Journal of Water and Soil
https://jsw.um.ac.ir

CC BY

Research Article
Vol. 36, No. 5, Dec.-Jan., 2022, p. 593-610

Comparison of Soil Biological Activity in Forest with Coniferous and Broadleaf Trees in Biston Region of Kermanshah

S. Mehrnoosh[1], A. Beheshti Ale Agha[2*], F. Rakhsh[3], M. Pourreza[4], A.A. Safari Sinegani[5]

Received: 11-08-2022
Revised: 19-10-2022
Accepted: 20-10-2022
Available Online: 15-01-2023

How to cite this article:
Mehrnoosh, S., Beheshti Ale Agha, A., Rakhsh, F., Pourreza, M., & Safari Sinegani, A.A. (2022). Comparison of Soil Biological Activity in Forest with Coniferous and Broadleaf Trees in Biston Region of Kermanshah. *Journal of Water and Soil 36*(5): 593-610. (In Persian with English abstract)
DOI: 10.22067/JSW.2022.78164.1189

Introduction

The maintenance of planted forests in arid and semi-arid lands is important. Soil formation in forest ecosystems is different with different tree species. Tree species have a direct and indirect effect on soil organisms. Forest ecosystems change their species composition and abundance of microorganisms, and consequently their biogeochemical cycles. The accumulation of vegetation biomass and the improvement of soil fertility can play a significant role in soil restoration.

Materials and Methods

In order to investigate the biological characteristics of the soil from 5 treatments, including agricultural (dry farming and relatively poor lands that are usually cultivated barley and wheat and have low productivity), pasture (pastures with minimal vegetation and high slopes that are affected by overgrazing have been changed to barren lands), forest with Acacia type (under and outside the crown), forest with the *Cupressus arizonica* type (under and outside the crown) and forest with the *Pinus brutia* type (under and outside the crown) randomly. Sampling was done in 3 repetitions from the 0 to 5 cm layer. The statistical sampling design of this research was completely random, in which, according to the type of afforested species, two types of coniferous forest stands (including *Cupressus arizonica* and *Pinus brutia*) and one broadleaf stand (Acacia species) were selected. Also, the area under the crown trees and outside the crown trees was also investigated. Soil samples were sampled with sterile equipment and crushed through a 4-mm sieve. Fresh and moist soil was kept at 4 °C temperature for soil biological tests. Microbial biomass carbon, soil basal respiration (197 days), substrate-induced respiration, and metabolic quotient were measured. Streptomycin sulfate was used to measure fungal respiration and cycloheximide was used to measure bacterial respiration. The activities of urease, acid, and alkaline phosphatase enzymes were determined. After measuring the biological properties of the soil, the normality of the data was checked by the Anderson–Darling test, and the homogeneity of the variance of the treatments was checked by using Levene's test. Analysis of data variance was done using One-Way ANOVA and average data comparison was done using Duncan's test at 5 and 1% probability levels (SAS 9.4 and SPSS 26).

Results and Discussion

The results of soil biological characteristics analysis showed that the highest values of soil respiration and amount of consumed organic matter, substrate-induced respiration, microbial biomass carbon, enzyme activities, and fungal respiration were measured in conifers. Although the amount of these features was also significant in broadleaf trees, they had significant differences. In this study, the high soil respiration rate in coniferous covers compared to broadleaf can be due to the high organic carbon content of the soil in this cover. According to the results of substrate-induced respiration in different coatings, likely the activity of microorganisms involved in the

1, 2 and 3- Master's Degree in Soil Biology and Biotechnology, Associate Professor and Research Assistant, Department of Soil Science, Razi University, Kermanshah, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: beheshtiali97@gmail.com)
4- Assistant Professor, Department of Natural Resources Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran
5- Professor, Department of Soil Science, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

decomposition of organic matter in the studied habitats had a significant difference; Therefore, different coatings can affect the population of soil microorganisms as the main source of decomposition and emission of carbon dioxide by changing the quantity and quality of organic matter and other factors. Also, the highest values of metabolic quotient and bacterial respiration were observed in agricultural and pasture covers. A higher metabolic quotient in these covers indicates a decrease in the efficiency of the use of leaf litter by the soil microbial community. In general, the metabolic quotient in the bacterial community is higher than the fungal community; Therefore, it seems that the predominance of the bacterial population in agricultural and pasture cover has caused this index to increase, although plowing and cultivation, and disturbance of these covers have caused stress to this bacterial community and as a result increased the metabolic quotient deficit in these covers.

Conclusion

The results of this research showed that the type of planted tree species causes significant changes in the biological characteristics of the soil. The current research shows that the forest, whether coniferous or broadleaf, had the highest values of enzyme activities, basal respiration, substrate-induced respiration, microbial biomass carbon, and the lowest values of metabolic quotient compared to agricultural and pasture covers. Afforestation increases biological activity and possibly the number and diversity of microorganisms, and improves soil characteristics in the long term. In agriculture and pasture land, due to the destruction of soil and aggregates by agricultural activities such as plowing or excessive livestock grazing, the amount of organic carbon and the activity of microorganisms decreases, and with the decrease of other soil characteristics, the quality of the soil decreases over time. From this research, it can be concluded that the planting of forest species in the soils of degraded areas in the long term can increase soil organic carbon due to high-quality leaf litter, and as a result, increase permeability and soil moisture. Increasing soil organic carbon increases the activity of microorganisms, and in the long term, it will improve various soil characteristics. Planting forest plants in the natural areas of the country, which were destroyed due to the change of use to agriculture and indiscriminate cultivation and finally abandoned, can improve the characteristics of the soil and, as a result, establish the native vegetation of the region, and increase the permeability of water in the soil, the risk of soil erosion, floods, etc. reduce.

Keywords: Bacterial respiration, Enzyme activity, Fungal respiration, Microbial biomass, Organic matter

Journal of Water and Soil
https://jsw.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۳۶، شماره ۵، آذر-دی ۱۴۰۱، ص. ۶۱۰-۵۹۳

مقایسه فعالیت زیستی خاک در جنگل با درختان سوزنی‌برگ و پهن‌برگ در منطقه بیستون کرمانشاه

سحر مهرنوش[۱]- علی بهشتی آل آقا[۲]- فاطمه رخش[۳]- مرتضی پوررضا[۴]- علی اکبر صفری سنجانی[۵]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۲۸

چکیده

نگهداری و حفظ جنگل‌های دست کاشت در سرزمین‌های خشک و نیمه‌خشک وابسته به بررسی ویژگی‌های خاک است، زیرا این جنگل‌ها به‌مرور زمان ویژگی‌های خاک را تغییر داده و مطالعه این تغییرات موجب افزایش آگاهی و حفظ جنگل‌ها می‌شود. پژوهش کنونی با هدف بررسی پیامدهای خوب و بد این توده‌های گیاهی جنگلی بر کیفیت زیستی خاک انجام شد. دو نوع جنگل (سوزنی‌برگ و پهن‌برگ) که بر روی یک چشم‌انداز با درجه و جهت شیب یکسان بود انتخاب شدند. ۵ تیمار (زمین کشاورزی، زمین بکر، گونه اقاقیا، سرو نقره‌ای و درخت کاج) انتخاب شده و در ۳ تکرار از لایه صفر تا ۵ سانتی‌متر در دو بخش سایه‌انداز و دور از سایه‌انداز درخت به گونه تصادفی نمونه‌گیری مرکب از خاک انجام شد. نتایج تجزیه‌وتحلیل ویژگی‌های زیستی خاک نشان داد که بالاترین مقادیر ویژگی‌های تنفس خاک و مقدار ماده آلی مصرف‌شده (۱۲/۸۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، تنفس برانگیخته (۷۵۳/۹۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، کربن زیست‌توده میکروبی (۱/۰۴ میکروگرم کربن بر گرم کربن زیست‌توده میکروبی در روز)، فعالیت‌های آنزیمی و تنفس قارچی در سوزنی‌برگان اندازه‌گیری شد. اگرچه مقدار این ویژگی‌ها در پهن برگان نیز قابل‌توجه بود اما دارای تفاوت معنی‌داری بودند. همچنین بالاترین مقادیر کسر متابولیکی (۱/۰۴ و ۰/۹۹ میکروگرم کربن بر گرم کربن زیست‌توده میکروبی در روز) و تنفس باکتریایی (به ترتیب ۰/۶ و ۰/۷۸ میلی‌گرم دی اکسید کربن بر گرم خاک) در پوشش‌های کشاورزی و چراگاه مشاهده شد. نتایج نشان داد که در منطقه بیستون جنگل‌کاری با گونه‌های پهن‌برگ و به‌خصوص سوزنی‌برگ باعث بهبود کیفیت خاک نسبت به پوشش‌های کشاورزی و چراگاه شده است که می‌تواند وابسته به انباشتگی لاش برگ فراوان و خاستگاه کربن آلی برای ریزجانداران در این پوشش‌ها باشد.

واژه‌های کلیدی: تنفس باکتریایی، تنفس قارچی، زیست‌توده میکروبی، فعالیت آنزیم، ماده آلی

مقدمه

شکل‌گیری خاک در اکوسیستم‌های جنگلی با گونه‌های مختلف درختی متفاوت می‌باشد (Salehi *et al.*, 2012) بنابراین گونه‌های درختی بر روی موجودات زیستی خاک به گونه متفاوتی تأثیر دارد (Binkley, 2010). گونه‌های سوزنی‌برگ خاک پیرامون خود و زیر درخت را اسیدی کرده و مانع از رشد گونه‌های دیگر گیاهان می‌شود. از دیگر اثرات گونه‌های سوزنی‌برگ می‌توان به خاصیت دگرآسیبی کمبود رطوبت مورد نیاز پوشش علفی، کوبیدگی شدید خاک، تراکم زیاد پوشش گیاهی در واحد سطح، نور و حرارت کم و فراوانی لاش برگ و سوزنی‌های ریخته شده در زیر درختان سوزنی‌برگ، اشاره نمود

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک، دانشیار و دستیار پژوهشی گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

(*- نویسنده مسئول: Email: beheshtiali97@gmail.com)

۴- استادیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

۵- استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

DOI: 10.22067/JSW.2022.78164.1189

(Polyak and Sukcharevich, 2019). وجود سطوح جنگلی با گونه‌های گیاهی پهن‌برگ نیز موجب تغییر، افزایش و یا کاهش ویژگی‌های زیستی خاک مانند زیست‌توده میکروبی، تنفس و فعالیت آنزیمی می‌شود (Hölscher *et al.*, 2002).

درختان از طریق تولید اسیدهای آلی در برگ یا دیگر ترشحات می‌توانند بر اسیدیتی یا قابلیت دسترسی کلسیم خاک مؤثر باشند. درختان از طریق تأمین مقادیر مختلفی از مواد آلی با ترکیبات شیمیایی مختلف طی خزان یا ایجاد لاش برگ روی خاک بر آن تأثیر می‌گذارند (Hur *et al.*, 2009; Cai *et al.*, 2017). تجزیه و فساد برگ و شاخه‌های درختان در کف جنگل موجب تغییر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک می‌شود (Binkley, 2010). تنوع و فراوانی ریزجانداران مختلف خاک، از جمله انواع باکتری‌ها و قارچ‌ها، که منبع بسیاری از آنزیم‌های خاک هستند، تحت تأثیر تجزیه و تخریب لاش برگ درختان قرار می‌گیرد (Deharveng, 2011).

