [خطای معیار ± (n=۱۵)] است.**، به ترتیب نشان دهنده ی معنی‌داری در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد، ns نشان دهنده عدم معنی‌داری و حروف مختلف نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار (P<0.05) بین رویشگاه‌ها است.

ویژگی‌های زیستی خاک

نتایج تجزیه و تحلیل واریانس داده‌ها نشان داد که نوع پوشش گیاهی از نظر آماری اثر معنی‌داری بر ویژگی‌های زیستی و میکروبی خاک دارد (جدول ۳). طبق نتایج بدست آمده بیشترین تعداد و زیست توده کرم‌های اپی‌ژئیک (برون خاکی)، نسبت زیست توده میکروبی نیتروژن به نیتروژن کل و سهم میکروبی به رویشگاه‌هایی با ترکیب تا تاج پوشش آمیخته با چهار و سه گونه تعلق داشت. یافته‌ها حاکی از آن است که بیشترین نسبت زیست توده میکروبی کربن به زیست توده میکروبی فسفر و نسبت اینورتاز به زیست توده میکروبی کربن در رویشگاه با ترکیب تاج پوشش آمیخته با دوگونه مشاهده شد. همچنین نتایج نشان داد بیشترین میزان نسبت اسید فسفاتاز به زیست توده میکروبی کربن در در رویشگاه‌هایی با ترکیب تاج پوشش چهار و دوگونه و سیاه ولیک مشاهده شد. شاخص شانون فعالیت آنزیم در سیاه ولیک بیشترین مقدار را داشت. مطابق با نتایج سایر ویژگی‌های زیستی مورد مطالعه در خاک رویشگاه با ترکیب تاج پوشش آمیخته با چهار گونه بیشترین میزان را داشتند (جدول ۳).

جدول ۳. ویژگی‌های زیستی خاک در ارتباط با رویشگاه‌های مورد مطالعه

متغییرهای محیطی	رویشگاه با چهار گونه	رویشگاه با سه گونه	رویشگاه با دو گونه	سیاه ولیک	زرشک	مقدار F	مقدار معنی‌داری
زیست توده ریز ریشه ($g\ m^{-2}$)	۸۳/۵±۱۰/۱۰^{a}	۶۷/۳±۱۵/۸۰^{b}	۵۶/۳±۱۱/۵۰^{c}	۴۰/۱±۰۲/۵۸^{d}	۲۹/۳±۴۰/۰۰^{e}	۳۵/۴۲۰	۰/۰۰۰
تعداد کرم‌های برون خاکی ($n\ m^{-2}$)	۱/۰±۴۰/۲۵^{a}	۱/۰±۰۷/۲۳^{a}	۰/۰±۵۳/۱۹^{b}	۰/۰±۲۰/۱۱^{b}	۰/۰±۱۳/۰۹^{b}	۸/۷۸۲	۰/۰۰۰
زیست توده کرم‌های برون خاکی ($mg\ m^{-2}$)	۱۵/۲±۴۲/۷۴^{a}	۱۰/۱±۵۶/۹۴^{a}	۴/۱±۷۸/۷۶^{b}	۲/۱±۱۰/۱۴^{b}	۱/۰±۱۶/۷۹^{b}	۱۱/۲۱۰	۰/۰۰۰
زیست توده کرم‌های حفار ($mg\ m^{-2}$)	۸/۲±۴۰/۳۵^{a}	۴/۱±۲۵/۴۳^{b}	۱/۰±۸۹/۹۰^{b}	۰/۰±۹۰/۵۵^{b}	۰/۰±۵۹/۳۴^{b}	۵/۹۵۲	۰/۰۰۰**

ادامه جدول ۳. ویژگی‌های زیستی خاک در ارتباط با رویشگاه‌های مورد مطالعه

متغییرهای محیطی	رویشگاه با چهار گونه	رویشگاه با سه گونه	رویشگاه با دو گونه	سیاه ولیک	زرشک	مقدار F	مقدار معنی‌داری
تعداد کرم‌های درون خاکی ($n\ m^{-2}$)	۰/۰±۷۳/۲۸^{a}	۰/۰±۴۷/۲۲^{a}	۰/۰±۲۰/۱۱^{a}	۰/۰±۲۰/۱۱^{a}	۰/۰±۲۰/۱۱^{a}	۱/۷۶۴	۰/۱۴۶^{ns}
زیست توده کرم‌های درون خاکی ($mg\ m^{-2}$)	۷/۲±۴۸/۴۵^{a}	۳/۱±۹۰/۶۱^{ab}	۱/۰±۰۲/۶۷^{b}	۰/۰±۹۲/۵۴^{b}	۰/۰±۸۴/۴۶^{b}	۴/۴۰۷	۰/۰۰۳**
تعدادکل کرم‌های خاکی ($n\ m^{-2}$)	۳/۰±۰۷/۶۴^{a}	۲/۰±۰۷/۴۸^{ab}	۱/۰±۰/۳۱^{bc}	۰/۰±۶۰/۲۴^{c}	۰/۰±۵۳/۲۲^{c}	۷/۰۵۰	۰/۰۰۰**
زیست توده کل کرم‌های خاکی ($mg\ m^{-2}$)	۳۱/۴±۳۱/۹۹^{a}	۱۸/۲±۷۲/۹۲^{b}	۷/۲±۷۰/۴۰^{c}	۳/۱±۹۲/۶۵^{c}	۲/۱±۵۹/۲۲^{c}	۱۶/۸۸۶	۰/۰۰۰**
کنه($n\ m^{-2}$)	۷۵۸۳۴/۴۸۷۳±۸۰/۷۹^{a}	۶۲۶۲۱/۵۲۴۲±۶۷/۹۳^{b}	۲۷۰۲۵/۲۸۶۰±۸۰/۰۷^{c}	۱۶۶۴۱/۱۲۴۶±۲۰/۷۲^{d}	۱۲۲۱۹/۱۸۵۸±۹۳/۲۱^{d}	۱۵/۳۲۱	۰/۰۰۰**
پادمان ($n\ m^{-2}$)	۴۹۱۹۴/۶۱۹۳±۶۰/۷۳^{a}	۲۸۶۳۴/۳۴۴۰±۸۷/۳۲^{b}	۲۴۷۲۲/۳۶۱۳±۲۷/۸۴^{bc}	۱۷۲۱۷/۱۸۸۶±۴۷/۵۳^{cd}	۹۷۵۷/۲۳۶۳±۸۰/۷۶^{d}	۱۵/۳۲۱	۰/۰۰۰**
تراکم نماتد (در ۱۰۰ گرم خاک)	۵۲۲/۳۰±۶۰/۸۴^{a}	۴۱۲/۲۸±۶۷/۲۹^{b}	۱۸۳/۲۱±۸۰/۰۹^{c}	۱۳۷/۱۱±۰۷/۰۸^{cd}	۹۸/۹±۸۷/۹۹^{d}	۷۱/۶۰۴	۰/۰۰۰**
پروتوزوئر ($\times 10^{2}\ g\ soil^{-1}$)	۵۲۲/۵۹±۳۳/۳۲^{a}	۳۸۲/۵۷±۶۷/۱۳^{b}	۲۷۸/۲۴±۰/۹۴^{bc}	۱۹۶/۱۸±۴۷/۱۶^{cd}	۱۳۶/۱۸±۹۳/۰۲^{d}	۱۷/۲۷۹	۰/۰۰۰**
باکتری ($\times 10^{7}\ g\ soil$)	۷/۰±۱۶/۴۹^{a}	۴/۰±۸۰/۳۸^{b}	۳/۰±۶۴/۳۰^{c}	۳/۰±۰/۲۴^{cd}	۲/۰±۳۱/۴۰^{d}	۲۵/۹۲۹	۰/۰۰۰**
قارچ ($\times 10^{7}\ g\ soil$)	۳/۰±۳۱/۲۰^{a}	۲/۰±۳۶/۱۸^{b}	۱/۰±۳۹/۱۵^{c}	۱/۰±۳۴/۰۹^{c}	۰/۰±۸۰/۱۸^{d}	۳۲/۵۶۹	۰/۰۰۰**
اوره‌آز ($\mu g\ NH4\ +\text{–}N\ g^{-1}\ (2\ h^{-1}$)	۳۱/۳±۰/۱۱^{a}	۲۲/۱±۸۸/۷۰^{b}	۱۷/۱±۸۷/۸۶^{bc}	۱۲/۰±۷۴/۸۵^{cd}	۸/۰±۵۶/۶۹^{d}	۲۲/۳۴۳	۰/۰۰۰**
فسفاتاز اسیدی ($\mu g\ PNP\ g^{-1}\ (h^{-1}$)	۴۸۳/۶۸±۶۷/۱۲^{a}	۳۲۰/۳۱±۳۳/۰۱^{b}	۲۰۹/۳۴±۱۳/۸۱^{c}	۱۹۶/۱۸±۴۰/۳۸^{c}	۱۱۴/۱۲±۸۷/۰۵^{c}	۱۳/۹۱۷	۰/۰۰۰**
آریل‌سولفاتاز ($\mu g\ PNP\ g^{-1}\ h^{-1}$)	۱۹۵/۱۵±۸۷/۳۹^{a}	۱۲۲/۸±۲۷/۶۲^{b}	۸۶/۴±۸۰/۰۴^{c}	۷۲/۴±۸۷/۵۸^{c}	۳۵/۳±۰۷/۱۷^{d}	۵۱/۵۲۱	۰/۰۰۰**
اینورتاز ($\mu g\ Glucose\ g^{-1}\ 3\ h^{-1}$)	۱۸۵/۱۸±۱۳/۴۶^{a}	۱۱۹/۱۸±۰/۱۵^{b}	۹۸/۸±۴۷/۲۸^{bc}	۸۱/۲±۲۰/۷۹^{cd}	۴۷/۴±۵۳/۸۶^{d}	۱۷/۰۷۹	۰/۰۰۰**
میانگین هندسی فعالیت آنزیم‌ها	۵/۰±۴۳/۱۰^{a}	۴/۰±۸۹/۰۸^{b}	۴/۰±۴۷/۰۸^{c}	۴/۰±۳۵/۰۵^{c}	۳/۰±۷۷/۰۵^{d}	۶۸/۵۷۲	۰/۰۰۰**
شاخص شانون آنزیم	۰/۰±۱۶۲/۰۰^{ab}	۰/۰±۱۵۸/۰۰^{bc}	۰/۰±۱۵۶/۰۰^{c}	۰/۰±۱۶۶/۰۰^{a}	۰/۰±۱۵۱/۰۰^{d}	۱۱/۷۱۴	۰/۰۰۰**
تنفس پایه ($mg\ CO_2\ g^{-1}\ day^{-1}$)	۰/۰±۴۹/۰۳^{a}	۰/۰±۳۸/۰۳^{b}	۰/۰±۳۳/۰۳^{b}	۰/۰±۲۲/۰۳^{c}	۰/۰±۱۹/۰۲^{c}	۱۸/۲۷۵	۰/۰۰۰**
تنفس برانگیخته($mg\ CO_2\ g^{-1}\ (day^{-1}$)	۱/۰±۳۸/۰۵^{a}	۱/۰±۱۰/۰۴^{b}	۰/۰±۹۸/۰۶^{bc}	۰/۰±۸۶/۰۶^{bc}	۰/۰±۷۶/۱۵^{c}	۸/۶۴۳	۰/۰۰۰**
زیست توده میکروبی کربن ($mg\ kg^{-1}$)	۵۰۷/۳۷±۱۳/۲۶^{a}	۴۰۹/۳۴±۵۳/۱۰^{b}	۲۱۰/۲۴±۲۷/۲۲^{c}	۱۹۲/۲۳±۴۰/۶۰^{c}	۱۶۶/۱۴±۷۴/۶۹^{c}	۲۹/۴۸۲	۰/۰۰۰**
زیست توده میکروبی نیتروژن ($mg\ kg^{-1}$)	۵۷/۲±۳۳/۹۵^{a}	۴۵/۲±۰۹/۷۴^{b}	۲۰/۲±۵۶/۴۳^{c}	۱۷/۱±۴۹/۸۷^{c}	۱۴/۱±۹۴/۳۸^{c}	۶۵/۵۴۵	۰/۰۰۰**
زیست توده میکروبی فسفر ($mg\ kg^{-1}$)	۷۵/۳±۶۷/۷۳^{a}	۴۹/۴±۲۰/۹۲^{b}	۲۰/۴±۶۷/۲۸^{c}	۱۵/۲±۸۰/۶۵^{c}	۱۴/۱±۱۶/۲۸^{c}	۵۴/۹۵۰	۰/۰۰۰**
ضریب متابولیک ($\mu g\ CO2\text{-}C\ mg^{-1}\ MBC\ day^{-1}$)	۱/۰±۰۶/۱۱^{a}	۱/۰±۰/۰۹^{a}	۱/۰±۷۸/۲۱^{a}	۱/۰±۵۳/۲۷^{a}	۱/۰±۴۷/۳۹^{a}	۱/۸۹۱	۰/۱۲۲ ^{ns}
سهم میکروبی ($mg\ Cmic\ g^{-1}\ Corg$)	۱۲۷/۸±۹۷/۹۲^{a}	۱۲/۱۱±۶۳/۴۱^{a}	۷۵/۷±۵۷/۸۷^{b}	۷۹/۹±۸۱/۷۳^{b}	۱۰۰/۱۶±۷۰/۰۰^{ab}	۴/۸۷۵	۰/۰۰۲**
شاخص دردسترس بودن کربن ($mg\ CO_2\ g^{-1}\ day^{-1}$)	۰/۰±۳۶/۰۲^{a}	۰/۰±۳۵/۰۳^{a}	۰/۰±۳۹/۰۸^{a}	۰/۰±۲۹/۰۵^{a}	۰/۰±۵۱/۱۲^{a}	۱/۲۸۰	۰/۲۸۶ ^{ns}
نسبت اوره‌آز به کربن آلی	۷/۰±۹۸/۹۲^{a}	۷/۰±۰۸/۶۴^{ab}	۶/۰±۴۲/۶۲^{ab}	۵/۰±۳۵/۴۷^{b}	۵/۰±۰۲/۷۱^{b}	۳/۱۴۳	۰/۰۲۰*

