Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

Effect of forestry practices on the biological characteristics of soils (Case study: Beech Forest of Asalem)

Hoda Esfandiari[1], Kiomars Sefidi[2*], Akbar Ghavidel[3], Mohammad Esmaeilpour[4], Beitollah Amanzadeh[5], Seyed Mohammad Moein Sadeghi[6]

[1]Graduated M.Sc. Student, Department of Forest Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
[2]Associated Professor, Department of Forest Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
[3]Associated Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
[4]Assistant Professor, Ahar Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tabriz, Ahar, Iran
[5] Assistant Professor, Center of Agriculture and Natural Resources Research, Rasht, Iran
[6] Graduated Ph.D. Student, Natural Resources and Watershed Management Office, West Azerbaijan Province, Urmia, Iran

Extended Abstract

Introduction

In forest management, it is essential to maintain soil performance. Forest soils control and support many forest ecosystem services and tree growth. So, maintaining soil health is critical to sustainable forest management. Forest management practices, such as converting degraded forests into man-made forests, lead to a wide range of adverse effects on soil performance and microbial communities, including negative impacts on organic carbon, nitrogen, bacterial biomass, fungal biomass, microbial biomass carbon, and fungi-to-bacteria ratio. It is possible to achieve the appropriate method of forest management by considering the biological stability of the soil. Therefore, in this stduy, it has tried to gain a better understanding of the relationship between soil biological conditions and forest management methods and their application in sustainable forest and soil management by evaluating the effect of different forestry methods on soil biological characteristics.

Materials and Methods

To influence forest management practices on soil biological properties, three study areas with different management histories in the Asalem forest, Guilan province were selected and soil sampling using a random systematic method was collected. The selected plots included 1) control, 2) a plot with a history of project implementation in the medium term of maximum 20 years under selective management and 3) a plot with a history of long-term plan implementation, which was under the management of shelterwood method for more than 50 years. There may be effects of the implementation of past plans in the forest for many years. The number of 15 samples in each plot was collected from the nearest tree to the center of the intersection of the sides of the sampling network, from a depth of 0-30 cm, and transported to the soil laboratory at a temperature of 4˚C in the winter of 2016. Sampling from all plots in the forest area was done only in the pure type of beech, so in this study, the effect of the type is constant. In this study, micro-scale habitat conditions considered to investigate microbial activities were homogeneous. In this research, three parcels with an area of about 132 ha were selected. In each sample, the biological characteristics of the soil, including basic respiration, stimulated respiration, microbial carbon dioxide, and the population of microorganisms were measured, and indicators of microbial benefit and metabolic benefit were calculated. Some soil characteristics including soil organic carbon, electrical conductivity (EC) and pH were also measured. The normality of the data was checked using the Kolmogorov-Smirnov test and the homogeneity of variances was checked using the Levene's test. Due to the fact that the data had a normal distribution, one-way analysis of variance test was used for totla mean comparisons, Tukey test was used to compare the average indicators in the studied parts, and the relationship between chemical indicators the Spearman correlation test was also used for soil biology. In some cases, due to the impossibility of normalization and other assumptions, the non-parametric test has been used. Statistical analysis was done using SPSS version 22 software. Excel was used to draw graphs.

Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

Results and Discussion

The results showed that there was no significant difference between the three components in terms of organic carbon, microbial quotient, electrical conductivity, and acidity. But baseline respiration, exhaled breath, microorganism population, metabolic rate, and carbon microbial degradation showed a significant difference in the three parts. The highest basal respiration rate (46.8 mg of carbon dioxide in one day in one gram of dry soil), substrate-induced respiration (42.77 mg of carbon-dioxide in one gram of dry soil in six hours) and microorganism population (1.09×10^8 in one gram of dry soil) and carbon microbial degradation (16.5 mg of carbon in one gram of dry soil) were obtained with a patchy management method and the lowest in the selective portion. The highest metabolic quotient (1.2 mg of oxidized carbon in basic respiration per kg of dry soil per day) in selective fraction and the lowest in solitary incremental part were calculated. The soil texture is sandy-loamy in most of the three plots and loamy-sandy in some areas. EC was in the range of 0.629-3.83 dS m^{-1} and soil acidity was also in the range of 5-6.5 in all three plots. There was no significant difference in soil organic carbon in three plots. Correlation analysis results of forest soil biological indicators show that soil microorganisms have a significant positive correlation at the level of 1% probability with microbial biomass. In addition to soil micro-organisms, microbial biomass carbon showed a significant positive correlation with basal respiration at the 1% probability level. Basal respiration also has a significant positive correlation at the probability level of 1% with the amount of substrate-induced respiration, soil microorganisms, and microbial biomass carbon, and besides that, the organic carbon has a significant positive correlation at the probability level of 1% with soil microorganisms, microbial biomass carbon, basal respiration, and substrate-induced respiration.