ریزجانداران خاک بخش مهمی از اکوسیستم هستند و نقش حیاتی در تجزیه لاش برگ درخت، معدنی شدن عناصر غذایی و استفاده پایدار از اکوسیستم جنگل ایفا می‌کنند (Yang *et al.*, 2018). متفاوت بودن نوع پوشش اراضی و تفاوت گونه‌های درختی کاشته شده اثر قابل‌توجهی روی کربن زیست‌توده میکربی و نیتروژن خاک دارد (Soleimani *et al.*, 2019). به‌خوبی مشخص‌شده است که همراه با تغییر در شیمی خاک، زیست‌توده میکروبی و ساختار جامعه میکروبی خاک نیز می‌تواند تحت تأثیر نوع گونه درختی قرار گیرد (Iovieno *et al.*, 2010). در بیشتر مطالعات سرعت تنفس کمتر سوزنی‌برگان در مقایسه با پهن‌برگان گزارش‌شده که احتمالاً به دلیل حذف برخی ریزجانداران به‌ویژه قارچ‌های اندومیکوریز در جنگل‌کاری با سوزنی‌برگان و به دنبال آن کاهش تنوع جامعه میکروبی خاک تحت کشت سوزنی‌برگان می‌تواند باشد (Bakhshipour *et al.*, 2013). مطالعات اثبات کرده‌اند که گونه‌های سوزنی‌برگ در مقایسه با پهن‌برگ به دلیل تفاوت در ترکیب مواد آلی ورودی به خاک (لیگنین، سلولز و پلی فنل) و تجزیه کند لاش برگ فعالیت‌های میکروبی کمتری دارند (Kooch and Zoghi, 2012). به‌طورکلی در خاک‌های محتوی رس بیش‌تر و pH قلیایی‌تر (خاک معمول در مناطق با پوشش پهن‌برگ) میزان زی‌توده میکروبی کربن بیشتر است (Jones *et al.*, 2019).

کوچ و پارسا پور (Kooch and Parsapoor, 2016) اثر پوشش‌های جنگلی پهن‌برگ و سوزنی‌برگ را بر شاخص‌های میکروبی خاک بررسی نمودند. نتایج حاکی از آن بود که بیش‌ترین مقادیر مشخصه‌های تنفس میکروبی، کربن زیست‌توده میکروبی، نسبت زیست‌توده میکروبی کربن به نیتروژن و ضریب متابولیکی به پوشش جنگلی کاج سیاه اختصاص داشت. درحالی‌که بالاترین نیتروژن زیست‌توده میکروبی خاک در توده جنگلی توسکا ییلاقی مشاهده شد. مقدار آنزیم‌های اوره آز و دهیدروژناز و هم‌چنین میزان زیست‌توده میکروبی، کربن آلی و نیتروژن در توده طبیعی توسکا بیشتر از توده دست کاشت کاج تدا بود. توده توسکای قشلاقی نسبت به کاج تدا شرایط مناسب‌تری را برای تولید مواد آلی، زیست‌توده میکروبی و فعالیت ریزجانداران خاک فراهم می‌آورند (Salehi *et al.*, 2012).

یانگ و همکاران (Yang *et al.*, 2018) در بررسی تأثیر کاشت گونه‌های درختی صنوبر، کاج کره‌ای، کاج اروپایی و کاج مغولی مشاهده کردند که در تمامی گونه‌های درختی کربن آلی خاک، نیتروژن کل و فسفر کل، در مقایسه با جنگل‌زدایی بالاتر بود و در میان گونه‌ها در گونه صنوبر بسیار بالاتر بود. محتوای فنول خاک نیز در مقایسه با جنگل‌زدایی بسیار بالاتر بود. تمامی گونه‌ها به‌جز کاج مغولستان، زیست‌توده میکروبی خاک را در مقیاس‌های مختلف نسبت به زمین‌های رهاشده (جنگل‌زدایی) بهبود دادند. تجزیه و تحلیل‌ها نشان داد که گونه‌های درختی به‌طور قابل‌توجهی روی ترکیب و ساختار جامعه میکروبی خاک تأثیر می‌گذارند.

آگوستو و همکاران (Agusto *et al.*, 2002) تأثیر چندین گونه رایج درختی اروپایی را روی حاصلخیزی خاک مورد بررسی قراردادند. در این پژوهش مشخص گردید سرعت معدنی شدن ماده آلی و نیتریفیکاسیون، بستگی به گونه درختی دارد. گونه سوزنی‌برگ کاج نوئل دارای اثرات منفی روی برخی عناصر غذایی مانند کلسیم و منیزیم بود. این‌گونه باعث افزایش روند اسیدی شدن خاک گردید و نتیجه‌گیری شد چنین گونه‌های درختی نباید در خاک‌های بسیار فقیر از عناصر غذایی به‌خصوص در مناطقی که تحت تأثیر رسوبات اسیدی قرارگرفته‌اند، کاشته شوند. نمونه‌برداری از عمق صفر تا ۵ سانتی‌متری خاک تحت تأثیر گونه‌های سوزنی‌برگ (*Dacrycarpus imbricatus* and *Dacrydium gracilis*) و پهن برگ (*Lithocarpus clementianus*, *Palaquium rioence*, and *Tristaniopsis clementis*) نشان داد که فعالیت فسفاتاز اسیدی و بتا-گلوکوزیداز بین گونه‌های درختی متفاوت بود و فعالیت این آنزیم‌ها در خاک تحت تأثیر گونه‌های سوزنی‌برگ بالاتر بود؛ اما فعالیت فنول اکسیداز بین گونه‌های مختلف درختی از تفاوتی معنادار برخوردار نبود. بیشتر ویژگی‌های خاک در بین گونه‌های درختی تفاوت زیادی نداشتند (Ushio *et al.*, 2010).

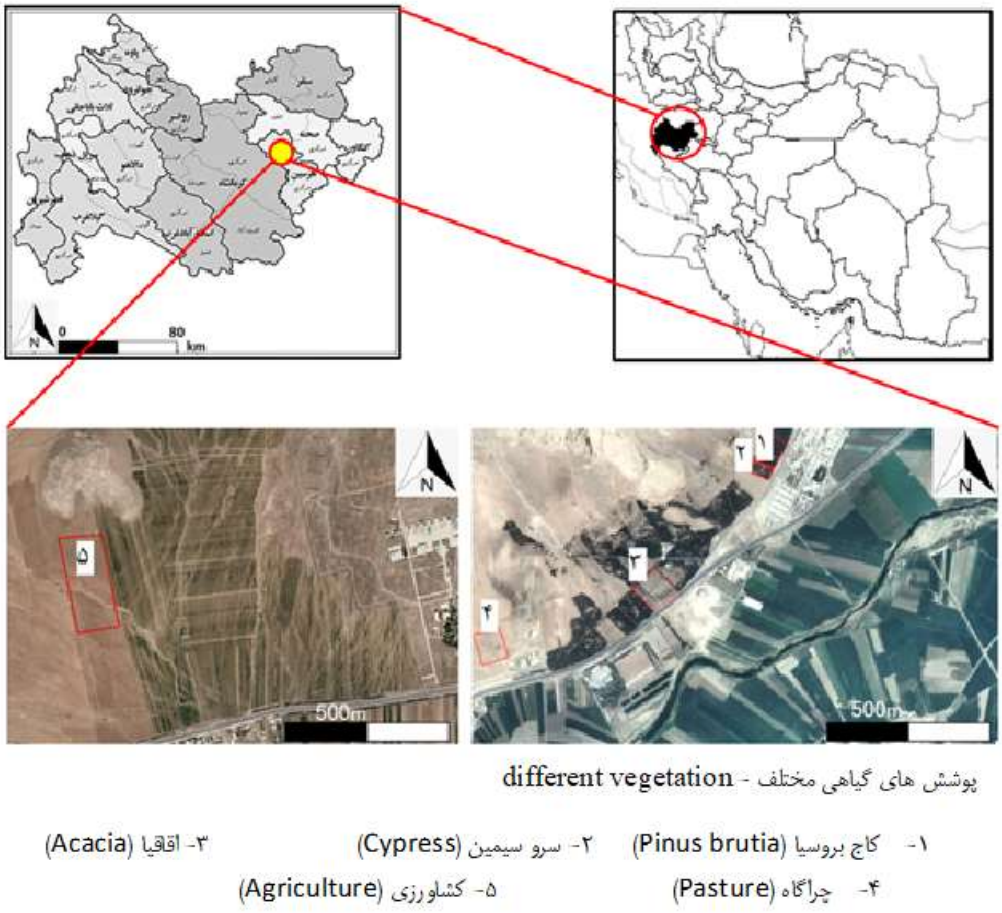
در سال‌های اخیر و با توجه به گزارش‌های اداره حفاظت محیط‌زیست استان کرمانشاه، خاک منطقه جنگل‌کاری شده بیستون کرمانشاه با توده‌های درختان پهن‌برگ و سوزنی‌برگ نظیر بروسیا (*Pinus brutia Ten*) و توده‌های پهن‌برگ مانند اقاقیا (*Robinia*)، زبان‌گنجشک (*Fraxinus excelsior*)، بادام‌کوهی (*Amygdalus scoparia Spach*) و سرو نقره‌ای (*Cupressus arizonica Green*) تحت تأثیر استفاده از گیاهان ناسازگار با اقلیم این منطقه قرارگرفته و توجه به نوع گونه انتخابی برای جنگل‌کاری و مطالعه تأثیر نوع گونه

بر کیفیت خاک موجب پایداری طولانی‌مدت این عرصه‌های جنگل‌کاری می‌شود. پژوهش حاضر به‌منظور بررسی آثار مثبت و منفی این توده‌های گیاهی جنگلی بر کیفیت زیستی خاک انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه، در استان کرمانشاه، در منطقه جنگل‌کاری شده بیستون در غرب ایران واقع می‌باشد (شکل ۱). بر پایه اطلاعات ایستگاه هواشناسی کرمانشاه میانگین بارش منطقه ۴۰۰ تا ۴۵۰ میلی‌متر در سال و متوسط حداکثر دما ۳۰ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد و متوسط حداقل دمای آن ۱۲- تا ۱۳- درجه سانتی‌گراد است. بیشترین میزان بارندگی در فصول پاییز تا بهار انجام‌شده و تابستان خشک در منطقه حاکم می‌باشد. پوشش غالب در این منطقه بلوط، زالزالک، نسترن، یونجه و شنبلیله می‌باشد.

به‌منظور بررسی خصوصیات بیولوژیک خاک از ۵ تیمار شامل کاربری کشاورزی (اراضی دیم و نسبتاً فقیری که معمولاً تحت کشت جو و گندم قرار می‌گیرند و باردهی کمی دارند)، کاربری چراگاه (مراتعی با حداقل پوشش گیاهی و شیب زیاد که در اثر تردد و چرای بیش از ظرفیت دام به سمت اراضی بایر سوق داده شده‌اند)، کاربری جنگل با تیپ اقاقیا (زیر تاج بیرون تاج)، کاربری جنگل با تیپ سرو نقره‌ای (زیر تاج بیرون تاج) و کاربری جنگل با تیپ کاج (زیر تاج بیرون تاج) به‌صورت تصادفی در ۳ تکرار از لایه صفر تا ۵ سانتی‌متری نمونه‌برداری انجام شد (شکل‌های ۲ و ۳). طرح آماری نمونه‌برداری این پژوهش کاملاً تصادفی بود که در آن با توجه به نوع گونه جنگل‌کاری شده دو نوع توده جنگلی سوزنی‌برگ (شامل توده سرو سیمین و کاج بروسیا) و یک توده پهن‌برگ (گونه اقاقیا) انتخاب شد. همچنین در داخل این توده‌ها محدوده زیر تاج درختان و خارج از تاج درختان نیز مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۳). نمونه‌های خاک با لوازم استریل نمونه‌برداری و از الک ۴ میلی‌متری الک شدند. خاک تازه و دارای رطوبت و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد برای انجام آزمایش‌های بیولوژیک خاک نگهداری شد.