ادامه جدول ۳. ویژگی‌های زیستی خاک در ارتباط با رویشگاه‌های مورد مطالعه

نسبت اسیدفسفاتاز به کربن آلی اسید	۱۲۱/۱۶±۲۲/۰۳^{a}	۱۰۰/۱۱±۰/۴۸^{ab}	۷۸/۱۵±۶۲/۶۸^{c}	۷۹/۵±۵۱/۷۰^{c}	۷۰/۱۱±۰۹/۳۰^{c}	۲/۶۹۱	۰/۰۳۸*
نسبت آریل‌سولفاتاز به کربن آلی	۵۱/۵±۵۳/۳۱^{a}	۳۷/۲±۶۹/۸۸^{b}	۳۲/۲±۱۳/۲۵^{bc}	۳۱/۳±۳۵/۲۶^{bc}	۲۳/۴±۳۵/۴۶^{c}	۷/۵۸۸	۰/۰۰۰**
نسبت اینورتاز به کربن آلی	۴۸/۶±۷۶/۰۸^{a}	۳۶/۵±۸۴/۹۹^{ab}	۳۶/۴±۷۳/۱۹^{ab}	۳۳/۲±۹۳/۰۷^{b}	۲۶/۳±۱۸/۴۷^{b}	۳/۰۹۰	۰/۰۲۱*
نسبت اوره‌آز به زیست توده میکروبی کربن	۰/۰±۰۷/۰۱^{a}	۰/۰±۰۶/۰۱^{a}	۰/۰±۱۰/۰۲^{a}	۰/۰±۰۸/۰۱^{a}	۰/۰±۰۶/۰۱^{a}	۱/۸۹۷	۰/۱۲۱ ^{ns}
نسبت اسید فسفاتاز به زیست توده میکروبی کربن	۱/۰±۰۱/۱۵^{a}	۰/۰±۸۸/۱۲^{a}	۱/۰±۱۰/۱۸^{a}	۱/۰±۲۴/۱۸^{a}	۰/۰±۸۰/۱۴^{a}	۱/۲۳۵	۰/۳۰۴ ^{ns}
نسبت آریل‌سولفاتاز به زیست توده میکروبی کربن	۰/۰±۴۴/۰۷^{a}	۰/۰±۳۳/۰۴^{ab}	۰/۰±۴۹/۰۶^{a}	۰/۰±۴۷/۰۶^{a}	۰/۰±۲۵/۰۴^{b}	۳/۶۳۰	۰/۰۱۰*
نسبت اینورتاز به زیست توده میکروبی کربن	۰/۰±۳۹/۰۵^{bc}	۰/۰±۳۳/۰۶^{bc}	۰/۰±۵۷/۰۹^{a}	۰/۰±۵۰/۰۵^{ab}	۰/۰±۳۱/۰۴^{c}	۳/۵۹۵	۰/۰۱۰*
نسبت زیست توده میکروبی نیتروژن به نیتروژن کل	۱۵۱/۱۵±۶۲/۹۳^{a}	۱۵۸/۱۷±۴۱/۶۰^{a}	۸۹/۱۴±۲۸/۳۰^{b}	۸۲/۹±۵۸/۵۳^{b}	۹۷/۱۳±۷۷/۵۶^{b}	۶/۲۷۰	۰/۰۰۰**
نسبت زیست توده میکروبی فسفر به فسفر	۲/۰±۲۸/۱۴^{a}	۱/۰±۶۵/۱۷^{b}	۱/۰±۰۱/۳۲^{c}	۰/۰±۹۵/۱۸^{c}	۰/۰±۹۳/۱۴^{c}	۸/۸۱۸	۰/۰۰۰**
نسبت زیست توده میکروبی کربن به زیست توده میکروبی فسفر	۷/۰±۰۸/۷۴^{c}	۹/۱±۵۰/۱۶^{bc}	۱۴/۲±۸۴/۵۱^{a}	۱۴/۱±۳۹/۴۱^{ab}	۱۳/۲±۸۸/۱۰^{ab}	۴/۰۸۶	۰/۰۰۵**
نسبت زیست توده میکروبی کربن به زیست توده میکروبی نیتروژن	۹/۰±۲۲/۷۹^{a}	۹/۱±۸۱/۳۱^{a}	۱۱/۱±۳۲/۲۸^{a}	۱۱/۱±۹۲/۳۴^{a}	۱۲/۱±۰۵/۴۴^{a}	۱/۰۴۲	۰/۳۹۲^{ns}
نسبت زیست توده میکروبی نیتروژن به زیست توده میکروبی فسفر	۰/۰±۷۹/۰۶^{a}	۱/۰±۰۸/۱۴^{a}	۱/۰±۴۹/۲۷^{a}	۱/۰±۴۸/۲۵^{a}	۱/۰±۲۵/۲۱^{a}	۲/۱۳۰	۰/۰۸۶^{ns}

هر داده نشان دهنده میانگین (خطای معیار ± (n=۱۵)) است.*، **، به ترتیب نشان دهنده ی معنی‌داری در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد، ns نشان دهنده عدم معنی‌داری و حروف مختلف نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار (P<0.05) بین رویشگاه‌ها است.

ارتباط ویژگی‌های لاشبرگ و ویژگی‌های خاک در ارتباط با درختچه‌های مورد مطالعه

بر اساس تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) محورهای اول و دوم، به دلیل دارا بودن بیشترین مقدار ارزش ویژه و درصد تبیین واریانس به‌ترتیب ۴۱ و ۹/۱ برای تبیین نتایج انتخاب شدند. نمودار تجزیه و تحلیل PCA نشان داد که قطعات نمونه بر اساس ترکیب‌های مختلف تاج پوشش تفکیک شده‌اند (شکل۲). بر این اساس الگوی تفکیک واضحی بین رویشگاه‌ها وجود داشت که بر اساس آن قطعات نمونه در رویشگاه‌هایی با چهار و سه گونه با رویشگاه‌های زرشک و سیاه ولیک به طور مشخص قابل تفکیک می‌باشند. نتایج بیانگر کیفیت خوب خاک، تجمع عناصر غذایی و فعالیت زیستی بیشتر در رویشگاه با ترکیب تاج پوشش چهار گونه می‌باشد. این درحالیست که رویشگاه‌های با غالبیت زرشک و سیاه ولیک با شن، جرم مخصوص ظاهری، دمای خاک در ارتباط بودند و از کیفیت و عناصر غذایی کمتری برخوردار بودند که در راستای نتایج مقایسه میانگین بود (شکل ۲).

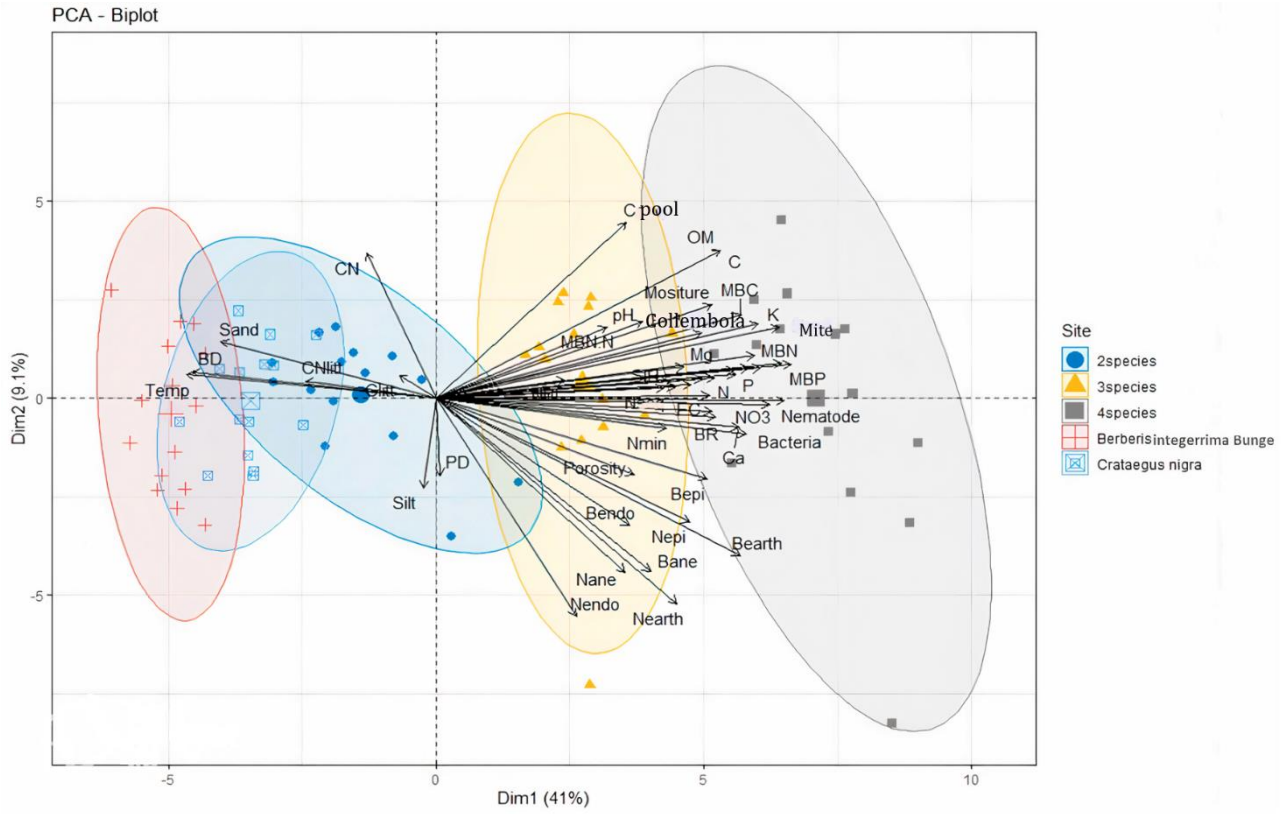
بحث و نتیجه‌گیری

ویژگی‌های لاشبرگ

پوشش‌های مختلف اراضی می‌توانند ویژگی‌های مختلف لاشبرگ را تحت تأثیر قرار دهند. در همین راستا نتایج تحقیق حاضر نشان داد که در رویشگاه‌های با ترکیب پوشش متفاوت اختلاف معنی‌داری از نظر نسبت کربن به نیتروژن در لاشبرگ‌های سطحی وجود دارد. بررسی