Conclusion

The control plot has a higher quality soil compared to the plot under shelterwood management due to the least human interference (although illegal harvests have been observed in the forest, but compared to the other two plots, human interference was minimal). According to the results, it can be acknowledged that the plot under shelterwood's management has better conditions in terms of soil biological characteristics. Knowledge of the effectiveness of the biological characteristics of the soil from the application of different methods of forest silviculture and human interventions, provides the possibility of choosing suitable methods with the habitat conditions. At the same time, it will be very beneficial to determine the intensity of breeding interventions in forest stands based on the prediction of its effects. The stability of the forest does not depend only on increasing the biological quality of the soil. Hence, it is recommended to implement silviculture operations in sheltered plots and to increase the mixture of forest stand and support species with fast decomposition of litter such as horbean in selective plots.

Keywords: Microorganisms, Microbial Biomass Carbon, Metabolic Quotient, Microbial Quotient

Article Type: Research Article

*Corresponding Author, E-mail: kiomarssefidi@gmail.com

Citation: Esfandiari, H., Sefidi, K., Ghavidel, A., Esmaeilpour, M., Amanzadeh B., & Sadeghi, S.M.M. (2023). Effect of forestry practices on the biological characteristics of soils (Case study: Beech Forest of Asalem). *Water and Soil Management and Modeling*, 3(4), 16-28.
DOI: 10.22098/mmws.2022.11641.1149
DOR: 20.1001.1.27832546.1402.3.4.3.7

Received: 10 October 2022, Received in revised form: 02 November 2022, Accepted: 03 November 2022, Published online: 05 November 2022
Water and Soil Management and Modeling, Year 2023, Vol. 3, No. 4, pp. 16-28
Publisher: University of Mohaghegh Ardabili © Author(s)

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک

شاپا الکترونیکی: ۲۵۴۶-۲۷۸۳

اثر شیوه‌های جنگل‌داری بر تغییرات ویژگی‌های زیستی خاک (مطالعهٔ موردی: جنگل‌های راش اسالم)

هدی اسفندیاری[۱]، کیومرث سفیدی[۲*]، اکبر قویدل[۳]، محمد اسماعیل‌پور[۴]، بیت‌الله امان‌زاده[۵]، سید محمدمعین صادقی[۶]

[۱] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

[۲] دانشیار، گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

[۳] دانشیار، گروه علوم خاک، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

[۴] استادیار، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی اهر، دانشگاه تبریز، اهر، ایران

[۵] استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان، رشت، ایران

[۶] دانش‌آموخته دکتری، ادارهٔ کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان آذربایجان غربی، ارومیه، ایران