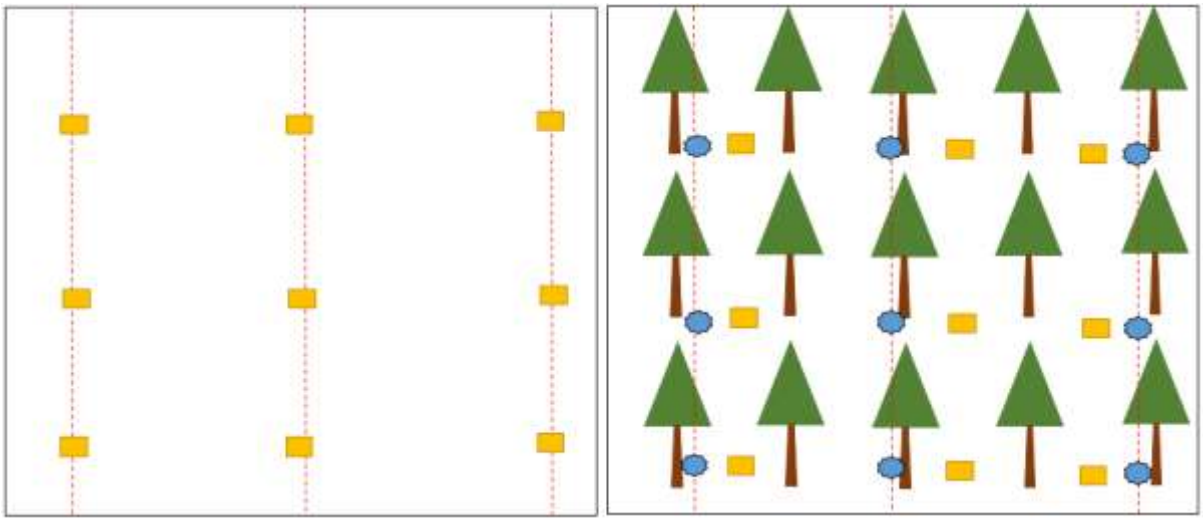


شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در شهرستان بیستون

Figure 1- Location of the studied area in Biston city

شکل ۲- موقعیت مناطق نمونه‌برداری شده

Figure 2- The location of the sampled areas



شکل ۳- الگوی نمونه‌برداری از خاک جنگل (راست) و چراگاه و کشاورزی (چپ)

دایره آبی: نمونه‌های زیر تاج درختان مربع زرد: نمونه‌های خاک بیرون تاج درختان

در هر یک از کاربری‌ها سه ترانسکت در نظر گرفته شد و در امتداد هر ترانسکت تعداد ۱۵ تا ۲۰ نمونه خاک برداشته شده که پس از مخلوط کردن آن‌ها با هم، یک نمونه ترکیبی از خاک به دست آمد. در هر کاربری ۳ نمونه خاک ترکیبی برداشت شد.

Figure 3- Sampling pattern of forest soil (right) and pasture and agriculture (left)

Blue circle: samples under tree crowns. Yellow Square: soil samples outside tree crowns

In each of the land uses, three transects were considered and 15 to 20 soil samples were taken along each transect, and after mixing them together, a composite soil sample was obtained. 3 mixed soil samples were taken for each land use.

کربن زیست‌توده میکروبی، تنفس پایه خاک (۱۹۷ روز)، تنفس برانگیخته و کسر متابولیکی به روش نانی پیری و الف (Nannipieri and Alef, 1995) اندازه‌گیری شدند. درصد کربن آلی به دست آمده در عدد ۱/۷۲ ضرب شده تا ماده آلی معادل در خاک تعیین گردد. برای اندازه‌گیری تنفس قارچی و باکتری ابتدا ۲۵ گرم خاک را وزن کرده آن را بر روی یک فویل پخش کرده سپس برای اندازه‌گیری هرکدام به گونه جدا تنفس قارچی مقدار ۰/۳ گرم پادزیست استرپتو مایسین سولفات و برای اندازه‌گیری تنفس باکتریایی مقدار ۰/۲۵۳ گرم پادزیست سیکلو هگزامید در ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل کرده و به خاک اسپری و درون ظرف‌های درب‌دار ریخته شد سپس ۱۲ میلی‌لیتر سود ۰/۵ نرمال را درون ظرف کوچک‌تر ریخته و بر نمونه‌های خاک گذاشته شد و بعد از مدت ۱۶ ساعت با اسید ۰/۵ نرمال به همراه شناساگر فنول فتالئین تیتر شد (Anderson and Domsch, 1985). آنزیم اوره آز به روش کندلر و گربر (Kandeler and Gerber, 1988)، آنزیم فسفاتاز اسیدی و قلیایی به روش طباطبایی و برمنر (Tabatabai and Bremner, 1969) تعیین شدند.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس داده‌ها بر ویژگی‌های بیولوژیکی خاک

Table 1- The analysis of variance of data on biological properties of soil

Sources of variance منابع تغییرات	df	MBC کربن زیست‌توده میکروبی	OC (used) کربن آلی	SIR تنفس برانگیخته	qCO_2 کسر متابولیکی	AP آنزیم فسفاتاز اسیدی	ALP آنزیم فسفاتاز قلیایی	Urease اوره‌آز	Fungi تنفس قارچی	Bacteria تنفس باکتریایی
نوع پوشش گیاهی Type of vegetation	7	162043**	16.54*	207597**	0.08**	104655**	62274.8**	200.59**	0.06**	0.08**
خطای آزمایشی Error	14	437	10.58	559	0.0005	2831	1531.9	3.80	0.008	0.004

** و * به‌ترتیب در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار و ns اختلاف معنی‌دار نیست.

**and * significant at 1% and 5% and ns, not significant respectively.

پس از اندازه‌گیری ویژگی‌های بیولوژیک خاک، نرمال بودن داده‌ها توسط آزمون اندرسون- دارلین[1] و همگن بودن واریانس تیمارها با استفاده از آزمون له ون[2] بررسی شد. تجزیه واریانس داده‌ها به کمک آنالیز واریانس یک‌طرفه (One- Way ANOVA) و مقایسه میانگین داده‌ها با کمک آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد (SAS 9.4 و SPSS 26) صورت گرفت.

نتایج و بحث

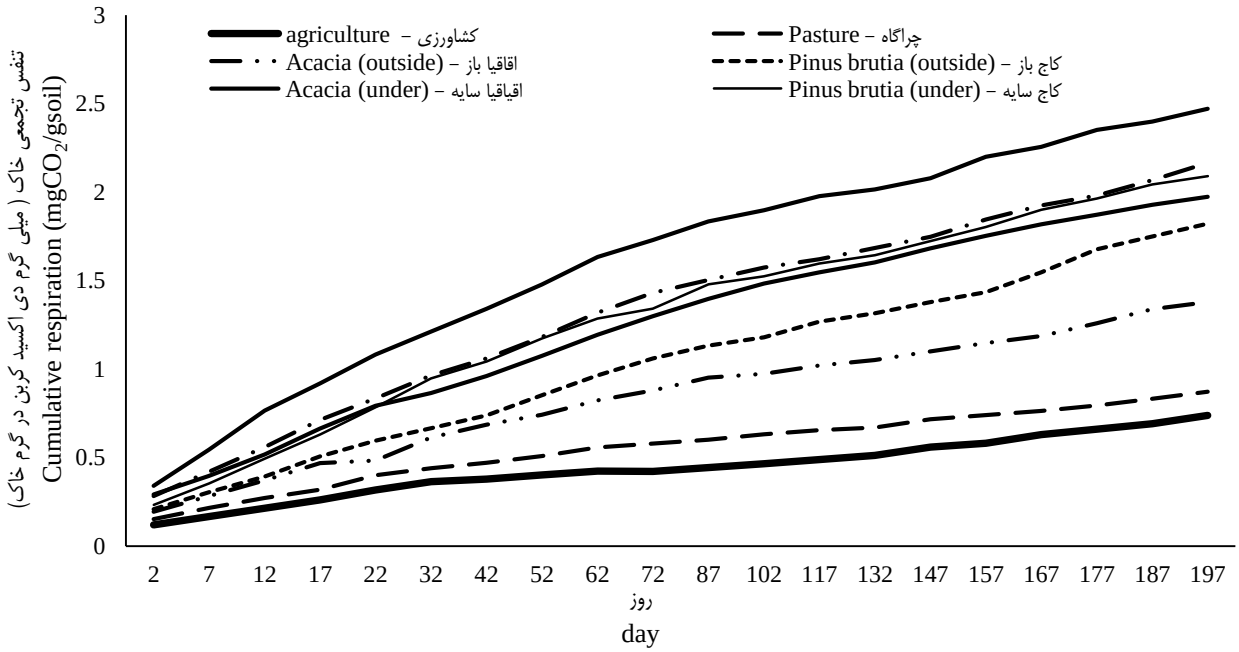
تنفس خاک و مقدار ماده آلی مصرف شده

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، تأثیر پوشش‌های مختلف بر تنفس میکروبی خاک و مقدار ماده آلی مصرف شده به ترتیب در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). تغییرات مقدار تنفس تجمعی در طول دوره آزمایش در شکل ۴ نشان داده شده است. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که پوشش سرو در محیط سایه، دارای بالاترین مقدار تنفس تجمعی خاک بود که در مقایسه با دیگر پوشش‌ها از تفاوت معنی‌داری برخوردار بود. پس از پوشش سرو، پوشش‌ها از نظر میزان تنفس تجمعی شامل کاج در محیط سایه، سرو در محیط باز، اقاقیا در محیط سایه، کاج در محیط باز و اقاقیا در محیط باز بود. کم‌ترین مقدار تنفس تجمعی نیز در پوشش کشاورزی و پوشش چراگاه مشاهده شد (شکل ۴). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که مقدار ماده آلی مصرف شده در پوشش سرو با مقدار ۱۲/۹ گرم در طی ۱۹۷ روز تنفس پایه، بیشتر از دیگر پوشش‌ها می‌باشد که از نظر آماری دارای تفاوت معنی‌دار می‌باشد؛ اما کم‌ترین مقدار ماده آلی مصرف شده در پوشش کشاورزی با مقدار ۵/۲۴ گرم در طی ۱۹۷ روز تنفس پایه مشاهده شد (شکل ۵).

در این پژوهش بالا بودن تنفس خاک در پوشش‌های سوزنی‌برگ در مقایسه با پهن‌برگ می‌تواند ناشی از بالا بودن کربن آلی خاک در این پوشش باشد (Mallik and Hu, 1997). در پژوهش‌ها گزارش شده است که ماده آلی خاک به‌طور معناداری با تنفس میکروبی خاک مرتبط است و از مهم‌ترین پارامترهای کنترل کننده آن است (Soleimani *et al*., 2019). کوچ و ذوقی (Kooch and Zoghi, 2014) نیز اظهار داشتند که بین تنفس میکروبی و کربن آلی همبستگی مثبت وجود دارد. نتایج حاصل از مقدار کربن آلی مصرف شده نیز بیانگر آن است که بیش‌ترین کربن آلی مصرف شده مرتبط با پوشش سرو است که نشان می‌دهد کربن آلی بیشتری صرف تنفس خاک کرده است. در پژوهش کوچ و پارساپور (Kooch and Parsapoor, 2016) مطابق با نتایج به دست آمده، بیش‌ترین میزان تنفس میکروبی خاک در پوشش‌های جنگلی سوزنی‌برگ (کاج سیاه و زربین) مشاهده شد که گزارش کردند این امر می‌تواند در ارتباط با درصد بالای کربن آلی خاک باشد که در تأیید و هم‌سو با نتایج این پژوهش است. در این پژوهش پس از سوزنی‌برگان، پوشش پهن‌برگ نیز دارای میزان تنفس میکروبی بالا بود. بالاتر بودن سرعت تنفس در گونه‌های پهن‌برگ می‌تواند ناشی از کیفیت بالای لاش برگ و رطوبت بالا در این خاک‌ها باشد (Ayres *et al*., 2009). مطابق با نتایج حاصل از این پژوهش، تحقیقات بخشی پور و همکاران (Bakhshipour *et al*., 2012) نشان داد که در منطقه فیدره لاهیجان، میزان تنفس میکروبی خاک در پوشش سوزنی‌برگ (کاج تدا) بیش‌تر از پوشش پهن‌برگ (صنوبر دلتوئیدس) است؛ اما در تضاد با نتایج حاصل از این پژوهش، قربان زاده و همکاران (Ghorbanzadeh *et al*., 2018) مشاهده نمودند که شاخص‌های میکروبی خاک در جنگل‌کاری‌های سوزنی‌برگ (کاج تدا) و پهن‌برگ (صنوبر) در غرب استان گیلان بالاترین تنفس میکروبی خاک در پوشش پهن‌برگ می‌باشد. از نظر آماری تفاوت معنی‌داری بین کاربری‌های مختلف به‌جز کشاورزی در مصرف ماده آلی وجود ندارد. این امر احتمالاً به دلیل بالا بودن میزان اولیه ماده آلی در کاربری‌های مورد بررسی می‌باشد.