جدول٤. ضریب همبستگی متغیرهای مورد بررسی با محورهای اول و دوم PCA

محور۱				محور ۲			
متغیر	ضریب همبستگی	p.value	متغیر	ضریب همبستگی	p.value	متغیر	ضریب همبستگی	p.value
زیست توده میکروبی فسفر	۰/۸۸۶	< ۰/۰۰۱	زیست توده برون خاکی	۰/۶۷۷	< ۰/۰۰۱	ذخیره کربن	۰/۵۹۶	< ۰/۰۰۱
تراکم نماتد	۰/۸۶۹	< ۰/۰۰۱	پادمان	۰/۶۶۴	< ۰/۰۰۱	کربن آلی	۰/۵۰۳	< ۰/۰۰۱
زیست توده میکروبی نیتروژن	۰/۸۶۴	< ۰/۰۰۱	نسبت زیست توده میکروبی فسفر بر فسفر	۰/۶۳۷	< ۰/۰۰۱	نسبت کربن به نیتروژن	۰/۴۹۲	< ۰/۰۰۱
کنه	۰/۸۵۷	< ۰/۰۰۱	تعداد برون خاکی	۰/۶۳۳	< ۰/۰۰۱	رطوبت	۰/۳۱۷	< ۰/۰۰۱
نیترات	۰/۸۳۲	< ۰/۰۰۱	منیزیم	۰/۶۱۹	< ۰/۰۰۱	زیست توده میکروبی کربن	۰/۲۸۳	۰/۰۱۴
زیست توده ریز ریشه	۰/۸۱۰	< ۰/۰۰۱	تعداد کل کرم‌های خاکی	۰/۶۰۲	< ۰/۰۰۱	pH	۰/۲۵۹	۰/۰۲۴
پتاسیم	۰/۸۰۵	< ۰/۰۰۱	تنفس برانگیخته	۰/۵۹۸	< ۰/۰۰۱	پتاسیم	۰/۲۵۳	۰/۰۲۸
قارچ	۰/۷۹۵	< ۰/۰۰۱	شدت معدنی‌شدن خالص نیتروژن	۰/۵۷۳	< ۰/۰۰۱	نسبت زیست توده میکروبی نیتروژن به نیتروژن	۰/۲۴۱	۰/۰۳۶
رس	۰/۷۸۰	< ۰/۰۰۱	ذخیره نیتروژن	۰/۵۶۹	< ۰/۰۰۱	کنه	۰/۲۴۰	۰/۰۳۷
باکتری	۰/۷۷۵	< ۰/۰۰۱	زیست توده کرم‌های حفار	۰/۵۳۵	< ۰/۰۰۱	تخلخل خاک	۰/۲۵۹	۰/۰۲۴
زیست توده میکروبی کربن	۰/۷۶۱	< ۰/۰۰۱	pH	۰/۵۱۵	< ۰/۰۰۱	جرم مخصوص‌حقیقی	−۰/۲۶۰	۰/۰۲۳
زیست توده کل کرم‌های خاکی	۰/۷۵۹	< ۰/۰۰۱	تخلخل خاک	۰/۴۹۴	< ۰/۰۰۱	زیست توده برون خاکی	−۰/۲۷۳	۰/۰۱۷
کلسیم	۰/۷۵۶	< ۰/۰۰۱	زیست توده کرم‌های درون خاکی	۰/۴۸۲	< ۰/۰۰۱	سیلت	−۰/۳۰۶	۰/۰۰۷
فسفر	۰/۷۴۷	< ۰/۰۰۱	ذخیره کربن	۰/۴۷۴	< ۰/۰۰۱	تعداد کرم‌های برون خاکی	−۰/۴۲۱	< ۰/۰۰۱
پایداری خاکدانه	۰/۷۴۶	< ۰/۰۰۱	تعداد کرم‌های حفار	۰/۴۷۱	< ۰/۰۰۱	زیست توده کرم‌های درون خاکی	−۰/۴۳۲	< ۰/۰۰۱
کربن آلی	۰/۷۱۰	< ۰/۰۰۱	نسبت زیست توده میکروبی نیتروژن به نیتروژن	۰/۴۲۵	< ۰/۰۰۱	زیست توده کل کرم‌های خاکی	−۰/۵۳۴	< ۰/۰۰۱
تنفس پایه	۰/۶۹۸	< ۰/۰۰۱	تعداد کرم‌های درون خاکی	۰/۳۴۹	< ۰/۰۰۱	زیست توده کرم‌های حفار	−۰/۵۸۸	< ۰/۰۰۱
پروتوزوئر	۰/۶۹۶	< ۰/۰۰۱	نیتروژن لاشبرگ	۰/۳۱۲۱	۰/۰۰۵	تعداد کرم‌های حفار	−۰/۵۸۹	< ۰/۰۰۱
آمونیوم	۰/۶۶۵	< ۰/۰۰۱	نسبت کربن به نیتروژن لاشبرگ	−۰/۳۲۷	۰/۰۰۴	تعداد کل کرم‌های خاکی	−۰/۶۹۷	< ۰/۰۰۱
هدایت‌الکتریکی	۰/۶۹۰	< ۰/۰۰۱	شن	−۰/۵۳۷	< ۰/۰۰۱	تعداد کرم‌های درون خاکی	−۰/۷۴۱	< ۰/۰۰۱
رطوبت خاک	۰/۶۸۸	< ۰/۰۰۱	جرم مخصوص‌ظاهری	−۰/۶۰۹	< ۰/۰۰۱			
نیتروژن	۰/۶۸۳	< ۰/۰۰۱	دمای خاک	−۰/۶۲۴	< ۰/۰۰۱			



شکل ۱. ویژگی‌های لاشبرگ و خاک در ارتباط با درختچه‌های مورد مطالعه . C litter: کربن لاشبرگ، N litter: نیترون لاشبرگ؛ C/N litter: نسبت کربن به نیتروژن لاشبرگ؛ PD: جرم مخصوص حقیقی خاک؛ Porosity: تخلخل خاک؛ Mositure: محتوای رطوبت؛ Sand: درصد شن، Silt: درصد سیلت؛ Temp: دمای خاک؛pH: واکنش خاک؛ EC: هدایت الکتریکی خاک؛ BD: جرم مخصوص ظاهری خاک؛ C: کربن آلی؛ Cpool: ذخیره کربن، N: نیتروژن؛ Npool: ذخیره نیتروژن، C/N: نسبت کربن به نیتروژن خاک؛ P: فسفرقابل جذب؛ K: پتاسیم قابل جذب؛ Ca: کلسیم قابل جذب؛ Mg: منیزیم قابل جذب؛ FBR: زیست توده ریز ریشه؛ Nepi: تعداد کرم‌های برون خاکی ؛ Bepi: زیست توده کرم‌های برون خاکی ؛ Nane: تعداد کرم‌های حفار؛ Bane: زیست توده کرم‌های حفار ؛ Nendo: تعداد کرم‌های درون خاکی؛ Bendo: زیست توده کرم‌های درون خاکی؛ Nearth: تعداد کرم‌های خاکی؛ Bearth: زیست توده کرم‌های خاکی؛ Mite: کنه؛ Collembola: پادمان؛ Nematod density: تراکم نماتد؛ Protozoer: پروتوزوئر؛ Bacteria: باکتری؛ Fungi: قارچ؛ Nmin: شدت معدنی‌شدن خالص نیتروژن؛ NH4: آمونیوم؛ NO3: نیترات؛ BR: تنفس پایه؛ SIR: تنفس برانگیخته؛ MBC: زیست توده میکروبی کربن؛ MBN: زیست توده میکروبی نیتروژن؛ MBN/Total N: نسبت زیست توده میکروبی نیتروژن به نیتروژن کل؛ MBP: زیست توده میکروبی فسفر؛ 2 species: پوشش درختچه‌ای آمیخته از سیاه ولیک و زرشک؛ 3 species: پوشش درختچه‌ای آمیخته از سیاه ولیک، زرشک و گالش انگور؛ 4 species: پوشش‌درختچه‌ای آمیخته از سیاه ولیک، زرشک، گالش انگور و آلوچه وحشی؛ Berberis integerrima Bunge: پوشش درختچه‌ای با غالبیت زرشک؛ Crataegus nigra: پوشش درختچه‌ای با غالبیت سیاه ولیک.

پیشین نیز نشان می‌دهند که انواع مختلف پوشش گیاهی می‌تواند بر خصوصیات خاک و عملکرد اکوسیستم تأثیرگذار باشد (Dong et al., 2022; Heděnec et al., 2023) چرا که با توجه به متفاوت بودن ماهیت گونه‌ها، خاصیت و نوع لاشبرگ‌ها در انواع مختلف پوشش گیاهی متفاوت خواهد بود (Mohmedi Kartalaei et al., 2023). یکی از بهترین پیش‌بینی کننده‌های نرخ تجزیه در لاشبرگها، نسبت کربن به نیتروژن است (Wang et al., 2007). براساس نتایج مطالعه حاضر بیشترین میزان نسبت کربن به نیتروژن لاشبرگ در رویشگاه با غالبیت زرشک و کمترین آن در رویشگاه با چهار گونه مشاهده شد. مطالعات کیان‌مهر و همکاران (۱۳۹۸) و Kooch و Dolat Zarei (۲۰۲۳) نیز بالاترین میزان نرخ کربن به نیتروژن را در پوشش‌های گیاهی منفرد نشان داد. به طور کلی ترکیب آمیخته از گونه‌های گیاهی بر کیفیت لاشبرگ اثرگذار است (Binkley and Fisher, 2013) و منجر به افزایش کیفیت لاشبرگ، کیفیت غذایی و حاصلخیزی خاک رویشگاه به واسطه کربن و نیتروژن بیشتر و نسبت کربن به نیتروژن پایین‌تر می‌شود (Piao et al., 2006).

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

نوع پوشش گیاهی نقش برجسته‌ای را برای عملکردهای اکوسیستم، تعیین تولید اولیه، تجزیه مواد آلی و چرخه‌های غذایی ایفا می‌کند و تغییرات در انواع پوشش گیاهی می‌تواند باعث تغییر در ویژگی‌های خاک شود (Kooch and Noghre., 2020). در این راستا نتایج مطالعه

حاضر نشان داد که در رویشگاه‌هایی با ترکیب مختلف تاج پوشش از نظر ویژگی‌های خاک اختلاف معنی‌داری وجود دارد. طبق نتایج بدست آمده، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد بررسی، در پوشش درختچه‌ای با چهار گونه در مقایسه با سایر رویشگاه‌های مورد مطالعه، از وضعیت بهتری برخوردار بود. این درحالیست که خاک در رویشگاه‌های با غالبیت زرشک و سیاه ولیک وضعیت مناسبی نداشت. ترکیب گونه‌های مختلف گیاهی به طور قابل توجهی با ویژگی‌های خاک همبستگی دارد (Zarafshar et al., 2024). pH خاک می‌تواند سبب تفاوت در نرخ تجزیه عناصر غذایی خاک در نتیجه تأثیر گونه‌های گیاهی شود (Mohr et al., 2005). در این راستا مقایسه مقدار pH در رویشگاه‌های مورد بررسی در مطالعه حاضر نشان داد که رویشگاه‌های آمیخته (با چهار و سه گونه) مقدار pH بالاتری داشتند که باعث شده میزان تجزیه لاشبرگ سریعتر و غلظت عناصر قلیایی در خاک این رویشگاه‌ها بیشتر باشد. این در حالیست که خاک رویشگاه با غالبیت زرشک و سیاه ولیک و آمیخته با دو گونه کمترین مقدار pH را داشتند که نشان‌دهنده کیفیت کم لاشبرگ در این گونه‌ها است که سبب کند بودن فرآیند تجزیه در برگ‌ها می‌شود، بدین علت که هرچه خاک اسیدی‌تر باشد، نرخ تجزیه و سرعت فرآیند تجزیه لاشبرگ کندتر خواهد بود (کیان‌مهر و همکاران، ۱۳۹۸).

میزان کربن آلی و ذخیره کربن در رویشگاه با چهار گونه بیشتر از سایر رویشگاه‌ها بود. مطالعات نشان می‌دهد که نوع پوشش گیاهی بر مقدار ذخیره کربن خاک اثر می‌گذارد؛ به‌طوری که تغییر در مقدار ذخیره کربن خاک، به مقدار ورودی کربن به خاک از راه بقایای گیاهی و هدر رفت کربن از راه تجزیه بستگی دارد. (Dinakaran and krishnayya, 2008) وجود بقایای آلی بیشتر در رویشگاه‌های با چهار گونه یکی از دلایل بالاتر بودن میزان کربن و ذخیره کربن در این رویشگاه‌ها می‌باشد. همچنین مطالعات نشان می‌دهد ذخیره کربن خاک اثرات متقابلی با جرم مخصوص ظاهری و تخلل خاک دارد. به طوری که از طرفی با افزایش ماده‌آلی، جرم مخصوص ظاهری خاک کاهش و درصد منافذ و نفوذپذیری خاک افزایش پیدا می‌کند و از طرف دیگر به این طریق ممکن است سبب کاهش رواناب شود و در نتیجه موجب کاهش هدر رفت کربن از طریق فرسایش گردد (افزایش ذخایر کربن آلی در نتیجه کاهش فرسایش ناشی از کاهش جرم مخصوص ظاهری و افزایش نفوذپذیری) (Perie and Ouimet, 2008). درصد رس نیز در ذخیره کربن اثرگذار است، به‌طوریکه در خاک‌های با درصد رس بیشتر، به علت چسبندگی ذرات خاک حجم هدر رفت کربن کمتر و این موضوع باعث افزایش ذخایر کربن خاک می‌شود (Jimenez et al., 2011). مطابق با نتیجه مطالعه حاضر، میزان رطوبت خاک نیز در رویشگاه با چهار گونه بیشترین میزان را دارد. از دلایل بیشتر بودن درصد رطوبت در این رویشگاه می‌توان افزایش ماده‌آلی را نام برد چرا که با افزایش ماده‌آلی درصد رطوبت در خاک نیز افزایش می‌یابد (اصغری سرخی و همکاران،۱۳۹۴). پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که وجود جوامع مختلف پوشش گیاهی می‌تواند میزان درصد شن را کاهش و درصد سیلت و رس را افزایش دهد (Xia et al., 2020). در این راستا در مطالعه حاضر رویشگاه با با چهار گونه بیشترین میزان رس را داشت. افزایش میزان مواد آلی و رس، سبب افزایش تخلخل و پایداری خاکدانه می‌شود و به دنبال آن جرم مخصوص ظاهری خاک کاهش می‌یابد (Sullivan et al., 2020) این روند در نتایج مطالعه حاضر نیز مشاهده شد، به طوری که در خاک تحت پوشش رویشگاه با چهار گونه به علت وجود مواد آلی کافی و رس کمترین مقدار جرم مخصوص ظاهری خاک مشاهده شد که در راستای مطالعه Zhang و همکاران (۲۰۲۲) می‌باشد.