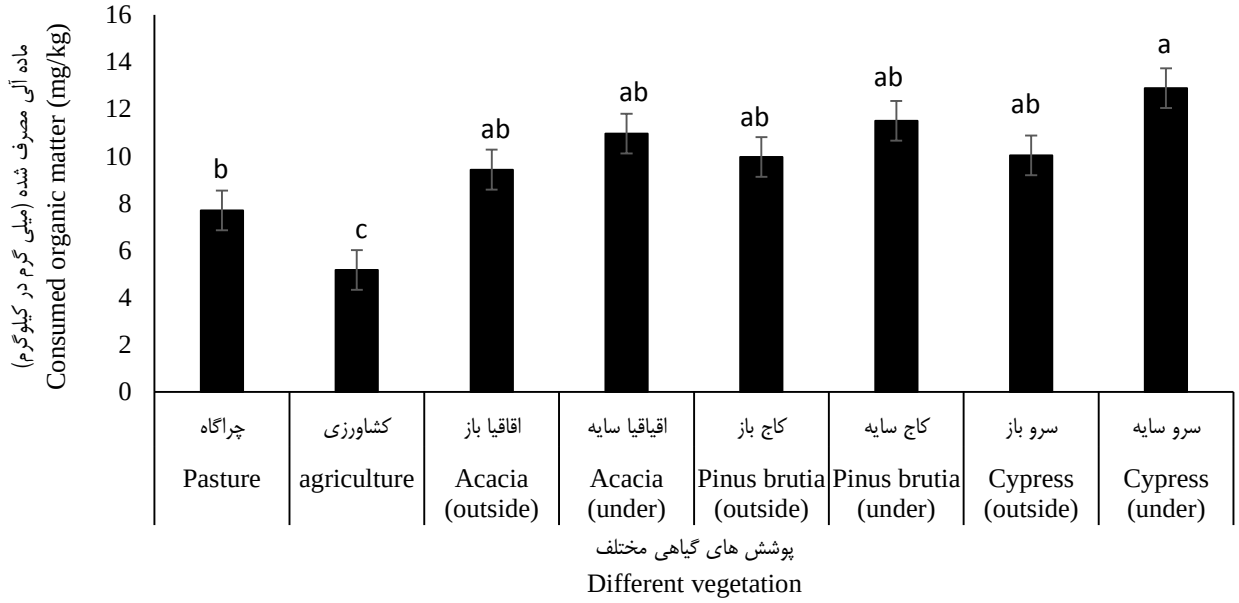
1- Anderson-Darling Test

2- Levene's Test



شکل ۴- مقایسه میانگین محتوای تنفس تجمعی خاک در پوشش‌های گیاهی مختلف

Figure 4- Comparison of the average cumulative soil respiration content in different vegetation (Outside: outside tree crowns, under: under tree crowns)



شکل ۵- مقایسه میانگین ماده آلی مصرف شده خاک در پوشش‌های گیاهی مختلف

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه از نظر آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Figure 5- Comparison of the average soil organic matter used in different vegetation (Outside: outside tree crowns, under: under tree crowns)

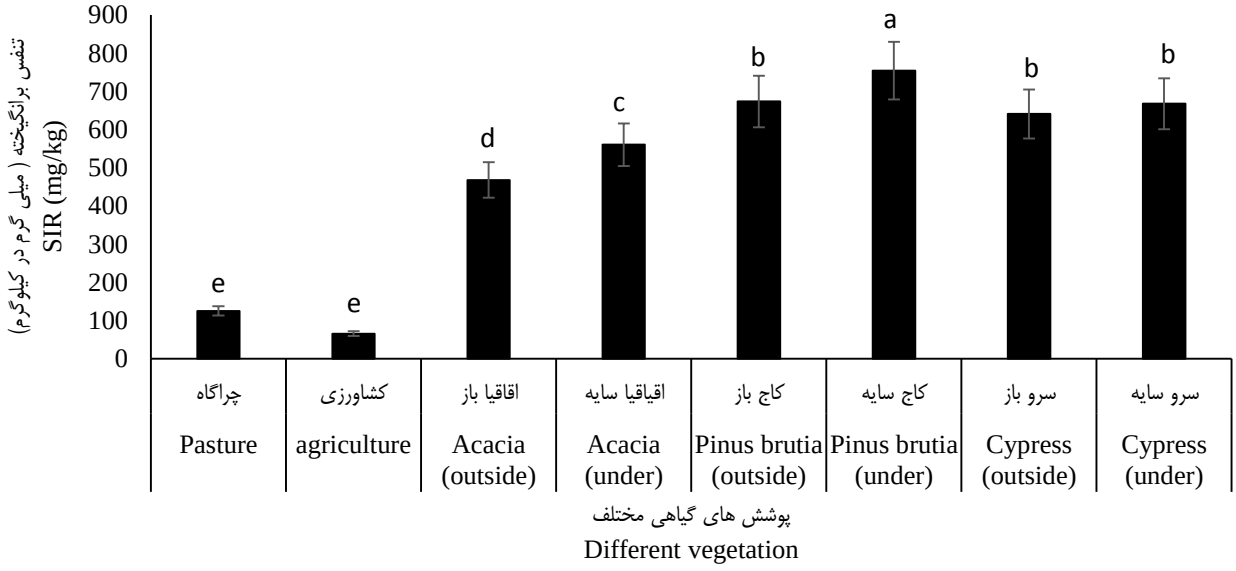
In each column, means with similar letters don't have significantly different in probability level of 5%, from the view point of Duncan's multiple range tests

نتایج پژوهش سینگ و همکاران (Singh *et al.*, 2018) نیز بیانگر کاهش تنفس میکروبی خاک در کاربری کشاورزی در مقایسه با پوشش‌های جنگلی، به دلیل کمبود مواد آلی ورودی به خاک است. در پژوهش سلیمانی و همکاران (Soleimani *et al.*, 2019) گزارش کردند که پایین بودن میزان تنفس خاک در اراضی کشاورزی می‌تواند ناشی از کشت و کار، فرسایش خاک، مدیریت نامناسب، شخم و خاک‌ورزی خاک باشد. کیانی و همکاران (Kiani *et al.*, 2004) در بررسی پوشش اراضی بر روی ویژگی‌های خاک استان گلستان دریافتند که تنفس میکروبی خاک در اراضی جنگلی بیشتر از اراضی زراعی است که هم‌سو با یافته‌های این پژوهش است. همچنین خرمعلی و شمسی (Khormali and Shamsi, 2009) نشان دادند که تنفس میکروبی خاک در اراضی بایر به‌طور معنی‌دار پایین‌تر از رویشگاه‌های جنگل‌کاری شده است.

تنفس برانگیخته (SIR)

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، تأثیر پوشش‌های مختلف بر مقدار تنفس برانگیخته خاک در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که پوشش کاج با مقدار ۷۵۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم دارای بالاترین مقدار تنفس برانگیخته خاک است که در مقایسه با دیگر پوشش‌ها از تفاوت معنادار برخوردار بود. همچنین نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که پوشش سرو نیز با مقدار ۶۶۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم و پوشش اقاقیا با مقدار ۵۵۶/۱۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم دارای مقادیر بالایی از تنفس برانگیخته می‌باشند. کمترین مقادیر تنفس برانگیخته نیز در پوشش زمین کشاورزی (۶۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و چراگاه (۱۲۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد (شکل ۶).

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که نوع پوشش در رویشگاه‌های جنگلی و غیر جنگلی اثرات عمده‌ای بر روی ویژگی‌های خاک، به‌ویژه ویژگی‌های میکروبی و بیوشیمیایی دارد. با توجه به نتایج حاصل از تنفس برانگیخته در پوشش‌های مختلف، می‌توان این احتمال را مطرح کرد که فعالیت ریزجانداران دخیل در تجزیه مواد آلی در رویشگاه‌های مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری داشتند؛ بنابراین پوشش‌های مختلف می‌توانند با تغییر در کمیت و کیفیت مواد آلی و سایر عوامل، بر روی جمعیت ریزجانداران خاک به‌عنوان اصلی‌ترین منبع تجزیه و انتشار دی اکسید کربن تأثیرگذار باشند (Kooch and Zoghi, 2014). کمیت و کیفیت لاش برگ از پارامترهای بسیار مؤثر بر میزان فعالیت میکروبی خاک گزارش شده است (Kooch *et al.*, 2012).



شکل ۶- مقایسه میانگین تنفس برانگیخته خاک در پوشش‌های گیاهی مختلف

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه از نظر آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Figure 6- Comparison of the average substrate-induced respiration (SIR) in different vegetation (Outside: outside tree crowns, under: under tree crowns)

In each column, means with similar letters don't have significantly different in probability level of 5%, from the view point of Duncan's multiple range tests

همچنین ونی و همکاران (Wani *et al.*, 2018) کاهش فعالیت‌های میکروبی خاک در پوشش کشاورزی را به دلیل بالا بودن نسبت کربن به نیتروژن خاک دانسته‌اند. پارامترهای بسیاری می‌توانند بر فعالیت‌های میکروبی خاک اثرگذار باشند، به‌طوری‌که نتایج بسیاری از پژوهش‌ها بیانگر آن است که افزایش رطوبت، سرعت بالای تجزیه، افزایش مقدار نیتروژن خاک و کاهش نسبت کربن به نیتروژن خاک سبب افزایش فعالیت میکروبی (تنفس پایه و برانگیخته) می‌شوند (Neatrour *et al.*, 2005)؛ اما در این پژوهش به نظر می‌رسد علت اصلی پایین بودن تنفس برانگیخته در پوشش کشاورزی و چراگاه در مقایسه با پوشش‌های جنگلی پایین بودن سطح ماده آلی خاک می‌باشد. همچنین در پوشش کشاورزی به دلیل تخریب جامعه میکروبی به‌ویژه از بین رفتن هیف‌های قارچی، برهم خوردن چرخه عناصر غذایی و عدم برگشت لاش برگ و بقایا به خاک جامعه میکروبی بسیار ضعیف شده است که حتی به حضور یک سوبسترای بسیار خوب هم عکس‌العمل مناسبی نشان نمی‌دهد.

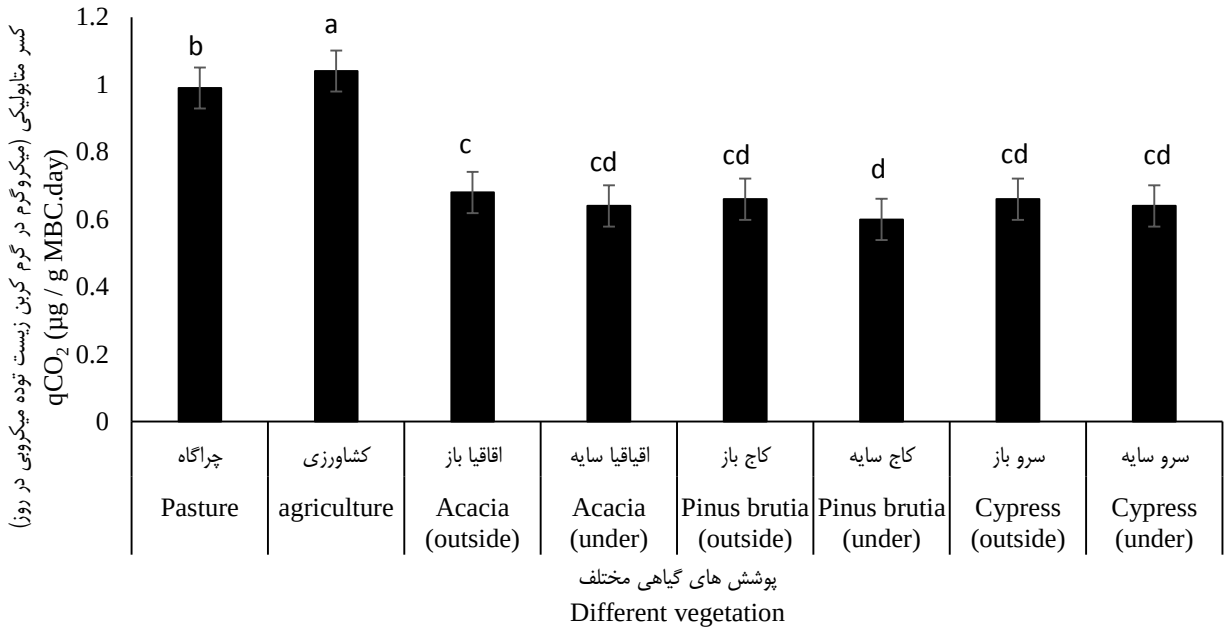
کسر متابولیکی (qCO_2)

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، تأثیر پوشش‌های مختلف بر کسر متابولیکی خاک در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که پوشش کشاورزی با مقدار (۱/۰۳ واحد) و پوشش چراگاه با مقدار (۰/۹۸ واحد) دارای بالاترین کسر متابولیکی خاک بودند که در مقایسه با دیگر پوشش‌ها از تفاوت معنادار برخوردار بودند. در بین بقیه پوشش‌های مورد بررسی تفاوت معنادار مشاهده نشد. کمترین مقدار کسر متابولیکی خاک نیز در پوشش کاج در محیط سایه با مقدار (۰/۶ واحد) مشاهده شد (شکل ۷). تحت شرایط تنش مانند تخریب جنگل، چرای دام و تغییر کاربری اراضی این ضریب افزایش می‌یابد، زیرا ریزجانداران خاک برای حفظ توده زنده خود به صرف انرژی بیشتری نیازمند هستند (Ghorbanzadeh *et al.*, 2018). هرچه عملکرد ریزجانداران با کارایی بیشتری انجام شود، لایه کربن بیشتر با زیست‌توده ترکیب شده و واحد کمتری از کربن زیست‌توده از طریق تنفس هدر می‌رود و در نتیجه کسر متابولیک کاهش می‌یابد (Behera and Sahani, 2003). در این پژوهش پوشش‌های کشاورزی و چراگاه کسر متابولیک بالاتری در مقایسه با پوشش‌های جنگلی داشتند. کسر متابولیکی بالاتر در این پوشش‌ها نشان‌دهنده کاهش کارایی استفاده از لاش برگ توسط جامعه میکروبی خاک است. به‌طورکلی کسر متابولیکی در جامعه باکتریایی بالاتر از جامعه قارچی می‌باشد؛ لذا به نظر می‌رسد در پوشش کشاورزی و چراگاه، غالب بودن جمعیت باکتریایی سبب افزایش این شاخص شده باشد که البته شخم و کشت و کار و آشفتگی این پوشش‌ها سبب وارد شدن تنش به این جامعه باکتریایی و در نتیجه باعث افزایش کسر متابولیکی در این پوشش‌ها شده است. در پژوهشی توسط رسولی‌صدقیانی و همکاران (Rasouli-Sadaghiani *et al.*, 2018) گزارش شد که کسر متابولیکی بین پوشش‌های جنگل، چراگاه و کشاورزی تفاوت معناداری را نشان نداد اما بالاترین مقدار این ضریب در پوشش کشاورزی مشاهده شد که هم‌سو با نتایج این پژوهش می‌باشد. در پژوهشی دیگر مو و همکاران (Mu *et al.*, 2014) گزارش کردند که کسر متابولیکی در سوزنی‌برگان نسبت به پهن‌برگان بالاتر می‌باشد که در تضاد با نتایج این پژوهش می‌باشد.

کربن زیست‌توده میکروبی (MBC)

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، تأثیر پوشش‌های مختلف بر مقدار کربن زیست‌توده میکروبی خاک در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که پوشش کاج با مقدار ۱۰۳۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم دارای بالاترین مقدار کربن زیست‌توده میکروبی خاک است که در مقایسه با دیگر پوشش‌ها از تفاوت معنادار برخوردار بود. همچنین نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که پوشش سرو نیز با مقدار ۹۶۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم دارای مقادیر بالایی از کربن زیست‌توده میکروبی می‌باشد. کم‌ترین مقادیر کربن زیست‌توده میکروبی خاک نیز در پوشش زمین کشاورزی (۴۲۸/۳۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و چراگاه (۴۷۷/۹۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد (شکل ۸).

بالاتر بودن میزان کربن زیست‌توده میکروبی در سوزنی‌برگان در مقایسه با دیگر پوشش‌ها، می‌تواند ناشی از محتوای کربن آلی بیشتر پوشش‌های سوزنی‌برگ باشد؛ زیرا مقدار این ویژگی در خاک به‌طور مستقیم وابسته به کربن آلی و سرعت ورود کربن به خاک می‌باشد (Zeng *et al.*, 2015). هم‌سو با نتایج این پژوهش، کوچ و پارساپور (Kooch and Parsapoor, 2016) گزارش کردند که بیش‌ترین مقدار کربن زیست‌توده میکروبی به پوشش‌های جنگلی سوزنی‌برگ (کاج سیاه و زربین) اختصاص داشت و کم‌ترین مقدار کربن زیست‌توده میکروبی از بین پوشش‌های پهن‌برگ در پوشش توسکا مشاهده شد. در پژوهش دیگری موافق با نتایج این پژوهش یاداوا (Yadava, 2012) گزارش کرد که کاشت گونه‌های درختی *Acacia catechu* و *Dalbergia sisso* بعد از ۲۶ سال، باعث افزایش معنادار در میزان زیست‌توده میکروبی خاک نسبت به جنگل پهن‌برگ مجاور شده است.

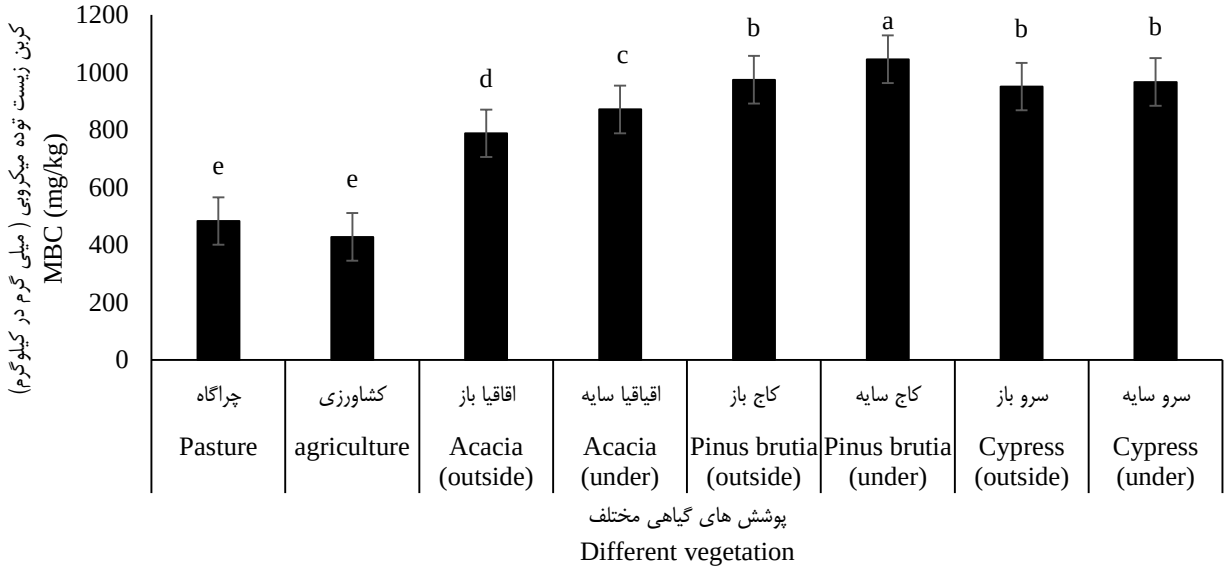


شکل ۷- مقایسه میانگین کسر متابولیکی خاک در پوشش‌های گیاهی مختلف

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه از نظر آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Figure 7- Comparison of the average soil metabolic quotient in different vegetation (Outside: outside tree crowns, under: under tree crowns)

In each column, means with similar letters don't have significantly different in probability level of 5%, from the view point of Duncan's multiple range tests



شکل ۸- مقایسه میانگین کربن زیست‌توده میکروبی خاک در پوشش‌های گیاهی مختلف

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه از نظر آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Figure 8- Comparison of the average soil microbial biomass carbon in different vegetation (Outside: outside tree crowns, under: under tree crowns)

In each column, means with similar letters don't have significantly different in probability level of 5%, from the view point of Duncan's multiple range tests

در مقایسه با پوشش‌های جنگلی، پایین بودن کربن زیست‌توده میکروبی خاک در پوشش‌های کشاورزی و چراگاه می‌تواند ناشی از کشت و کار، فرسایش خاک، مدیریت نامناسب، شخم و خاک‌ورزی خاک باشد (Soleimani *et al.*, 2019). به‌طورکلی به دلیل تفاوت در شیوه‌ها و مدیریت کشاورزی و در دسترس بودن منابع و ترکیب گیاهان، کربن زیست‌توده میکروبی معمولاً در مزارع کشاورزی کاهش می‌یابد (Soleimani *et al.*, 2019). هم‌چنین در این پژوهش پایین‌ترین سطح کربن آلی خاک در این پژوهش‌ها مشاهده شد که پایین بودن کربن زیست‌توده میکروبی خاک می‌تواند به این علت باشد. در پژوهشی هم‌سو با نتایج این پژوهش اسلام و ویل (Islam and Weil, 2000) گزارش دادند که در مقایسه با جنگل‌ها، کربن زیست‌توده میکروبی در خاک‌های کشاورزی حدود ۴۰ درصد کمتر است.

آنزیم‌های فسفاتاز (فسفاتاز اسیدی و قلیایی)

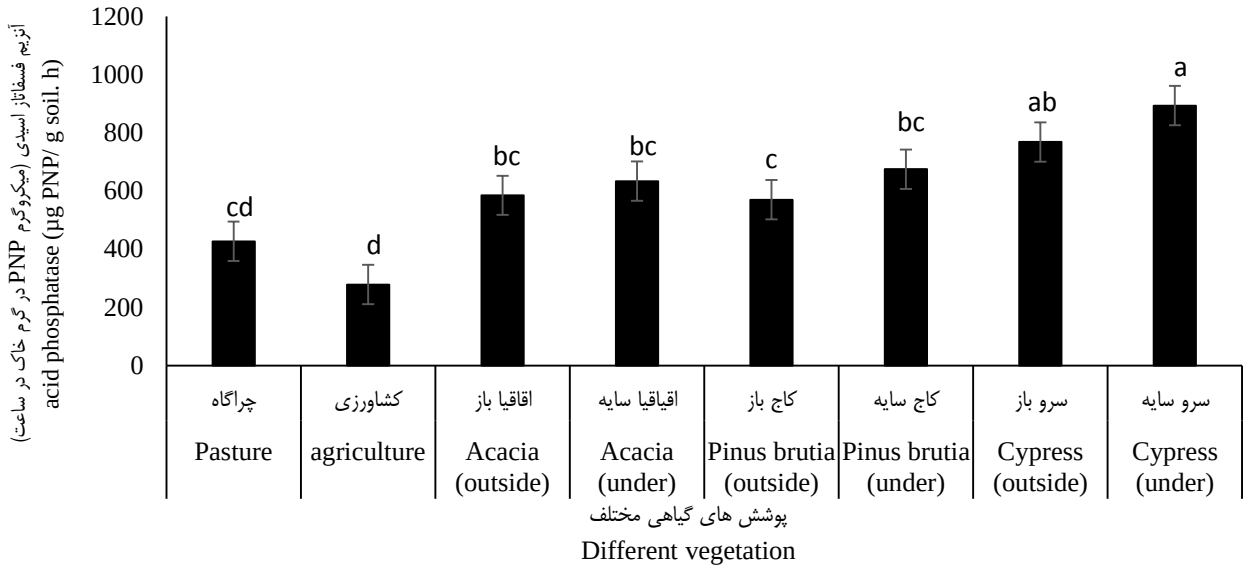
بر اساس نتایج تجزیه واریانس، تأثیر پوشش‌های مختلف بر فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز اسیدی و فسفاتاز قلیایی خاک در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که پوشش سرو با مقدار ۸۸۶ واحد فسفاتاز اسیدی و ۶۴۲ واحد فسفاتاز قلیایی دارای بالاترین مقدار از آنزیم‌های گروه فسفاتاز می‌باشد که در مقایسه با دیگر پوشش‌ها از تفاوت معنادار برخوردار بود. هم‌چنین نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که پوشش کاج (به ترتیب با مقادیر ۶۷۳ واحد فسفاتاز اسیدی و ۶۰۳ واحد فسفاتاز قلیایی) و اقاقیا (به‌ترتیب با مقادیر ۶۴۲/۷۹ واحد فسفاتاز اسیدی و ۵۸۹/۲۱ واحد فسفاتاز قلیایی) نیز دارای مقادیر بالایی از آنزیم‌های گروه فسفاتاز می‌باشند. کمترین مقادیر از آنزیم‌های گروه فسفاتاز نیز در پوشش زمین کشاورزی (به‌ترتیب با مقادیر ۲۸۷/۵۷ واحد فسفاتاز اسیدی ۲۱۸ واحد فسفاتاز قلیایی) و چراگاه (به‌ترتیب با مقادیر ۴۳۱ واحد فسفاتاز اسیدی و ۳۴۴ واحد فسفاتاز قلیایی) مشاهده شد (شکل‌های ۹ و ۱۰).