در انواع پوشش‌های اراضی با توجه به ساختمان خاک، تجمع کربن و نیتروژن، درصد ماکرو و میکروخاکدانه‌ها متفاوت است (Tong et al., 2021; Zhao et al., 2021). بنابراین تغییرپذیری محتویات کربن و نیتروژن متغیر و تابعی از شرایط رویشگاه و نوع پوشش گیاهی می‌باشد (Sofo et al., 2020). نیتروژن یک جزء مهم از ماده‌آلی خاک می‌باشد که غلظت آن در بین پوشش‌های مختلف، متفاوت است (Kooch et al., 2023). مطالعه حاضر نشان داد که نیتروژن کل، شدت معدنی‌شدن خالص نیتروژن، ذخیره نیتروژن، نیتروژن ذره‌ای و محلول آلی، آمونیوم و نیترات تحت تأثیر تاج پوشش قرار داشتند و بیشترین میزان آنها در رویشگاه با چهار گونه مشاهده شد که نشان دهنده اثر بهتر پوشش درختچه‌ای متشکل از چند گونه بر ذخیره نیتروژن می‌باشد. از دلایل افزایش ذخیره نیتروژن در این رویشگاه می‌توان به بالا بودن میزان پوشش گیاهی و حجم زیاد ورود لاشبرگ اشاره کرد (Sharrow and Ismail, 2004). مقدار نیتروژن آلی ذره‌ای و محلول نیز می‌تواند تحت تأثیر نوع ساختار تاج پوشش قرار گیرد (Kooch et al., 2021). مقادیر بیشتر میزان کربن و نیتروژن در رویشگاه‌هایی با چهار گونه درختچه‌ای احتمالاً سبب بیشتر بودن میزان نیتروژن و کربن آلی محلول در این رویشگاه‌ها شده است (Cheng et al., 2015). این یافته‌ها حاکی از اثرات مثبت مدیریت خاک توسط درختچه‌ها در اکوسیستم‌های مرتعی نیمه خشک ایران به دلیل بهبود کربن و نیتروژن آلی محلول است که سبب افزایش حاصلخیزی و بهره‌وری در این رویشگاه‌ها شده است (Ajorlo et al., 2011). علاوه بر این، تغییرات در انواع مختلف پوشش گیاهی در رویشگاه‌های مورد مطالعه با ورودی‌های مختلف مواد آلی (Malek Poor et al., 2012) به طور قابل‌توجهی

بر میزان نیتروژن و کربن آلی محلول خاک تأثیر گذاشته است (Cui et al., 2019). همچنین افزایش نیتروژن آلی محلول تحت پوشش گیاهی با چهار گونه می‌تواند در ارتباط با نیتروژن لایه معدنی در این رویشگاه باشد (Fouché et al., 2020). در راستای نتایج مطالعه حاضر، قادری و کوچ (۱۴۰۰) میزان شدت معدنی‌شدن خالص نیتروژن خاک در رویشگاه‌های با ترکیب مختلف پوشش گیاهی را بیشتر از ترکیب گیاهی خالص گزارش دادند. Liao و همکاران (۲۰۱۲) نیز بیشتر بودن شدت معدنی‌شدن خالص نیتروژن در توده‌های آمیخته را به علت نیتروژن بیشتر لاشبرگ و سرعت بیشتر تجزیه مواد آلی در این توده‌ها دانستند. مطالعات پیشین اشاره داشتند که مقادیر نیترات و آمونیوم خاک با تغییرات پوشش گیاهی تغییرات معنی‌داری را نشان می‌دهند و غلظت این عناصر در توده‌های آمیخته بیشتر از خالص است (کریمیان و همکاران، ۱۳۹۸؛قادری و کوچ، ۱۴۰۰). نیتروژن خاک می‌تواند سهم بسزایی در تجمع و افزایش نیترات خاک داشته باشد (Hu et al., 2010). مطابق با نتایج مطالعه حاضر نیتریفیکاسیون و شدت معدنی‌شدن خالص نیتروژن در رویشگاه‌های با ترکیب چند گونه نسبت به رویشگاه‌هایی با غالبیت تک گونه بیشتر بود. رویشگاهی که بیشترین میزان نیتروژن را داشت از نظر نیترات و آمونیوم نیز غنی‌تر از سایر رویشگاه‌ها بود. نتایج PCA نیز مؤید بالاتر بودن میزان نیتروژن ، ذخیره نیتروژن، شدت معدنی‌شدن خالص نیتروژن و نیترات و آمونیوم را در رویشگاه با چهار گونه می‌باشد. این نتایج نشان از اثرات معنی‌دار نوع پوشش گیاهی بر تغییرپذیری میزان آمونیوم و نیترات خاک است. به عبارتی نتایج نشان‌دهنده اثرات مثبت پوشش با ترکیب چند درختچه بر انباشت محتویات آمونیوم و نیترات خاک نسبت به پوشش‌های منفرد است. نیتروژن معدنی (نیترات و آمونیوم) منبع اصلی قابل دسترسی برای جذب در طول دوره رشد می‌باشد. شدت معدنی‌شدن خالص نیتروژن خاک (تولید آمونیوم و نیترات از نیتروژن آلی) تحت تأثیر نوع و ترکیب گونه‌های گیاهی قرار دارد (Ghaderi and Kooch, 2021) تفاوت گونه‌های مختلف در فرآیند تولید نیترات و آمونیوم خاک در مطالعات قبلی گزارش شده است (Zhan-Yuan et al., 2008). به همین دلیل بستر رویشگاه به عنوان محل تجمع مواد آلی جز اصلی تحول نیتروژن خاک به حساب می‌آید و و حضور ماده آلی با کیفیت‌های متنوع فرآیند شدت معدنی‌شدن خالص نیتروژن را به طور مستقیم تحت تأثیر قرار می‌دهد (Li et al., 2014). با توجه به اینکه، این ویژگی‌های خاک با میزان نیتروژن کل و pH خاک ارتباط مستقیم دارند (Li et al., 2016)؛ افزایش آمونیوم و نیترات تحت پوشش‌های گیاهی با ترکیب چهارگونه می‌تواند به واسطه تجمع بیشتر نیتروژن کل و مقادیر بالاتر pH در خاک این نوع از پوشش اراضی باشد. همچنین همبستگی بالای میزان رس و pH خاک با میزان شدت معدنی‌شدن خالص نیتروژن را به اثبات رسیده است (Qiu et al. 2015). همراستا با این مطالعه، اراضی پوشیده شده با چهارگونه درختچه‌ای با افزایش میزان رس، pH خاک و نیتروژن کل خاک شرایط مساعدتری را برای فعالیت‌های میکروبی مؤثر در فرآیند شدت معدنی‌شدن خالص نیتروژن خاک فراهم آورده است.

انواع پوشش گیاهی ممکن است به میزان قابل توجهی بر حاصلخیزی خاک اثر بگذارند. براساس نتایج بیشترین میزان فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در رویشگاه با چهار گونه و کمترین آنها در رویشگاه‌ها با غالبیت زرشک و سیاه ولیک مشاهده شد. در این راستا Kazmierczak و همکاران (۲۰۲۴) بیشتر بودن نیتروژن و فسفر را در توده مخلوط گزارش کردند. با توجه به اینکه اثر گونه‌های درختچه‌ای بر ویژگی‌های محیط خاک عمدتاً به خواص شیمیایی خاک درختچه بستگی دارد و سبب تغییر در مشخصات شیمیایی خاک می‌شود (Idbella et al., ۲۰۲۲). در شرایط رویشگاهی یکسان رویشگاهی آمیخته با چهار گونه از میزان کلسیم بالاتری نسبت به سایر توده‌ها برخوردا بودند (Kooch et al., 2023). از دلایل افزایش عناصر کلسیم و منیزیم خاک را می‌توان افزایش رس خاک دانست، به طوری که این عناصر با بار مثبت توسط بار منفی رس جذب می‌شوند و بر روی سطوح رس‌ها ذخیره می‌شوند (فرهادی‌فر و همکاران، ۱۳۹۹). در تحلیل PCA نیز ذخایر عناصر غذایی کربن، نیتروژن، فسفر، کلسیم منیزیم، پتاسیم در یک گروه قرار گرفته و مربوط به رویشگاه با چهارگونه می‌باشند که نشان دهنده حاصلخیزی خاک در این رویشگاه بوده و دراستای نتایج مقایسه میانگین می‌باشد.

ویژگی‌های زیستی خاک

ویژگی‌های زیستی خاک تحت تأثیر نوع پوشش گیاهی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، قرار می‌گیرند (Sohrabi et al., 2022). مطالعات نشان می‌دهد که وجود پوشش گیاهی مختلف، به طور مستقیم و غیرمستقیم، عملکردهای مختلف زیست محیطی را در خاک ایجاد و ترکیبی از ویژگی‌های خاک را در یک رویشگاه به وجود می‌آورند (Mulia et al, 2021). ویژگی‌های زیستی در مقایسه با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک به تغییر پوشش‌های گیاهی حساس‌تر و سریعتر واکنش نشان می‌دهند و شاخص‌های مناسبی برای ارزیابی کیفیت و سلامت خاک هستند (Zahedifar et al., 2023). مطابق با نتایج این پژوهش زیست توده ریز ریشه تفاوت معنی‌داری در بین پوشش‌های مختلف درختچه‌ای نشان داد و در پوشش با چهار گونه بیشترین میزان را داشت. از دلایل تغییرات میزان زیست توده ریز ریشه در ترکیب‌های مختلف پوشش گیاهی می‌توان به تفاوت در نوع گونه و پوشش گیاهی مربوط دانست. به طوری که رویشگاه با پوشش گیاهی چهار گونه،

با افزایش رشد و گسترش ریشه‌های خود در مقایسه با سایر ترکیب‌های پوشش گیاهی، زیست توده ریز ریشه بیشتری را به خود اختصاص داد. واکنش ریشه در پاسخ به وفور عناصر غذایی در خاک نیز یکی از دلایل می‌باشد؛ چرا که ریز ریشه‌های گیاهان جهت دسترسی بیشتر به عناصر غذایی مورد نیاز خود در سطح بیشتری از خاک گسترش پیدا می‌کنند (Yuan and Chen, 2010). در یک بررسی توسط Augusto و همکاران (۲۰۱۵) به نقش حاصلخیزی خاک در افزایش زیست توده ریز ریشه تأکید شد.