در این پژوهش بالا بودن مقدار فعالیت آنزیم‌های گروه فسفاتاز در پوشش سوزنی‌برگ در مقایسه با پهن‌برگ (اگرچه میزان فعالیت آنزیم‌های گروه فسفاتاز در پهن‌برگان نیز بالا می‌باشد) می‌تواند به دلیل زیاد بودن درصد کربن آلی خاک باشد (Sheikhloo and Rasouli Sadaghiani, 2016). افزایش مواد آلی نه تنها از طریق افزایش فعالیت میکروبی، بلکه از طریق پایدارسازی فعالیت آنزیم‌های گروه فسفاتاز در خاک باعث افزایش فعالیت این آنزیم‌ها می‌شود. نتایج پژوهش‌های و هم آکوستا- مارتینز و همکاران (۲۰۰۳) نیز نشان داد که فعالیت آنزیم‌های گروه فسفاتاز رابطه مثبت و معنی‌داری با کربن آلی خاک داشت که هم‌سو با نتایج از این پژوهش می‌باشد. پایین بودن مقدار فعالیت آنزیم‌های گروه فسفاتاز در کاربری کشاورزی و چراگاه در مقایسه با پوشش جنگلی می‌تواند ناشی از فرسایش و خاک‌ورزی بی‌رویه باشد؛ زیرا فرسایش و خاک‌ورزی بی‌رویه که منجر به کاهش تجمع مواد آلی در لایه شخم می‌شود، فعالیت آنزیمی را به‌شدت کاهش می‌دهد (Gianfreda and Bollag, 1996). در همین خصوص، سیلوا و همکاران (Silva *et al.*, 2019) در بررسی فعالیت‌های آنزیمی خاک در پوشش‌های مختلف اراضی بیان نمودند که در مقایسه با پوشش‌های غیر جنگلی، رویشگاه‌های جنگلی به دلیل حاصلخیزی بالاتر خاک دارای فعالیت آنزیمی فسفاتاز بیش‌تری می‌باشند. در پژوهش اوشو (Ushio, 2010) نیز گزارش شد که به دلیل زیست‌توده میکروبی بالاتر در سوزنی‌برگان، فعالیت آنزیم‌های گروه فسفاتاز در مقایسه با پوشش پهن‌برگ بالاتر است.

آنزیم اوره آز

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، تأثیر پوشش‌های مختلف بر مقدار فعالیت آنزیم اوره آز خاک در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که پوشش سرو با مقدار ۱۶۵ واحد، پوشش اقاقیا با مقدار ۱۵۰ واحد، پوشش کاج با مقدار ۱۴۷ واحد و پوشش چراگاه با مقدار ۱۵۰ واحد دارای بالاترین مقدار فعالیت آنزیم اوره آز بودند که در مقایسه با دیگر پوشش‌ها از تفاوت معنادار برخوردار بودند. کم‌ترین فعالیت آنزیم اوره آز نیز در پوشش کشاورزی با مقدار ۱۰۹/۳۴ واحد مشاهده شد (شکل ۱۱).

برخلاف فعالیت فسفاتازها این آنزیم تفاوت معناداری را بین پوشش‌های سوزنی‌برگ و پهن‌برگ نشان نداد. بیش‌ترین فعالیت اوره آز در خاک‌های جنگلی (سرو، اقاقیا و کاج) مشاهده شد که بیشترین تجمع ماده آلی خاک را داشتند؛ بنابراین بالا بودن فعالیت این آنزیم در مقایسه با کاربری‌های چراگاه و کشاورزی ناشی از بالا بودن میزان ماده آلی در این پوشش‌ها می‌باشد. در بررسی‌های انجام شده توسط زنگ و همکاران (Zeng *et al.*, 2009) میزان کربن آلی خاک از عوامل تأثیرگذار بر فعالیت آنزیم اوره آز ذکر شده است. بر اساس پژوهش‌های لیراس و همکاران (Leirós *et al.*, 2000) نیز گزارش شد محتوای کربن آلی خاک معمولاً به‌طور مثبتی با میزان فعالیت آنزیم‌های خاک در ارتباط است. همچنین فعالیت آنزیم اوره آز در خاک چراگاه بالا و حتی با پوشش‌های جنگلی پهن‌برگ و سوزنی‌برگ در محیط باز قابل مقایسه بود.

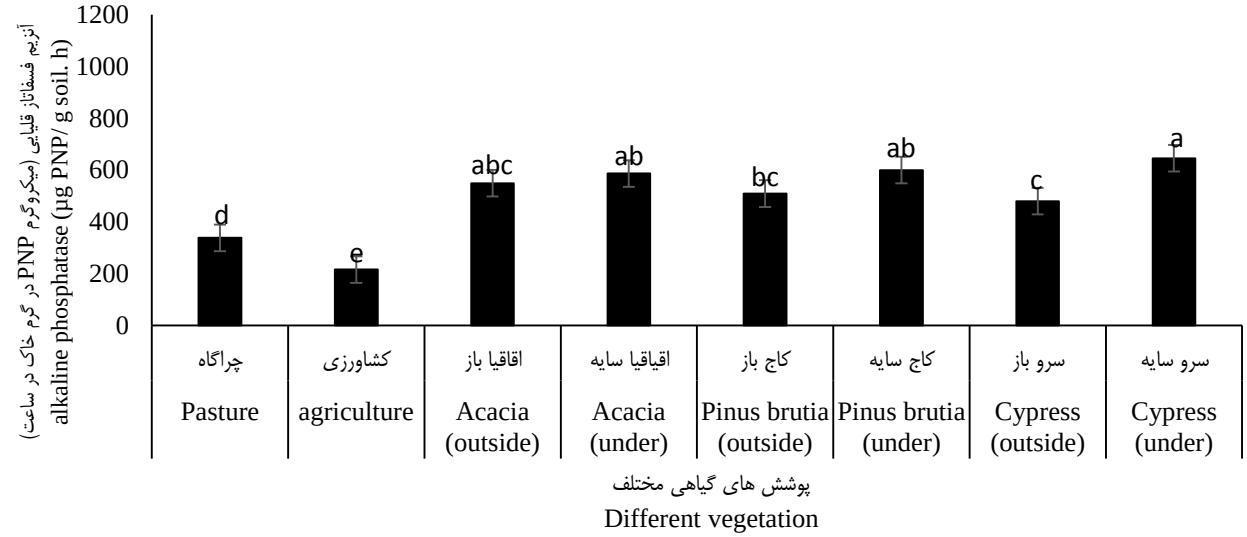


شکل ۹- مقایسه میانگین فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی در پوشش‌های گیاهی مختلف

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه از نظر آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Figure 9- Comparison of the average activity of acid phosphatase enzyme in different vegetation (Outside: outside tree crowns, under: under tree crowns)

In each column, means with similar letters don't have significantly different in probability level of 5%, from the view point of Duncan's multiple range tests

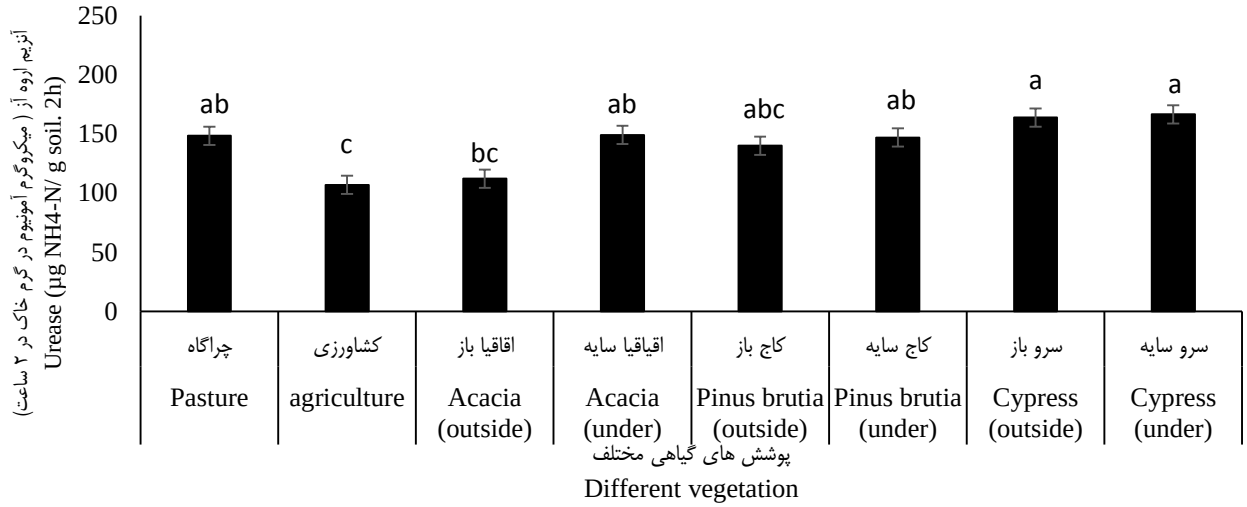


شکل ۱۰- مقایسه میانگین فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی در پوشش‌های گیاهی مختلف

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه از نظر آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Figure 10- Comparison of the average activity of alkaline phosphatase enzyme in different vegetation (Outside: outside tree crowns, under: under tree crowns)

In each column, means with similar letters don't have significantly different in probability level of 5%, from the view point of Duncan's multiple range tests



شکل ۱۱- مقایسه میانگین فعالیت آنزیم اوره آز در پوشش‌های گیاهی مختلف

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه از نظر آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Figure 11- Comparison of the average activity of urease enzyme in different vegetation (Outside: outside tree crowns, under: under tree crowns)

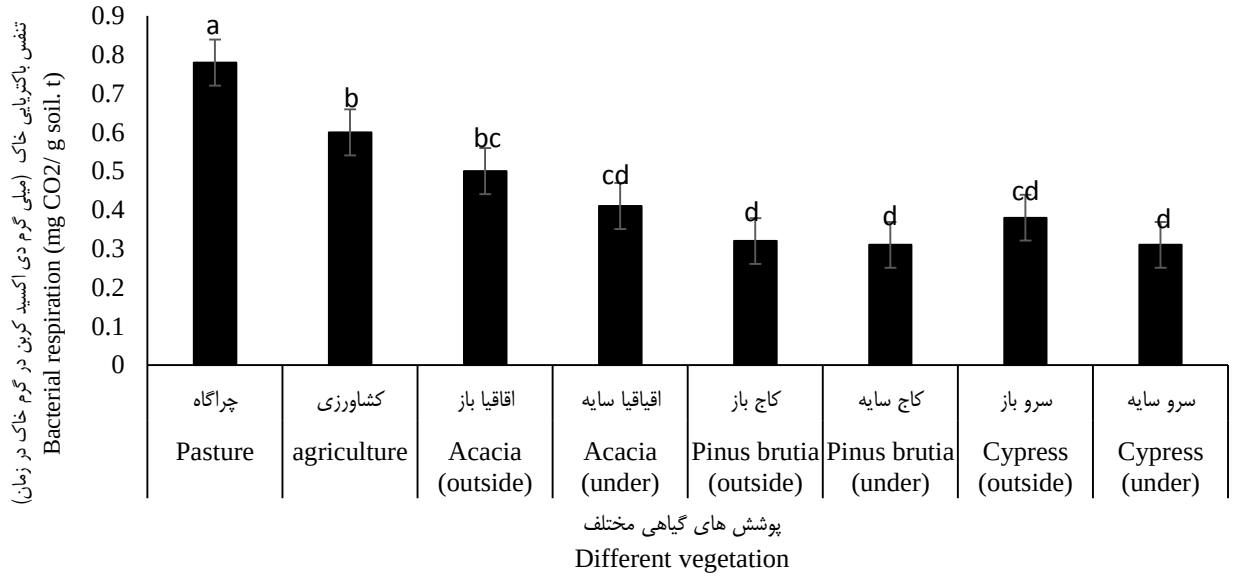
In each column, means with similar letters don't have significantly different in probability level of 5%, from the view point of Duncan's multiple range tests

فعالیت بالای آنزیم در خاک چراگاه از اثرات پوشش گیاهی و رهاسازی از خاک‌ورزی، ناشی می‌شود. مشاهدات مشابه توسط آولانـدا-تروس و همکاران (Avellaneda-Torres *et al.*, 2013) گزارش شده است. فعالیت آنزیمی بالای خاک چراگاه در مقایسه با پوشش کشاورزی نیز نتیجه ترکیبی از نوع پوشش گیاهی و عدم شخم زدن خاک می‌باشد (Błońska *et al.*, 2017). پایین بودن میزان فعالیت آنزیم اوره آز در اراضی کشاورزی را می‌توان به دلیل پایین بودن سطح کربن آلی خاک مربوط دانست (Kooch and Zoghi, 2014). به‌طورکلی، خاک‌های کشاورزی حاوی ماده آلی کمتری هستند و این منجر به ضعف ساختار خاک و مقادیر کم‌تری از ریزجانداران می‌شود (Błońska *et al.*, 2017). در پژوهش بلونسکا و همکاران (Błońska *et al.*, 2017) مشاهده شد که فعالیت آنزیم اوره آز به‌طور معناداری در پوشش پهن‌برگ بالاتر بود که در تضاد با یافته‌های این پژوهش می‌باشد. صالحی و همکاران (Salehi *et al.*, 2012) نیز در تضاد گزارش کردند آنزیم اوره آز در توده پهن‌برگ (توسکا) بالاتر از پوشش سوزنی‌برگ (کاج تدا) بود. شیخلو و رسولی صدقیانی (Sheikhloo and Rasouli Sadaghiani, 2016) بالاترین فعالیت آنزیم اوره آز را در پوشش کشاورزی در مقایسه با جنگلی مشاهده کردند که به دلیل کاربرد کود اوره در زمین‌های کشاورزی بود؛ زیرا اوره سوبسترای لازم و اصلی برای فعالیت کاتالیزوری این آنزیم به شمار می‌آید.

تنفس قارچی و تنفس باکتریایی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، تأثیر پوشش‌های مختلف بر میزان تنفس قارچی و باکتریایی خاک در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که پوشش چراگاه و کشاورزی به‌ترتیب با مقادیر ۰/۷۸ و ۰/۶ واحد دارای بالاترین میزان تنفس باکتریایی خاک بودند که در مقایسه با دیگر پوشش‌ها از تفاوت معنادار برخوردار بودند. کم‌ترین میزان تنفس باکتریایی خاک نیز در پوشش کاج و سرو به‌ترتیب با مقادیر ۰/۳۱ و ۰/۳۱ واحد مشاهده شد (شکل ۱۲)؛ اما تنفس قارچی از روندی معکوس برخوردار بود؛ به‌طوری‌که بالاترین میزان تنفس قارچی در پوشش سرو با مقدار ۰/۷۱ واحد و پایین‌ترین میزان تنفس قارچی در پوشش چراگاه با مقدار ۰/۲۸ واحد اندازه‌گیری شد (شکل ۱۳).

در این پژوهش، پوشش چراگاه و زمین کشاورزی در مقایسه با دیگر پوشش‌ها، تنفس باکتریایی بالاتری را نشان دادند؛ اما ازنظر تنفس قارچی پوشش سرو و کاج دارای تنفس قارچی بالاتری در مقایسه با دیگر پوشش‌ها بودند. این تفاوت‌ها ممکن است ناشی از تفاوت در محتوای کربن آلی خاک باشد (Chen *et al.*, 2016). تغییرات و تفاوت در کمیت و کیفیت بستر و لاش برگ به‌طور مستقیم و یا به‌طور غیرمستقیم می‌تواند بر فعالیت جامعه میکروبی، فراوانی و ترکیب آن تأثیر بگذارد (Zavaleta and Hulvey, 2007). تغییرات در میزان و محتوای چرخه کربن به‌طور بالقوه تنفس خاک را تغییر می‌دهد (Chen *et al.*, 2016).

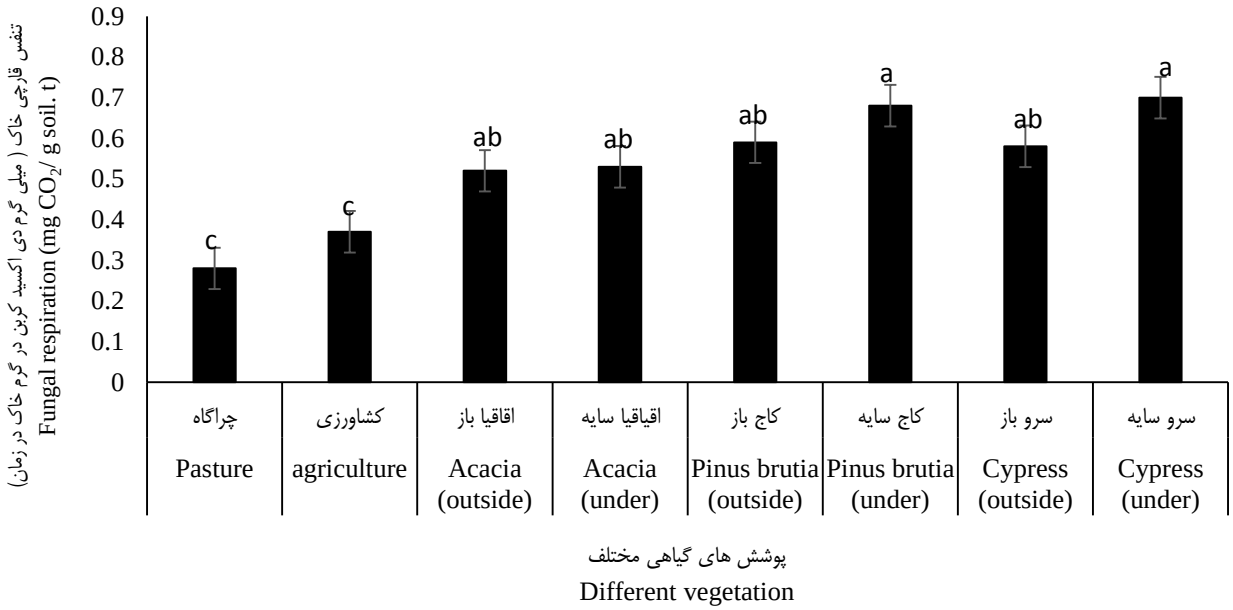


شکل ۱۲- مقایسه میانگین تنفس باکتریایی خاک در پوشش‌های گیاهی مختلف

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه از نظر آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Figure 12- Comparison of average soil bacterial respiration in different vegetation (Outside: outside tree crowns, under: under tree crowns)

In each column, means with similar letters don't have significantly different in probability level of 5%, from the view point of Duncan's multiple range tests



شکل ۱۳- مقایسه میانگین تنفس قارچی خاک در پوشش‌های گیاهی مختلف

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه از نظر آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Figure 13- Comparison of average soil fungal respiration in different vegetation (Outside: outside tree crowns, under: under tree crowns)

In each column, means with similar letters don't have significantly different in probability level of 5%, from the view point of Duncan's multiple range tests

به‌طورکلی تنفس باکتریایی بالاتر در لاشبرگ‌های با سرعت تجزیه بالاتر و تنفس قارچی بالاتر در لاش‌برگ‌های با سرعت تجزیه پایین‌تر و سخت تجزیه گزارش‌شده است (Wardle *et al.*, 2002) که مطابق با نتایج حاصل از این پژوهش می‌باشد. کیفیت لاش برگ یکی از پارامترهای بسیار کارآمد بر کار آیی ریزجانداران خاک می‌باشد و با افزایش نسبت کربن به نیتروژن لاش برگ از فراوانی و کارایی باکتری‌ها در خاک کاسته می‌شود (Kooch, 2012). همسو با نتایج این پژوهش بایلی و همکاران (Bailey *et al.*, 2002) ارتباط معناداری بین فعالیت‌های قارچی و محتوای کربن آلی خاک گزارش کردند. آن‌ها گزارش کردند که بالاترین میزان تنفس قارچی در خاک‌هایی مشاهده شد که دارای بالاترین محتوای کربن آلی خاک بودند. در پژوهش دیگری سوسیان و همکاران (Susyan *et al.*, 2005) گزارش کردند که پایین‌ترین تنفس قارچی و بالاترین تنفس باکتریایی در پوشش زمین کشاورزی مشاهده شد. آن‌ها همچنین گزارش کردند که بالاترین تنفس قارچی و پایین‌ترین تنفس باکتریایی نیز در پوشش جنگلی وجود دارد. همچنین در این پژوهش مشخص شد که تنفس قارچی نسبت به تنفس باکتریایی درصد بیشتری از تنفس خاک را شامل می‌شود که مطابق با یافته‌های اندرسون و دامش (Anderson and Domsch, 1975) می‌باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که نوع گونه‌های درختی کاشته شده باعث ایجاد تغییرات قابل‌توجهی در ویژگی‌های زیستی خاک می‌شود. پژوهش حاضر بیانگر آن است که رویشگاه جنگلی چه سوزنی‌برگ چه پهن‌برگ دارای بالاترین مقادیر مشخصه‌های فعالیت‌های آنزیمی، تنفس پایه، تنفس برانگیخته، کربن زیست‌توده میکروبی و پایین‌ترین مقادیر کسر متابولیکی در مقایسه با پوشش‌های کشاورزی و چراگاه بودند. جنگل‌کاری موجب افزایش فعالیت زیستی و احتمالاً تعداد و تنوع ریزجانداران شده و در طولانی‌مدت موجب بهبود ویژگی‌های خاک می‌گردد. در کاربری کشاورزی و چراگاه به دلیل تخریب خاک و خاکدانه به‌وسیله فعالیت‌های کشاورزی مانند شخم و یا چرای بی‌رویه دام‌ها، میزان کربن آلی و فعالیت ریزجانداران کاهش یافته و با کاهش سایر ویژگی‌های خاک، کیفیت خاک به‌مرور کاهش می‌یابد. از این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که کاشت گونه‌های جنگلی در خاک‌های مناطق تخریب شده در طولانی‌مدت می‌تواند باعث افزایش کربن آلی خاک به دلیل لاش برگ با کیفیت و در نتیجه افزایش نفوذپذیری و رطوبت خاک شود. افزایش کربن آلی خاک موجب افزایش فعالیت ریزجاندارن شده و در طولانی‌مدت سبب بهبود ویژگی‌های مختلف خاک خواهد شد. کاشت گیاهان جنگلی در عرصه‌های طبیعی کشور که به دلیل تغییر کاربری به کشاورزی و کشت بی‌رویه تخریب شده و درنهایت رها شده‌اند می‌تواند موجب بهبود ویژگی‌های خاک و در نتیجه استقرار پوشش گیاهی بومی منطقه شود و باعث افزایش نفوذپذیری آب در خاک و کاهش خطر فرسایش خاک، سیل و... گردد.