پوشش گیاهی، ضمن اثر بر بقایای گیاهی و ویژگی‌های خاک در اکوسیستم، قادر است بر تراکم ارگانیسم‌های خاک به طور مستقیم اثر بگذارد (Berkelmann et al., 2020). بدین طریق گونه‌های گیاهی به واسطه کیفیت لاشبرگ و مواد آلی به صورت مستقیم و از طریق حفاظت خاک، جذب آب و مواد غذایی و ایجاد سایه به صورت غیرمستقیم بر فراوانی و زیست توده کرم‌های خاکی اثرمی‌گذارند (Neher, 1999). براین اساس نتایج مطالعه حاضر نشان داد که کمترین تعداد و زیست توده کرم‌های خاکی در رویشگاه‌های با غالبیت سیاه ولیک و زرشک و بیشترین میزان آن‌ها در رویشگاه با چهار گونه مشاهده شد. افزایش تنوع پوشش گیاهی باعث افزایش فراوانی ارگانیسم‌های خاک می‌شود (Kooch and Noghre, 2020 ; Bazyari et al., 2021). مطالعات نشان می‌دهد که تفاوت در کیفیت خاک پوشش‌های گیاهی مختلف می‌تواند باعث تغییرات قابل توجهی در فعالیت موجودات زنده خاک شود (Salehi et al., 2013). مطالعه ما نشان داد که کمترین میزان نسبت کربن به نیتروژن خاک و لاشبرگ در رویشگاه آمیخته با چهار گونه وجود داشت. بنابراین رویشگاه با چهار گونه درختچه‌ای با جرم مخصوص ظاهری کمتر، رطوبت و مواد مغذی بیشتر و نسبت کربن به نیتروژن پایین‌تر، موجودات خاک شامل کرم‌های خاکی (برون خاکی، حفار و درون خاکی)، جمعیت کنه‌ها، پادمان قارچ، باکتری، پروتوزوئر را به طور قابل توجهی افزایش داده است. در پژوهش Tucker Serniak (۲۰۱۷) حضور کرم‌های خاکی در مناطقی با عناصر غذایی غنی و لاشبرگ‌هایی با نسبت کربن به نیتروژن پایین را گزارش شد. بنابراین، می‌توان گفت که تغییرات ناشی از افزایش ورودی مواد آلی و خواص فیزیکوشیمیایی خاک می‌تواند به طور مستقیم بر جمعیت و فعالیت‌های زیستی خاک تأثیر بگذارد (Kooch et al., 2021). نوع پوشش گیاهی محرک اصلی تغییرات در تراکم کل و زیست توده کرم‌های خاکی ، فراوانی پادمان، نماتد، پروتوزوئر و همچنین تراکم جمعیت‌های باکتریایی و قارچی است (Kooch and Noghre, 2020). در این راستا بیشترین جمعیت کنه، پادمان، قارچ، باکتری، پروتوزوئر در رویشگاه با چهارگونه و کمترین میزان آن در رویشگاه‌های با غالبیت زرشک و سیاه ولیک مشاهده شد که می‌تواند به علت دسترسی بیشتر عناصر غذایی در خاک رویشگاه با چهار گونه درختچه‌ای و فعالیت زیستی بالاتر باشد. از طرف دیگر، تغییرات در خواص فیزیکی خاک (افزایش جرم مخصوص ظاهری، تخلخل کمتر) می‌تواند در کاهش جمعیت باکتریایی و قارچی در رویشگاه‌های با غالبیت یک گونه نقش داشته باشد. (Bazyari et al., 2021). بیشتر بودن کرم‌های خاکی، کنه‌ها، پادمان، نماتدها، پروتوزئور، باکتری‌ها و قارچ‌ها را در رویشگاه‌هایی با عناصر غذایی بیشتر توسط Elie و همکاران (۲۰۱۸) و Bazyari و همکاران (۲۰۲۱) گزارش شد. مطالعه کریمیان و همکاران (۱۳۹۸ ب) بیشترین تعداد نماتد در توده‌های آمیخته را نشان داد.

آنزیم‌های خاک به عنوان یکی از ویژگی‌های زیستی خاک در مقایسه با سایر ویژگی‌های خاک نسبت به تغییرات پوشش گیاهی و مدیریت اراضی با سرعت بیشتری تغییر می‌کنند (Lee et al., 2020). از طرفی، تمامی آنزیم‌های خاک تحت اثر تغییر پوشش گیاهی به یک اندازه و در یک جهت تغییر نمی‌کنند و فعالیت آنزیم‌ها در رویشگاه‌هایی با ترکیب تاج پوشش مختلف، متفاوت است (kazmierczak et al., 2024). نتایج مطالعه حاضر نیز نشان از تغییرات فعالیت آنزیم‌های خاک تحت تأثیر پوشش گیاهی بود. به گونه‌ای که رویشگاه با چهار گونه درختچه‌ای از فعالیت آنزیمی بالاتری برخوردار بود. براساس نتایج در رویشگاه با چهار گونه به دلیل ورود مواد آلی با کیفیت‌تر، نیتروژن کل، نیتروژن آلی ذره‌ای و محلول، عناصر غذایی در دسترس شامل فسفر، پتاسیم، منیزیم و کلسیم، فعالیت آنزیم‌های خاک نسبت به سایر رویشگاه‌ها افزایش یافت. در همین راستا گزارش‌های مشابهی در ارتباط با همبستگی قوی تغییر در فعالیت آنزیمی خاک با تغییر در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ارائه شده است (Zhang et al., 2021). در یک پژوهش توسط Yao و همکاران (۲۰۲۰) نیز فعالیت‌های آنزیمی بیشتر در ارتباط با میزان بیشتر ماده‌آلی و غلظت مواد مغذی را گزارش کردند. همانگونه که بیان شد میزان آنزیم‌های مورد بررسی (اوره‌آز، فسفاتاز اسیدی، آریل‌سولفاتاز و اینورتاز) بین رویشگاه‌های با ترکیب تاج پوشش مختلف اختلاف معنی‌داری را نشان داد و بیشترین میزان آن در رویشگاه با چهار گونه مشاهده شد که بیشترین میزان عناصر غذایی خاک را داشت. در پژوهشی توسط Kazmierczak و همکاران (۲۰۲۴) فعالیت بیشتر آنزیم‌های خاک در توده آمیخته نسبت به توده خالص را گزارش کردند. مطابق گزارش Zeng و همکاران (۲۰۰۹) همبستگی مثبتی بین کربن آلی، کل نیتروژن، فسفر و فعالیت اینورتاز وجود دارد. مطالعه Cheng و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد که فعالیت اوره‌آز تحت تأثیر نوع پوشش گیاهی قرار می‌گیرد و مقادیر بالاتر pH خاک و محتوای کل نیتروژن و فسفر به طور قابل‌توجهی فعالیت آنزیم اوره‌آز خاک را افزایش می‌دهد و محتوای بالاتر رطوبت خاک، کربن، نیتروژن و فسفر می‌تواند شرایط مطلوبی را برای فعالیت

آنزیم‌های فسفاتاز فراهم کند. آنزیم آریل‌سولفاتاز نیز تحت تأثیر رطوبت خاک، pH و شاخص‌های حاصلخیزی خاک است (Wang et al., 2016) و در مناطقی که میزان رس بالاتر باشد، میزان فعالیت آن افزایش می‌یابد (Ling et al., 2014) که همسو با نتایج مطالعه حاضر می‌باشد. به موازات فعالیت بیشتر آنزیم‌ها در رویشگاه با ترکیب تاج پوشش چهار گونه، شاخص میانگین هندسی فعالیت آنزیم در مقایسه با سایر رویشگاه‌ها بیشتر بود که همسو با مطالعه Kooch و Noghre (۲۰۲۰) است. تفاوت در میانگین هندسی فعالیت‌های آنزیمی خاک در پوشش‌های مختلف زمین توسط Wang و همکاران (۲۰۱۲) گزارش شد. شاخص‌های میانگین هندسی فعالیت‌های آنزیمی تحت تأثیر انواع مختلف پوشش گیاهی، با حداکثر مقدار برای رویشگاه با پوشش گیاهی چهار گونه درختچه‌ای، قرار گرفت. میانگین هندسی فعالیت آنزیمی شاخصی برای اندازه‌گیری کیفیت خاک است که اهمیت استفاده از این شاخص به‌منظور اندازه‌گیری کیفیت خاک توسط Bastida و همکاران (۲۰۰۸) مورد تأکید قرار گرفته است. فعالیت‌های آنزیم خاک واکنش سریعی به تغییرات در محیط ادافیک دارند و بنابراین، شاخص‌های مفیدی برای کیفیت خاک هستند (Nannipieri et al., 2002)، زیرا مقادیر آن با سایر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک (García-Ruiz et al., 2008) یا سایر خواص بیولوژیکی مانند عملکرد جامعه نماتد مرتبط است (Paz-Ferreiro et al., 2011). این شاخص، یک شاخص اولیه تغییر کیفیت خاک است که علاوه بر تخمین کیفیت خاک، برای تغییرات در مدیریت خاک نیز (García-Ruiz et al., 2008) استفاده می‌شود. در مطالعه ما، میانگین هندسی فعالیت آنزیمی از نظر آماری در در رویشگاه با چهار گونه درختچه‌ای در مقایسه با سایر رویشگاه‌ها متفاوت بود که نشان دهنده بهبود کیفیت خاک در این رویشگاه است. Lemanowicz و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه خود بالاتر بودن میانگین هندسی آنزیم خاک را نشان دهنده کیفیت بهتر خاک دانستند که می‌تواند تغییرات کیفی در خاک را بدون در نظر گرفتن ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی توصیف کند. شاخص شانون آنزیم‌های خاک در رویشگاه سیاه ولیک بیشترین مقدار را داشت. این شاخص یک شاخص جامع از گونه‌های میکروبی، تعداد افراد و یکنواختی، یا توزیع فعالیت‌های آنزیم است و تحت تأثیر غنای گونه‌های جامعه است (Bending et al., 2004; Li et al., 2007). Wang و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه خود اشاره کرده‌اند که شاخص شانون فعالیت‌های آنزیمی، تحت تأثیر فعالیت آنزیمی خاک قرار می‌گیرد. مطابق با یافته‌های قبلی، شاخص شانون تفاوت قابل‌توجهی را در بین گونه‌های گیاهی مورد مطالعه نشان دادند که نشان‌دهنده تفاوت در ویژگی‌های کیفیت خاک است (García-Ruiz et al., 2008).

فعالیت‌های زیستی تحت تأثیر نوع پوشش گیاهی هستند و میزان بیشتر فعالیت‌های زیستی بیانگر کیفیت بالاتر خاک می‌باشد. به طور کلی، موادآلی بالا، کیفیت بهتر بستر، خواص خاک (بیشتر بودن میزان نیتروژن کل و فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم) و اثرات غیرمستقیم پوشش تاج پوشش (مانند بهبود دمای خاک سطحی و حفظ آب) می‌تواند نقش مؤثری در افزایش فعالیت‌های زیستی خاک داشته باشد (hillips et al., 2019; Kooch et al., 2021). در همین راستا مطالعه ما نشان داد که در رویشگاه با ترکیب تاج پوشش چهار گونه، فعالیت‌های زیستی (تنفس پایه و برانگیخته، زیست توده میکروبی کربن و نیتروژن و فسفر و نسبت زیست توده میکروبی فسفر به فسفر) بیشترین میزان را داشت. نتایج آنالیز مولفه اصلی نیز بهتر بودن شرایط رویشگاه با چهارگونه را از نظر فعالیت‌های زیستی تأیید می‌کند. مطالعه Sasongko و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد که افزایش محتوای مواد مغذی خاک می‌تواند منجر به افزایش فعالیت‌های زیستی شود که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت داشت. براساس مطالعات انجام شده عناصر غذایی خاک عامل اصلی در تغییرات میزان تنفس میکروبی خاک می‌باشند (Gorobtsova et al., 2016). تنفس خاک به طور مستقیم با حاصلخیزی خاک در ارتباط است به طوری‌که در رویشگاه‌هایی با خاک غنی از کاتیون‌های پایه، میزان فعالیت زیستی و در نتیجه تنفس خاک افزایش نشان می‌دهد (Fabíola Barros et al., 2018). در یک پژوهش توسط Zhao (۲۰۲۱) همبستگی معنی‌دار تنفس با میزان کربن و نیتروژن خاک را گزارش کرد. بالا بودن میزان تنفس در رویشگاه با چهارگونه را می‌توان به شرایط مناسب برای فعالیت میکروبی، به ویژه در لایه‌های سطحی خاک، حضور بیشتر ارگانیسم‌های خاک و تجزیه بیشتر مواد لاشبرگی و حاصلخیزی بالاتر خاک (کربن، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم) در این رویشگاه نسبت داد. همچنین مطالعات نشان می‌دهد حاصلخیزی بالاتر و ورودی بیشتر نیتروژن و فسفر به خاک هم می‌تواند در افزایش زیست توده میکروبی این عناصر غذایی در اکوسیستم خاک بسیار مؤثر باشد که منجر به بهبود سطوح زیست توده میکروبی نیتروژن و فسفر می‌شود (Zhang et al., 2015). از دلایل بالا بودن زیست توده میکروبی کربن و نیتروژن در رویشگاه با چهار گونه را می‌توان افزایش کربن آلی خاک دانست چرا که بین زیست توده میکروبی کربن و نیتروژن با مقدار کربن همبستگی بالایی وجود دارد (Ravindran et al., 2015). کریمیان و همکاران (۱۳۹۸) نیز در مطالعه خود بیشترین زیتودۀ میکروبی کربن، نیتروژن، نسبت زیتودۀ میکروبی کربن به نیتروژن و تنفس میکروبی را در توده‌های آمیخته و کمترین میزان آن‌ها را در توده خالص گزارش کردند. براساس نتایج مطالعه ما، بیشترین سهم میکروبی خاک در رویشگاه با ترکیب تاج پوشش چهار و سه گونه مشاهده شد. سهم میکروبی خاک به به منظور اندازه گیری تجمع کربن

در فرآیندهای تخریب اکولوژیکی استفاده می‌شود (Cheng et al., 2013) و شاخص مناسبی از وضعیت توزیع کربن فعال خاک بین بخش زنده و غیرزنده بوده و کیفیت کربن خاک را بیان می‌کند. سهم میکروبی بیانگر یک رابطه متقابل بین زیتوده میکروبی کربن و معدنی‌شدن کربن آلی خاک است. به بیانی دیگر، این نسبت به‌عنوان پیش‌ماده در دسترس و بخشی از کربن کل تثبیت شده در سلول‌های میکروبی تفسیر می‌شود (Yang et al., 2010). نتایج مطالعه حاضر نیز بالاتر بودن سهم میکروبی را نسبت به سایر رویشگاه‌ها نشان داد. بالاتر بودن میزان سهم میکروبی در در رویشگاه‌های با ترکیب چهار و سه گونه در مطالعه حاضر نشان‌دهنده رشد میکروبی خوب در خاک می‌باشد که ناشی از حاصلخیزی بالای خاک و سوبسترای در دسترس و همچنین مقادیر کمتر نسبت کربن به نیتروژن در توده‌های آمیخته است (Xu et al., 2007). پایین‌تر بودن میزان سهم میکروبی کربن در توده‌های خالص نسبت به آمیخته نیز نشان می‌دهد که سوبسترای در دسترس در توده‌های خالص کم و میزان نسبت کربن به نیتروژن در آنها بالاست. (قادری و کوچ، ۱۴۰۰). همچنین مطالعات نشان می‌دهد که بالا بودن میزان pH خاک سبب بهبود سهم میکروبی در توده‌های آمیخته می‌شود (Zeng et al., 2017). Liu و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعه خود نشان دادند کاهش pH باعث کاهش زیست توده میکروبی کربن و سهم میکروبی کربن می‌شود. در مطالعه حاضر نیز میزان pH در رویشگاه‌های با ترکیب تاج پوشش چند گونه بیشتر از رویشگاه‌های با غالبیت تک گونه بود. شاخص در دسترس بودن کربن و ضریب متابولیکی اختلاف آماری معنی‌داری را در رویشگاه‌های مختلف نشان ندادند. شاخص در دسترس بودن کربن بیانگر نسبت بین تنفس پایه و برانگیخته است. در راستای مطالعه حاضر، مطالعه کوچ و همکاران (۱۴۰۲) در خصوص اثر توده‌های جنگلکاری شده با سنین مختلف و پوشش مرتعی نیز تفاوتی در شاخص در دسترس بودن کربن در رویشگاه‌های مختلف را نشان نداد. ضریب متابولیکی بیانگر مقدار کربن متصاعد شده (تنفس پایه) از هر واحد کربن زیست توده میکروبی در واحد زمان است (Raiesi and Asadi, 2006) که در این پژوهش اگرچه اختلاف معنی‌داری در رویشگاه‌های مختلف نداشت، اما با این وجود میزان آن در رویشگاه‌های با غالبیت یک گونه بیشتر بود که همسو با بیشتر بودن نسبت کربن به نیتروژن در این رویشگاه‌ها می‌باشد. بالاتربودن این ضریب در رویشگاه‌های با غالبیت یک گونه بیانگر این مسئله می‌باشد که کربن خاک بیشتر صرف تولید انرژی شده است. این درحالیست که کمتر بودن این مقادیر در رویشگاه‌ها با ترکیب چند گونه نشان می‌دهد که کربن خاک بیشتر صرف رشد میکروبی گردیده است (Moscatelli et al., 2007)

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش بیانگر آن است که ترکیب‌های مختلف درختچه‌ای بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک اثر گذاشته و سبب ایجاد تغییرات معنی‌داری در ویژگی‌های خاک در مناطق مورد مطالعه شد. مطابق با نتایج این پژوهش رویشگاه با چهار گونه درختچه‌ای با ایجاد شرایط مناسب، ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک را در مقایسه با سایر رویشگاه‌های مورد مطالعه بهبود بخشیده است. به طوری‌که بیشترین میزان ویژگی‌های تخلخل، پایداری خاکدانه، درصد رس، محتوای رطوبت، کربن آلی، ذخیره کربن و نیتروژن، نیتروژن، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، شدت معدنی‌شدن خالص نیتروژن، آمونیوم، نیترات، کربن و نیتروژن ذره‌ای و آلی محلول، فعالیت آنزیم‌ها (اوره‌آز، اسید فسفاتاز، آریل‌سولفاتاز و اینورتاز)، باکتری، قارچ، کنه، پادمان، پروتوزوئر و تعداد و زیست توده کرم‌های خاکی، تنفس پایه و برانگیخته، زیست توده میکروبی کربن و نیتروژن و فسفر در این رویشگاه مشاهده شد. نتایج تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) نیز حاصلخیزی و فعالیت زیستی خاک بیشتر در رویشگاه با چهار گونه درختچه‌ای را نشان داد. به طور کلی نتایج این پژوهش حاکی از آنست که ترکیب پوشش گیاهی با چهار گونه می‌تواند باعث حفظ کیفیت خاک و ایجاد کانون‌های شاخص کیفیت خاک شود. از اینرو پیشنهاد می‌شود به منظور احیای اراضی تخریب یافته مرتعی در رویشگاه‌های مورد مطالعه و در مناطقی با شرایط محیطی مشابه به تنوع گونه‌ای و استفاده ترکیبی گونه‌ها برای حفاظت از خاک توجه شود. چرا که ترکیب گونه‌ای می‌تواند اثرات بهتری بر ویژگی‌های لاشبرگ و کیفیت خاک منطقه داشته باشد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

اصغری سرخی، آزاده؛ حجتی، سید محمد؛ جلیلوند، حمید، و مجربی، میثم. (۱۳۹۴). تأثیر ترکیب تاج پوشش بر خصوصیات خاک در توده‌های خالص و آمیخته راش (مطالعه موردی: جنگل الندان- ساری). مجله تحقیقات منابع طبیعی تجدید شونده،۶(۳)،۱-۱۰.

کریمیان بهنمیری، عاطفه؛ طاهری آبکنار، کامبیز؛ کوچ، یحیی، و صالحی، علی. (۱۳۹۸). اثر ترکیب تاج پوشش اشکوب فوقانی بر محتوای عناصر غذایی و شاخص‌های میکروبی خاک در جنگل کرکرود نوشهر. مجلهٔ جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران، ۱۱(۴)، ۵۴۷-۵۵۸.

کریمیان بهنمیری، عاطفه؛ طاهری آبکنار، کامبیز؛ کوچ، یحیی، و صالحی، علی. (۱۳۹۸) ب. اثر ترکیب تاج پوشش گونه‌های درختی بر مشخصه‌های آلی و معدنی خاک جنگل‌های هیرکانی غربی (مطالعه موردیک جنگل کرکرود نوشهر). مجلهٔ جنگل ایران، مجله منابع طبیعی ایران، ۷۲(۱)، ۴۷-۵۶.

کیان‌مهر، آتنا؛ حجتی، سید محمد؛ کوچ، یحیی، و قاسمی آقباش، فرهاد. (۱۳۹۸). اثر ترکیب تاج پوشش بر مقدار لاشریزی، تنفس و برخی خصوصیات خاک در توده‌های خالص و آمیخته راش و ممرز. فصلنامهٔ علمی پژوهش و توسعه جنگل، ۵(۳)، ۳۷۳-۳۸۶.

کوچ، یحیی؛ توکلی فیض آبادی، محمود. و حق وردی، کتایون. (۱۴۰۲). اثر توده‌های جنگلکاری شده با سنین مختلف و پوشش مرتعی بر ویژگیهای لایه آلی و سطحی خاک. نشریه آب و خاک، ۳۷(۵)، ۷۰۱-۷۲۰.

قادری، الهام، و کوچ، یحیی. (۱۴۰۰). اثر تاج پوشش خالص و آمیخته *Crataegus melanocarpa* و*Berberis integerrima* برفعالیت‌های بیوشیمیایی و استوکیومتری میکروبی خاک. نشریه علمی مرتع، ۱۵(۳)، ۳۹۸- ۴۱۰.

موسوی ثانی، سید مهدی؛ آذرخشی، مریم؛ نظری سامانی، علی اکبر، و فزاد مهر. جلیل. (۱۴۰۲). تعیین تأثیر نوع گونه گیاهی روی برخی ویژگی‌های خاک در مراتع کوهستانی حوزه آبخیز کاخک. مرتع،۱۶(۴)،۷۶۵-۷۷۸.

عیوضی‌نی، منیژه؛ سلطانی طولارود، علی اشرف؛ شهاب؛ حسین، قویدل، اکبر، و قاسمی، سمیه. ۱۳۹۸. تعیین مهمترین شاخصهای میکروبی به عنوان شاخص سلامت خاک در خاکهای آلوده به کادمیوم و سرب. مطالعات علوم محیط زیست، ۴ (۱)،۱۱۴۲-۱۱۵۰.

REFERENCES

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.

Ajorlo, M., Abdullah, R., Hanif, M., Husni, A., &Yusoff, M.K. (2011). Impacts of livestock grazing on selected soil chemical properties in intensively managed pastures of Peninsular Malaysia. Pertanika J. Trop. Agric. Sci, 3*4*, 109–121.

Alef, K., & Nannipieri, P. (1995). *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic Press, London.

Allison, L.E. (1965). Organic carbon. In: "Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties" (Page AL, Miller RH, Keeney DR eds). American Society of Agronomy, *Soil Science Society of America, Madison, WI, USA*. 1367-1378. - doi: 10.2134/agronmonogr9.2. c39

Ambrosino, M. L., Torres, Y. A., Lucero, C. T., Lorda, G. S., Ithurrart, L. S., Martínez, J. M., Armando, L. V., Garayalde, A., & Busso, C. A. (2023). Impacts of shrubs on soil quality in the native Monte rangelands of Southwestern Buenos Aires, Argentina. *Land Degradation & Development, 34(11),* 3406-3417. DOI: 10.1002/ldr.4692

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 Biol. Biochem*, *22*, 251–255.

Asghari Sorkhi, A., Hojjati, S.M., Jalilvand, H., & Mojarabi, M. (2015). The Effect of Canopy Composition on Soil Properties in Pure and Mixed Stands of Beech (Case Study: Aland Forest -Sari). Journal of Renewable Natural Resources Research, 6(3), 1-10. (In Persian)

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

Bayranvand, M., Kooch, Y., & Rey, A. (2017). Earthworm population and microbial activity temporal dynamics in a Caspian Hyrcanian mixed forest. *European Journal of Forest Research*, *136*, 447–456. DOI: 10.1007/s10342-017-1044-5

Bazyari, M., Etemad, V., Kooch, Y., & Shirvany, A. (2021). Soil fauna communities and microbial activities response to litter and soil properties under degraded and restored forests of Hyrcania. *iForest*, *14*: 490-498. doi: 10.3832/ifor3583-014 [online 2021-11- 11]

Bending, G.D., Turner, M.K., Rayns, F., Marx, M.C. & Wood, M. (2004). Microbial and biochemical soil quality indicators and their potential for differentiating areas under contrasting agricultural management regimes. Soil Biology and Biochemistry, 36,1785–1792. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.04.035

Berkelmann, D., Schneider, D., Meryandini, A. & Daniel, R. (2020). Unravelling the effects of tropical land use conversion on the soil microbiome. *Environmental Microbiome*, *15* (3), 178-185. DOI: 10.1186/s40793-020-0353-3

Binkley, D., & Fisher, F. (2013). Ecology and management of forest soils. 4th ed. WileyeBlackwell.