منابع

1. Agusto, L., Jacqu, R., Binkely, D., & Rothe, A. (2002). Impact of European temperate forests on soil fertility. *Annals of Forest Science* 59: 233-253. https://doi.org/10.1051/forest:2002020.
2. Anderson, J.P.E., & Domsch, K.H. (1975). Measurement of bacterial and fungal contribution to the respiration of selected agricultural soils. *Canadian Journal of Microbiology* 21: 314–322.
3. Anderson, T.H., & Domsch, K.H. (1985). Maintenance carbon requirements of actively-metabolizing microbial populations under in situ conditions. *Soil Biology and Biochemistry 17*(2): 197-203. https://doi.org/10.1016/0038-0717(85)90115-4.
4. Avellaneda-Torres, L.M., Melgarejo, L.M., Narváez-Cuenca, C.E., & Sánchez, J. (2013). Enzymatic activities of potato crop soils subjected to conventional management and grassland soils. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition 13*(2): 301-312. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162013005000025.
5. Ayres, E., Steltzer, H., Berg, S., Wallenstein, M.D., Simmons, B.L., & Wall, D.H. (2009). Tree species traits influence soil physical, chemical, and biological properties in high elevation forests. *PLOS One 4*(6): e5964. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0005964.
6. Bailey, V.L., Smith, J.L., & Bolton Jr, H. (2002). Fungal-to-bacterial ratios in soils investigated for enhanced C sequestration. *Soil Biology and Biochemistry 34*(7): 997-1007. https://doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00033-0.
7. Bakhshipour, R., Ramezanpour, H., & Lashkarboluki, E. (2012). Studying the effect of Pinus taeda and *Populus* sp. plantation on some forest soils properties (Case study: Fidareh of Lahidjan). *Iranian Journal of Forest 4*(4): 321-332. (In Persian with English abstract)
8. Behera, N., & Sahani, U. (2003). Soil microbial biomass and activity in response to Eucalyptus plantation and natural regeneration on tropical soil. *Forest Ecology and Management 174*(1-3): 1-11. https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00057-9.

9. Binkley, D. (2010). The influence of tree species on forest soils, processes and patterns. In: Proceedings of the trees and soil workshop. Mead, D.J., & Cornforth, I.S. (eds.). Agronomy Society of New Zealand Special Publication. Lincoln University Press, Canterbury.
10. Błońska, E., Lasota, J., & Zwydak, M. (2017). The relationship between soil properties, enzyme activity and land use. *Forest Research Papers 78*(1): 39-44. https://depot.ceon.pl/handle/123456789/15059.
11. Cai, D., Yang, X., Wang, S., Chao, Y., Morel, J.L., & Qiu, R. (2017). Effects of dissolved organic matter derived from forest leaf litter on biodegradation of phenanthrene in aqueous phase. *Journal of Hazardous Materials* 324: 516-525. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.11.020.
12. Chen, J., Wang, Q., Li, M., Liu, F., & Li, W. (2016). Does the different photosynthetic pathway of plants affect soil respiration in a subtropical wetland. *Ecology and Evolution 6*(22): 8010-8017. https://doi.org/10.1002/ece3.2523.
13. Deharveng, L. (2011). Soil collembola diversity, endemism and reforestation: A case study in the Pyrenees (France). *Conservation Biology* 10: 74-84. https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1996.10010074.x.
14. Ghorbanzadeh, N., Pourbabaei, H., Salehi, A., Soltani Tolarood, A.A., & Alavi, S.J. (2018). Investigation of the microbial and soil invertebrates biodiversity indices of hard wood and soft wood plantations in west of Guilan province. *Applied Soil Research 6*(3): 1-12. (In Persian with English abstract)
15. Gianfreda, L., & Bollag, M.J. (1996). Influence of Natural and Anthropogenic Factors on Enzyme Activity in Soil. *Soil Biochemistry* 9: 123-193.
16. Hölscher, D., Hertel, D., Leuschner, C., & Hottkowitz, M. (2002). Tree species diversity and soil patchiness in a temperate broad-leaved forest with limited rooting space. Flora-Morphology. *Distribution, Functional Ecology of Plants 197*(2): 118-125. https://doi.org/10.1078/0367-2530-00021.
17. Hur, J., Park, M.H., & Schlautman, M.A. (2009). Microbial transformation of dissolved leaf litter organic matter and its effects on selected organic matter operational descriptors. *Environmental Science and Technology 43*(7): 2315-2321. https://doi.org/10.1021/es802773b.
18. Iovieno, P., Alfani, A., & Bååth, E. (2010). Soil microbial community structure and biomass as affected by Pinus pinea plantation in two Mediterranean areas. *Applied Soil Ecology 45*(1): 56-63. 10.1016/j.apsoil.2010.02.001.
19. Islam, K.R., & Weil, R.R. (2000). Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 79: 9–16. https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00145-0.
20. Jones, D.L., Cooledge, E.C., Hoyle, F.C., Griffiths, R.I., & Murphy, D.V. (2019). PH and exchangeable aluminum are major regulators of microbial energy flow and carbon use efficiency in soil microbial communities. *Soil Biology and Biochemistry* 138: 107584. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.107584.
21. Kandeler, E., & Gerber, H. (1988). Short-term assay of soil urease activity using colorimetric determination of ammonium. *Biology and Fertility of Soils 6*(1): 68-72. https://doi.org/10.1007/BF00257924.
22. Khormali, F., & Shamsi, S. (2009). Micromorphology and quality attributes of the loess derived soils affected by land use change: a case study in Ghapan watershed, northern Iran. *Journal of Mountain Science* 6: 197-204. https://doi.org/10.1007/s11629-009-1037-z.
23. Kiani, F., Jalalian, A., Pashaee, A., & Khademi, H. (2004). Effect of deforestation on selected soil quality attributes in loess-derived land forms of Golestan Province, northern Iran. Proceedings of the Fourth International Iran and Russia Conference: 546-550.
24. Kooch, Y. (2012). Soil variability related to pit and mound, canopy cover and individual trees in a Hyrcanian Oriental Beech stand. Ph.D. Thesis, Tarbiat Modares University, 203p. (In Persian with English abstract)
25. Kooch, Y., & Parsapoor, M.K. (2016). The effects of broad and needle-leaved forest covers on soil microbial indices. *Journal of Water and Soil Conservation 23*(2): 195-210. https://doi.org/10.22069/jwfst.2016.3063.
26. Kooch, Y., & Zoghi, Z. (2014). Comparison of soil fertility of Acer insigne, *Quercus castaneifolia* and *Pinus brutia* stands in the Hyrcanian forests of Iran. Chine. *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences* 20: 899-905. https://doi.org/10.3724/SP.J.1145.2014.02011.
27. Leirós, M.C., Trasar-Cepeda, C., Seoane, S., & Gil-Sotres, F. (2000). Biochemical properties of acid soils under climax vegetation (Atlantic Oakwood) in an area of the European temperate–humid zone (Galicia, NW Spain): general parameters. *Soil Biology and Biochemistry* 32: 733-745. https://doi.org/10.1016/S0038-0717(99)00195-9.
28. Mallik, A.U., & Hu, D. (1997). Soil respiration following site preparation treatments in boreal mixedwood forest. *Forest Ecology and Management* 97: 265–275. https://doi.org/10.1016/S0378-1127(97)00067-4.
29. Mu, Z., Huang, A., Ni, J., & Xie, D. (2014). Linking annual N_2O emission in organic soils to mineral nitrogen input as estimated by heterotrophic respiration and soil C/N ratio. *PlOs One 9*(5): e96572. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0096572.
30. Nannipieri, P., & Alef, K. (1995). Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry. Netherlands: Elsevier Science.
31. Neatrour, M.A., Jones, R.H., & Golladay, S.W. (2005). Correlations between soil nutrients availability and fine- root biomass at two spatial scales in forested wetlands with contrasting hydrological regimes. *Canadian Journal of Forest Research 35*(12): 2934-2941. https://doi.org/10.1139/x05-217.
32. Polyak, Y.M., & Sukcharevich, V.I. (2019). Allelopathic interactions between plants and microorganisms in soil

ecosystems. *Biology Bulletin Reviews 9*(6): 562-574. https://doi.org/10.1134/S2079086419060033.
33. Rasouli-Sadaghiani, M.H., Barin, M., Siavash Moghaddam, S., Damalas, C.A., & Ghodrat, K. (2018). Soil quality of an Iranian forest ecosystem after conversion to various types of land use. *Environmental Monitoring and Assessment* 190.8: 447. https://doi.org/10.1007/s10661-018-6815-z.
34. Salehi, A., Matinizadeh, M., & Tamjidi, J. (2012). Investigation on effect of forest plantation of *Alnus ghutinosa* L. (Gaertn.) and *Pinus taeda* L. on soil microbial activity and biomass (case study: Geisom site, west of Guilan province, Iran). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research 20*(2): 345-334. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/ijfpr.2012.107304.
35. Sheikhloo, F., & Rasouli Sadaghiani, M. (2016). Effects of different agronomic and forest land uses on soil enzyme activity. *Iranian Journal of Soil and Water Research 47*(1): 205-216. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/ijswr.2016.57992.
36. Silva, E.D., de Medeiros, E.V., Duda, G.P., Lira, M.A., de Oliveira, J.B., dos Santos, U.J., & Hammecker, C. (2019). Seasonal effect of land use type on soil absolute and specific enzyme activities in a Brazilian semi-arid region. *Catena* 172: 397-407. https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.09.007.
37. Singh, R., Bhardwaj, D.R., Pala, N.A., Kaushal, R., & Rajput, B.S. (2018). Soil microbial characteristics in sub-tropical agro-ecosystems of North Western Himalaya. *Current Science* 115: 1956-1959. https://www.jstor.org/stable/26978529.
38. Soleimani, A., Hosseini, S.M., Bavani, A.R.M., Jafari, M., & Francaviglia, R. (2019). Influence of land use and land cover change on soil organic carbon and microbial activity in the forests of northern Iran. *Catena* 177: 227-237. https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.02.018.
39. Susyan, E.A., Ananyeva, N.D., & Blagodatskaya, E.V. (2005). The antibiotic-aided distinguishing of fungal and bacterial substrate-induced respiration in various soil ecosystems. *Microbiology 74*(3): 336-342. https://doi.org/10.1007/s11021-005-0072-1.
40. Tabatabai, M.A., & Bremner, J.M. (1969). Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biology and Biochemistry 1*(4): 301-307. https://doi.org/10.1016/0038-0717(69)90012-1.
41. Ushio, M., Kitayama, K., & Balser, T.C. (2010). Tree species effects on soil enzyme activities through effects on soil physicochemical and microbial properties in a tropical montane forest on Mt. Kinabalu, Borneo. *Pedobiologia* 53: 227-233. https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2009.12.003.
42. Wani, F.S., Akhter, F., Mir, S., Baba, Z.A., Maqbool, S., Zargar, M.Y., & Nabi, S.U. (2018). Assessment of soil microbial status under different land use systems in North Western Zone of Kashmir. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 7: 266-279. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.708.032.
43. Wardle, D., Bonner, K., & Barker, G. (2002). Linkages between plant litter decomposition, litter quality, and vegetation responses to herbivores. *Functional Ecology* 16: 585–595. https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.2002.00659.x.
44. Yadava, R. (2012). Soil organic carbon and soil microbial biomass as affected by restoration measures after 26 years of restoration in mined areas of Doon Valley. *International Journal of Environmental Sciences* 2: 1380-1385.
45. Yang, N., Ji, L., Yang, Y., & Yang, L. (2018). The influence of tree species on soil properties and microbial communities following afforestation of abandoned land in northeast China. E*uropean Journal of Soil Biology* 85: 73-78. https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2018.01.003.
46. Yao, H., He, Z.L., Wilson, M., & Campbell, C.D. (2000). Microbial biomass and community structure in a sequence of soils with increasing fertility and changing land use. *Microbial Ecology 40*(3): 223-237. https://doi.org/10.1007/s002480000053.
47. Zavaleta, E., & Hulvey, K. (2007). Realistic variation in species composition affects grassland production, resource use and invasion resistance. *Plant Ecology* 188: 39–51. https://doi.org/10.1007/s11258-006-9146-z.
48. 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 Kerning, northeastern China. *Plant and Soil* 317: 121-133. https://doi.org/10.1007/s11104-008-9793-z.
49. Zeng, Z., Wang, S., Zhang, C., Tang, H., Li, X., Wu, Z., & Luo, J. (2015). Soil microbial activity and nutrients of evergreen broad-leaf forests in mid-subtropical region of China. *Journal of Forestry Research 26*(3): 673-678. https://doi.org/10.1007/s11676-015-0060-x.