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.
Boudjabi, S., & Chenchouni, H. (2022). Soil fertility indicators and soil stoichiometry in semi-arid steppe rangelands. *Catena*, *210*, 105910. https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105910
Bouyoucos, G.J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Journal of Agrobiology*, *56*, 464-465. doi: 10.2134/agronj1962.00021962005400050028x
Bower, C. A., Reitemeier, R. F., & Fireman, M. (1952). Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Soil Science*, *73*: 251-261.
Bremner, J.M., & Mulvaney, C.S. (1982). Nitrogen-total. In: "Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties" (Page AL, Miller RH, Keeney DR eds). A*merican Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI, USA*. 595-624.
Brookes, P.C., Landman, A., Pruden, G., & Jenkinson, D.S. (1985). Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, *17*, 837–842.
Cheng, F., Peng, X., Zhao, P., Yuan, J., Zhong, C., Cheng, Y. & Zhang, S. (2013). Soil microbial biomass, basal respiration and enzyme activity of main forest types in the Qinling Mountains. *PloS one*, *8*(6): 1-12. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0067353
Cheng, M., Xiang, Y., Xue, Z., An, S., Darboux, F., (2015). Soil aggregation and intra-aggregate carbon fractions in relation to vegetation succession on the Loess Plateau.*China. Catena*, 124, 77–84.
Cui, Y., Fang, L., Deng, L., Guo, X., Han, F., Ju, W., Wang, X., Chen, H., Tan, W. & Zhang, X. (2019). Patterns of soil microbial nutrient limitations and their roles in the variation of soil organic carbon across a precipitation gradient in an arid and semi-arid region. *Sci. Total Environ*, *658*, 1440–1451.
Dinakaran, J. & Krishnayya, N. S. R. (2008) Variation in type of vegetal cover and heterogeneity of soil organic carbon in affecting sink capacity of tropical soils. *Current Science*, *94* (9), 1144-1150.
Dong Y., Chen, R., Petropoulos, E., Yu, B., Zhang, J., Lin, X., Gao, M., & Feng, Y. (2022). Interactive effects of salinity and SOM on the ecoenzymatic activities across coastal soils subjected to a saline gradient. *Geoderma*, *406*, 115519. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115519
Duran, J., Rodriguez, A., Palacios, J.M.F., & Gallardo, A. (2009). Changes in net Nmineralization rates and soil N and P pools in pine forest wildfire chronosequence. *Biology and Fertility of Soils*, 45, 781–788.
Eivazi Ney, M., Soltani Toularoud, A. A., Shahab, H., Ghavidel A., & Ghasemi, S. (2019). Determination of the most important microbial indicators as soil health index in cadmium and lead contaminated soils. *Environmental Sciences Studies*, *4*(1), 1142-1150. (In Persian)
Elie, F., Vincenot, L., Berthe, T., Quibel, E., Zeller, B., Saint-André, L., Normand, M., Chauvat, M., & Aubert, M. (2018). Soil fauna as bioindicators of organic matter export in temperate forests. *Forest Ecology and Management*, *429*, 549-557. doi: 10.10 16/j.foreco.2018.07.053
Fabíola Barros, M., Pinho, B. X., Leão, T., & Tabarelli, M. (2018). Soil attributes structure plant assemblages across an Atlantic forest mosaic. *Journal of Plant Ecology*, *11*(4): 613-622. https://doi.org/10.1093/jpe/rtx037
Fouché, J., Christiansen, C. T., Lafrenière, M. J., Grogan, P., & Lamoureux, S. F. (2020). Canadian permafrost stores large pools of ammonium and optically distinct dissolved organic matter. *Nature Communications*, *11*(1), 4500. doi: 10.1038/s41467-020-18331-w
Gamfeldt, L., Snäll, T., Bagchi, R., Jonsson, M., Gustafsson, L., Kjellander, P., Ruiz-Jaen, M.C., Fröberg, M., Stendahl, J., Philipson, C.D., Mikusiński, G., Andersson, E., Westerlund, B., Andrén, H., Moberg, F., & Moen, J. (2013). Bengtsson Higher levels of multiple ecosystem services are found in forests with more tree species. *Nature Communications*, *4*, 1340. 10.1038/ncomms2328
García-Ruiz, R., Ochoa, V., Hinojosa, MB. & Carreira, JA. (2008) Suitability of enzyme activities for the monitoring of soil quality improvement in organic agricultural systems. Soil Biology and Biochemistry, 40,2137–2145. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.03.023
Ghaderi, E., & Kooch, Y. (2021). Effect of pure and mixed canopy composition of Black Hawthorn and Barberry on soil biochemical activities and microbial stoichiometry. *Pasture*, *15*(3), 398-410. (In Persian)
Gorobtsova, O.N., Gedgafova, F.V., Uligova, T.S., & Tembotov, R.K. (2016). Eco physiological indicators of microbial biomass status in chernozem soils of the Central Caucasus (in the territory of Kabardino-Balkaria with the Terek variant of altitudinal zonation). *Russian Journal of Ecology*. *47*, 4. 19-25. DOI: 10.1134/S1067413616010069
Handayani, IP., Coyne. MS., &Tokosh. RS. (2010). Soil organic matter fractions and aggregate distribution in response to tall fescue stands. *International Journal of Soil Science 5*, 1-10. doi: 10.3923/ijss.2010.1.10
Hedĕnec, P., Zheng, H., Siqueira, D.P, Lin, Q., Peng, Y., Kappel, I., Schmidt, T. G., Frøslev, Kjøller, R.,

Rousk, J., & Vesterdal, L. (2023). Tree species traits and mycorrhizal association shape soil microbial communities via litter quality and species mediated soil properties. F*orest Ecology and Management*, *527*, 120608. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120608

Homer, C.D., & Pratt, P.F. (1961). Methods of analysis for soils, plants and waters. Agricultural Sciences Publications, *University of California, Berkeley, CA, USA*. 309

Hu, C., Fu, B., Liu, G., Jin, T., & Guo, L. 2010. Vegetation patterns influence on soil microbial biomass and functional diversity in a Hilly area of the Loess Plateau, China. *Journal of Soils and Sediments*, *10*(6): 1082- 1091. DOI: 10.1007/s11368-010-0209-3

Idbella, M., Filippis, F., De Zotti, M., Sequino, G., Abd-Elgawad, A.M., Fechtali, T., Mazzoleni, S., & Bananomi, G. (2022). Specific microbiome signatures under the canopy of Mediterranean shrubs. *Applied Soil Ecology*, *173*, 104407. DOI: 10.21203/rs.3.rs-742200/v1

Jafarian, N., Mirzaei, J., Omidipour, R., & Kooch, Y. (2024). Yahya Effects of micro-climatic conditions on soil properties along a climate gradient in oak forests, west of Iran: Emphasizing phosphatase and urease enzyme activity. Catena, *224*, 106960. https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.106960

Jimenez, J. J., Lal, R., Leblanc H. A. & Russo, R. O. (2011) Soil organic carbon pool under nativetree plantations in Caribbean lowlands of Costa Rica. *Forest Ecology and Management, 241*, 134–144.

Jones, D.L., & Willett, V.B. (2006). Experimental evaluation of methods to quantify dissolved organic nitrogen (DON) and dissolved organic carbon (DOC) in soil. *Soil Biology and Biochemistry*. *38*, 991–999. ttps://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.08.012

Karimiyan Bahnemiri, A., Taheri Abkenar, K., Kooch, Y., & Salehi; A. (2019b). Effect of canopy composition of tree species on soil organic and mineral properties at West Hyrcanian Forests of Iran (Case Study: Korkoroud forests in Noshahr). Forest and Wood Products, *72*(1),47(56). (In Persian)

Karimiyan Bahnemiri, A., Taheri Abkenar, K., Kooch, Y., & Salehi; A. (2019a). The effect of canopy combination in over story on nutrient Contentand microbial indices of soil in Korkoroud forests of Noshahr. *Iranian Journal of Forest*, *11*(4), 547-558. (In Persian)

Kazmierczak, M., Błońska, E., Lasota. J. (2024). Effect of litter decomposition and nutrient release from shrub litter on enzymatic activity and C/N/P stoichiometry of soils in a temperate pine forest. Acta Oecologica, *124*, 104020. https://doi.org/10.1016/j.actao.2024.104020

Kemper, W.D. Rosenau, R.C. (1986). Aggregate stability and size distribution. In: Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods, 2nd ed. A*merican Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.*pp. 383–411.

Kianmehr, A., Hojjati, S. M., Kooch, Y., & Ghasemi Aghbash, F. (2019). Effect of canopy composition on litterfall rate, respiration and some Soil properties in pure and mixed stands of beech and hornbeam. Journal of Forest Research and Development, 3(5), 373-376. (In Persian)

Kooch, Y., & Dolat Zarei, F. (2023). The effect of different canopy composition of shrublands on soil quality indicators in a semi-arid climate of Iran. Geoderma Regional, 34, e00688. https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2023.e00688

Kooch, Y., & Noghre, N. (2020) The effect of shrubland and grassland vegetation types on soil fauna and flora activities in a mountainous semi-arid landscape of Iran. *Science of The Total Environment, 703*, 1–9. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135497

Kooch, Y., & Noghre, N. (2020). The effect of shrubland and grassland vegetation types on soil fauna and flora activities in a mountainous semi-arid landscape of Iran. *Science of the Total Environment, 703*(7): 1-9. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.135497

Kooch, Y., & Sohrabzadeh, Z. (2024). Soil quality indicators are clearly plant species-specific: Implication for ecosystem management in a semi-arid landscape. Ecological Engineering, *207*, 107357. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2024.107357

Kooch, Y., Ehsani, S., & Akbarinia, M. (2020). Stratification of soil organic matter and biota dynamics in natural and anthropogenic ecosystems. *Soil and Tillage Research*, *200*(7): 1-11. DOI: 10.1016/j.still.2020.104621

Kooch, Y., Ghorbanzadeh, N., Hajimirzaaghaee, S., Francaviglia, R. (2023). Soil biological quality as affected by vegetation types in shrublands of a semi-arid montane environment. *Applied Soil Ecology*. *189*, 104980. DOI: 10.1016/j.apsoil.2023.104980

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

Kooch, Y., Rostayee, F., & Hosseini, S. M. (2016). Effects of tree species on topsoil properties and nitrogen cycling in natural forest and tree plantations of northern Iran. *Catena*, 144, 65–73.

Kooch, Y., Samadzadeh, B., & Hosseini, S.M., (2017). The effects of broad-leaved tree species on litter quality and soil properties in a plain forest stand. *Catena*, *150*, 223-229. DOI: 10.1016/j.catena.2016.11.023

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. *Journal of Water and Soil*, *37*(5), 701-720. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.2023.82251.1280

Lagomarsino, A., Benedetti, A., Marinari, S., Pompili, L., Moscatelli, M.C., Roggero, P.P., Lai, R., Ledda, L., & Grego, S. (2011). Soil organic C variability and microbial functions in a Mediterranean agro-forest ecosystem. *Biology and Fertility of* Soils, *47*, 283–291. DOI: 10.1007/s00374-010-0530-4

Lee, S.-H., Kim, M.-S., Kim, J.-G., & Kim, S. O. (2020). Use of soil enzymes as indicators for contaminated soil monitoring and sustainable management. *Sustainability*, *12*(19), 8209. DOI: 10.3390/su12198209

Lemanceau, P., Creamer, R., & Griffiths, B. S. (2016). Soil biodiversity and ecosystem functions across Europe: A transect covering variations in bio-geographical zones, land use and soil properties. *Applied Soil Ecology*, *97*, 1–2. doi: 10.1016/j.apsoil.2015.07.017.

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

Li, L., Vogel, J., He, Z., Zou, X., Ruan, H., Huang, W., Wang, J. & Bianchi, T.S. (2016). Association of soil aggregation with the distribution and quality of organic carbon in soil along an elevation gradient on Wuyi Mountain in China. *PloS one*, *11*(3), p.e0150898.

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

Li, Z., Wu, X. & Chen, B. (2007). Changes in transformation of soil organic C and functional diversity of soil microbial community under different land uses. Agricultural Sciences in China, 6(10),1235–1245. https://doi.org/10.1016/S1671-2927(07)60168-0

Liao, C., Luo, Y., Fang, C., Chen, J., & Li, B. (2012). The effects of plantation practice on soil properties based on the comparison between natural and planted forests: a meta-analysis. *Global Ecology and Biogeography*, *21*(3), 318-327. https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2011.00690.x

Ling, N., Sun, Y., Ma, J., Guo, J., Zhu, P., Peng, C. & Shen, Q. (2014). Response of the bacterial diversity and soil enzyme activity in particle-size fractions of mollisol after different fertilisation in a long-term experiment. *Biology and Fertility of Soils*, *50*, 901–911. DOI: 10.1007/s00374-014-0911-1

Liu, Y., Wei, X., Guo, X., Niu, D., Zhang, J. Gong, X. & Jiang, Y. (2012). The long-term effects of reforestation on soil microbial biomass carbon in sub-tropic severe red soil degradation areas. *Forest Ecology and Management*, *285*(8): 77-84.

Malek Poor, B., Ahmadi, T. & Kazemi Mazandarani, S.S. (2012). Investigation of land covers management effect on physical and chemical properties of soil at Kojur region, Mazandaran. Iran. J. *Plant Eco-physiol*, *3*, 90–100

Mohmedi Kartalaei, Z., Kooch, Y., & Dianati Tilaki, G. A. (2023). Litter and soil properties under woody and non-woody vegetation types: Implication for ecosystem management in a mountainous semi-arid landscape. Journal of Environmental Management, *348*: 119238. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119238

Mohr, D., Simon, M., & Topp, W. (2005). Stand composition affects soil quality in oak stands on reclaimed and natural sites. *Geoderma*, *129*: 45-53. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.12.029

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

Mousavi Sani, M., Azarakhshi, M., Nazari Samani, A., &Farzadmehr, J. (2023). Determining the effect of plant species type on some soil properties in the mountain rangelands in Kakhk watershed. *Journal of Rangeland*, *16*(4), 765-778. (In Persian)

Mulia, R., Hoang, S.V., Dinh, V. M., Duong, N.B.T., Nguyen, A.D., Lam, D.H., Thi Hoang, D.T., & van Noordwijk, M. (2021). Earthworm diversity, forest conversion and agroforestry in Quang Nam Province, Vietnam. *Land*, *10*(1), 10-36. https://doi.org/10.3390/land10010036

Nannipieri, P., Kandeler, E. & Ruggiero, P. (2002.) Enzyme activities and microbiological and biochemical processes in soil. In: Burns RG, Dick RP (eds) Enzymes in the environment. Activity, ecology and applications. Marcel Dekker, New York, pp 1–33

Neatrour, M. A., Jones, R. H., & Golladay, S. W. (2005). Correlations between soil nutrient availability and fine-root biomass at two spatial scales in forested wetlands with contrasting hydrological regimes. *Canadian Journal of Forest Research*, *35*(12), 2934–2941.

Neher, D.A. (1999). Soil community composition and ecosystem processes: comparing agricultural ecosystems with natural ecosystems. *Agroforestry Systems*, *45*, 159-185.

Nianpeng, H., Yunhai, Z., Jingzhong, D., Xingguo, H., Taogetao, B., & Guirui, Y. (2012). Land-use impact on soil carbon and nitrogen sequestration in typical steppe ecosystems, Inner Mongolia. *Journal of Geographical Sciences*, *22*, 859–873. DOI: 10.1007/s11442-012-0968-4

Paz-Ferreiro, J., Gascó, G., Gutiérrez, B. & Méndez, A. (2011). Soil biochemical activities and the geometric mean of enzyme activities after application of sewage sludge and sewage sludge biochar to soil. Biology and Fertility of Soils, 48(5), 511–517. doi:10.1007/s00374-011-0644-3

Paz-Ferreiro, J., Gascó, G., Gutiérrez, B., & Méndez, A. (2012). Soil biochemical activities and the geometric mean of enzyme activities after application of sewage sludgeand sewage sludge bio char to soil. *Biology and Fertility of Soils*, *48*, 511–517. DOI: 10.1007/s00374-011-0644-3

Perie C. & Ouimet, R. (2008). Organic carbon, organic matter and bulk density relationships in boreal forest soils. *Canadian Journal of Soil Science*, *88*, 315-325

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

Piao, H.C., Zhu, J.M., Liu, G.S., Liu, C.Q., & Tao, F.X. (2006). Changes of natural 13C abundance in microbial biomass during litter in Douglas-fir Forests. *Canadian Journal of Forest Research*, *20*: 259-266. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2005.09.006

Pires, L.F., Brinatti, A.M., Saab, S.C., & Cassaro, F.A. (2014). Porosity distribution by computed tomography and its importance to characterise soil clod samples. *Applied Radiation and Isotopes*, *92*, 37–45. https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2014.06.010

Qiu, Q., Li, J. Y., Wang, J. H., He, Q., Su, Y. & Ma, J. W. (2015). Interactions between soil water and fertilizer application on fine root biomass yield and morphology of Catalpa bungei seedlings. *Applied Mechanics and Materials*, *700*, 323–333.

Raiesi, F. & Asadi, E. (2006). Soil microbial activity and litter turnover in native grazed and ungrazed rangelands in a semiarid ecosystem. *Biology and Fertility of Soils, 43*, 76-82.

Ravindran, A., Shang-Shyng, A. & Yang, A. (2015). Effects of vegetation type on microbial biomass carbon and nitrogen in subalpine mountain forest soils. *Journal of Microbiology, Immunology and Infection*, *48*: 362-369. https://doi.org/10.1016/j.jmii.2014.02.003

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.

Salehi, A., Ghorbanzadeh, N., & Kahneh, E. (2013). Earthworm biomass and abundance, soil chemical and physical properties under different poplar plantation in the north of Iran. *Journal of Forest Science*, *59*, 223–229. DOI: 10.17221/41/2012-JFS

Sasongko, P.E., Purwanto, P., Dewi, W.S., & Hidayat, R. (2019). Soil microbial communities below decomposing plant litter from different land uses in Tutur Village. The 9th International Conference on Global Resource Conservation (ICGRC) and AJI from Ritsumeikan University AIP Conf. Proc. 2019(1):040002.

Sharrow, S. H., & Ismail, S. (2004). Carbon and nitrogen storage in agroforests, tree plantations, and pastures in western Oregon, USA. *Agroforestry Systems*, *60*, 123–130. DOI: 10.1023/B:AGFO.0000013267.87896.41

Sofo, A., Mininni, A. N., Ricciuti, P. (2020). Soil macrofauna: A key factor for increasing soil fertility and promoting sustainable soil use in fruit orchard agrosystems. *Agronomy*, *10*(4), 456. https://doi.org/10.3390/agronomy10040456

Sohrabi, H., Jourgholami, M., Lo Monaco, A., & Picchio, R. (2022). Effects of Forest Harvesting Operations on the Recovery of Earthworms and Nematodes in the Hyrcanain Old-Growth Forest: Assessment, Mitigation, and Best Management Practice. *Land*, *11*(5), 746. https://doi.org/10.3390/land11050746

Sullivan, P.F., Stokes, M.C., McMillan, C.K., &Weintraub, M. N. (2020). Labile carbon limits late winter microbial activity near Arctic tree line. *Nature Communications*, *11*(1): 1-9. DOI:10.1038/s41467-020-17790-5

Tauqeer, H.M., Turan, V., & Iqbal, M. (2022). In: Production of safer vegetables from heavy metals contaminated soils: the current situation, concerns associated with human health and novel management strategies. *Springer, Cham*. 301–312. DOI:10.1007/978-3-030-89984-4_28

Tavakoli, M., Kooch, Y., & Akbarinia, M. (2018, May). The effect of degraded and reclaimed forest areas on carbon dioxide gas emissions and soil carbon mineralization in West of Mazandaran. In: Proceedings of the International Symposium of Climate Change and Dendrochronology in Caspian Ecosystems, Sari, Iran.

Tong, H., Simpson, A. J., Paul, E. A., & Simpson, M. J. (2021). 'Land-use change and environmental properties alter the quantity and molecular composition of soil-derived dissolved organic matter. *ACS Earth and Space Chemistry*, *5*(6), 1395–1406. https://doi.org/10.1021/acsearthspacechem.1c00033.

Tucker Serniak, L. (2017). The effects of earthworms on carbon dynamics in forest soils. Biol. Invasions 12, 213–229.

Wang, C., Zhang, G., Zhu, P., Chen, S., Wan, Y. (2023). Spatial variation of soil functions affected by land use type and slope position in agricultural small watershed. Catena, *225*, 107029. https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107029

Wang, Q., Liu, J., Wang, Y., Guan, J., Liu, L., & Lv, D.A. (2012). Land use effects on soil quality along a native wetland to cropland chronosequence. *European Journal of Soil Biology*, *53*, 114–120. https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2012.09.008

Wang, Q., Wang, S., Fan, B., & Yu, X. (2007). Litter production, leaf litter decomposition and nutrient return in Cunninghamia lanceolata plantations in south China: effect of planting conifers with broadleaved species. *Plant and Soil*, *297*(1-2), 201-211. https://doi.org/10.1007/s11104-007-9333-2 ·

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.

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

Wardle, D. A., Nilsson, M., Zackrisson, O., & Gallet, C. (2003). Determinants of litter mixing effects in a Swedish boreal forest. *Soil Biology and Biochemistry*, *35*: 827-835. https://doi.org/10.1016/S0038-0717(03)00118-4

Wollum, A.G. (1983). Cultural methods for soil microorganisms. In: "Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties" (Page AL, Miller RH, Keeney DR eds). *American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI, USA*. 781- 802. doi: 10.2134/agronmonogr9.2.2ed. c37

Xia, J., Ren, R., Chen, Y., Sun, J., Zhao, X., Zhang, S. (2020). Multifractal characteristics of soil particle distribution under different vegetation types in the Yellow River Delta chenier of China. *Geoderma*, *368*, 114311. DOI:10.1016/j.geoderma.2020.114311

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

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

Yang, K., Zhu, J., Zhang, M., Yan, Q. & Sun, O.J. (2010). Soil microbial biomass carbon and nitrogen in forest ecosystems of Northeast China: a comparison between natural secondary forest and larch plantation. *Journal of Plant Ecology*, *3*(3), 175-182. https://doi.org/10.1093/jpe/rtq022

Yao, Y., Shaoa, M., Fu, X., Wang, X., & Wei, X. 2020. Effects of shrubs on soil nutrients and enzymatic activities over a 0–100 cm soil profile in the desert-loess transition zone. *Catena*, *174*, 362–370. https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.11.031

Yifru, A., & Taye, B. (2011). Land use effects on soil organic carbon and nitrogen in some soils of Bale, Southeastern Ethiopia. Trop. Subtrop. *Agroecosyst*, *14* (1), 229–235. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109116

Yuan, Z. Y., & Chen, H. Y. (2010). Fine Root Biomass, Production, Turnover Rates, and Nutrient Contents in Boreal Forest Ecosystems in Relation to Species, Climate, Fertility, and Stand Age: Literature Review and Meta-Analyses. *Critical Reviews in Plant Sciences*, *29*(4): 204-221. https://doi.org/10.1080/07352689.2010.483579

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

Zancan, S., Trevisan, R. & Paoletti, M. G. (2006). Soil algae composition under different agro-ecosystems in North-Eastern Italy. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *112*(1): 1–12. https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.06.018

Zarafshar, M., Vincent, G., Korboulewsky, N., & Bazot, S. (2024). The impact of stand composition and tree density on topsoil characteristics and soil microbial activities. *Catena*, *234*: 107541. https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107541

Zeng, D.H., Hu, Y.L., Chang, S.X., & Fan, Z.P. (2009). Land cover change effects on soil chemical and biological properties after planting Mongolian pine (Pinus sylvestris var. mongolica) in sandy lands in Keerqin, northeastern China. *Plant Soil*, *317*, 121–133. DOI:10.1007/s11104-008-9793-z

Zeng, Y., Fang, X., Xiang, W., Deng, X. & Peng, C. (2017). Stoichiometric and nutrient resorption characteristics of dominant tree species in subtropical Chinese forests. *Ecology and Evolution*, *7*(2):11033–11043

Zhang, K., Zheng, H., Chen, F.L., Ouyang, Z.Y., Wang, Y., Wu, Y.F., Lan, J., Fu, M., & Xiang, X.W. (2015). Changes in soil quality after converting Pinus to Eucalyptus plantations in southern China. *Solid Earth*, *6*, 115–123. DOI:10.5194/se-6-115-2015

Zhang, L., Jing, Y., Chen, C., Xiang, Y., Rezaei Rashti, M., Li, Y., Deng, Q. & Zhang, R. (2021). Effects of biochar application on soil nitrogen transformation, microbial functional genes, enzyme activity, and plant nitrogen uptake: A meta-analysis of field studies. *GCB Bioenergy*, *13*(12), 1859–1873. https://doi.org/10.1111/gcbb.12898

Zhang, Y., Wang, L., Jiang, J., Zhang, J., Zhang, Z., & Zhang, M. (2022). Application of soil quality index to determine the effects of different vegetation types on soil quality in the Yellow River Delta wetland. *Ecological Indicators*, *14*, 109116. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109116

Zhan-Yuan, Y. U., Fu-Sheng, C. H. E. N., De-Hui, Z. E. N. G., Qiong, Z. H. A. O. & Guang-Sheng, C. H. E. N. (2008). Soil inorganic nitrogen and microbial biomass carbon and nitrogen under pine plantations in Zhanggutai sandy Soil. *Pedosphere*, *18*(6): 775-784.

Zhao, C., Li, Y., Zhang, C., Miao, Y., Liu, M., Zhuang, W., Shao, Y., Zhang, W., & Fu, S. (2021). Considerable impacts of litter inputs on soil nematode community composition in a young Acacia crassicapa plantation. *Soil Ecology Letters*, *3*(2), 145–155. https://doi.org/10.1007/s42832-021-0085-3

Zhou, Y., Sha, M., Jin, H., Wang, L., Zhang, J., Xu, Z., Tan, B., Chen, L., Wang, L., Liu, S., Xiao, J., You, C., Huang, Y., Chen, Y. & Liu, Y. (2023). The expansion of evergreen and deciduous shrubs changed the chemical characteristics and biological community of alpine meadows soil. European Journal of Soil Biology. 117: 103505. https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2023.103505.