چکیده

در مدیریت مناطق جنگلی حفظ عملکرد خاک بسیار مهم است. بنابراین، حفظ سلامت خاک برای مدیریت پایدار جنگل حیاتی است. به‌منظور بررسی اثرپذیری شاخص‌های زیستی خاک از روش‌های مدیریتی مختلف جنگل، سه قطعه با سابقهٔ مدیریتی متفاوت در سری دو و سه جنگل راش اسالم استان گیلان انتخاب شد. قطعات انتخاب‌شده شامل قطعهٔ شاهد، قطعهٔ با سابقهٔ اجرای طرح در میان‌مدت حداکثر ۲۰ سال تحت مدیریت شیوهٔ گزینشی و قطعهٔ با سابقهٔ اجرای طرح بلندمدت بیش از ۵۰ سال تحت مدیریت شیوهٔ پناهی بود. ۱۵ نمونه در هر قطعه با روش منظم و تصادفی، از نزدیک‌ترین درخت به مرکز تقاطع اضلاع شبکهٔ نمونه‌برداری، از عمق ۰–۳۰ سانتی‌متری خاک برداشت شد. در هر یک از نمونه‌ها، تنفس پایه، تنفس برانگیخته، کربن زی‌تودهٔ میکروبی و جمعیت ریزجانداران اندازه‌گیری، شاخص بهرهٔ میکروبی، بهرهٔ متابولیک، کربن آلی، هدایت الکتریکی و اسیدیتهٔ خاک اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که اختلاف معناداری بین سه قطعه از لحاظ کربن آلی، بهرهٔ میکروبی، هدایت الکتریکی و اسیدیته وجود ندارد. تنفس پایه، تنفس برانگیخته، جمعیت ریزجانداران، بهرهٔ متابولیک و کربن زی‌تودهٔ میکروبی اختلاف معناداری را در سه قطعه نشان دادند. بیش‌ترین میزان تنفس پایه، تنفس برانگیخته، جمعیت ریزجانداران و کربن زی‌تودهٔ میکروبی در قطعهٔ با شیوهٔ پناهی و کم‌ترین آن در قطعهٔ گزینشی به‌دست آمد. در این پژوهش، بیش‌ترین میزان بهرهٔ متابولیک در قطعهٔ گزینشی و کم‌ترین آن در قطعهٔ با شیوهٔ پناهی محاسبه شد. نتایج همبستگی شاخص‌های زیستی خاک جنگل نشان می‌دهد ریزجانداران خاک همبستگی مثبت معناداری در سطح احتمال یک درصد با زی‌تودهٔ میکروبی دارد. آگاهی از اثرپذیری ویژگی‌های زیستی خاک از اعمال شیوه‌های مختلف پرورش جنگل و دخالت‌های مختلف انسانی، امکان انتخاب شیوه‌های مناسب با شرایط رویشگاهی را فراهم می‌آورد. در عین حال، تعیین شدت دخالت‌های پرورشی در توده‌های جنگل بر اساس پیش‌بینی اثرات آن بسیار سودمند خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: ریزجانداران، کربن زی‌تودهٔ میکروبی، بهرهٔ متابولیک بهرهٔ میکروبی

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: kiomarssefidi@gmail.com

استناد: اسفندیاری، هدی، سفیدی، کیومرث، قویدل، اکبر، اسماعیل‌پور، محمد، امان‌زاده، بیت‌الله، و صادقی، سیدمحمدمعین (۱۴۰۲). اثر شیوه‌های جنگل‌داری بر تغییرات ویژگی‌های زیستی خاک (مطالعهٔ موردی: جنگل‌های راش اسالم). *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۳(۴)، ۱۶–۲۸.

DOI: 10.22098/mmws.2022.11641.1149

DOR: 20.1001.1.27832546.1402.3.4.3.7

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۱۸، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۸/۱۱، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۱۲، تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۸/۱۴

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۲، دوره ۳، شماره ۴، شماره صفحه ۱۶ تا ۲۸

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی

© نویسندگان

۱- مقدمه

خاک‌های جنگلی بسیاری از خدمات اکوسیستمی و رشد و نمو درختان را کنترل و از آن پشتیبانی می‌کنند. بنابراین، حفظ سلامت خاک برای مدیریت پایدار جنگل حیاتی است (Kersey and David, 2021). اعمال مدیریت در مناطق جنگلی مانند تبدیل جنگل‌های تخریب‌شده به جنگل‌های دست‌کاشت، منجر به طیف گسترده‌ای از اثرات نامطلوب بر عملکرد خاک و جوامع میکروبی موجود در آن از جمله تأثیر منفی بر کربن آلی خاک، نیتروژن کل، زی‌تودهٔ باکتریایی، زی‌تودهٔ قارچی، کربن زی‌تودهٔ میکروبی و نسبت قارچ به باکتری می‌شود (Wang et al., 2021). پژوهش درباره این مسأله که سیستم‌های مدیریتی تا چه اندازه بر شاخص‌های خاک اثرگذارند و به پایداری اکوسیستم جنگلی کمک می‌کنند، بسیار مهم است. با توجه به این‌که پایداری طولانی‌مدت شیوه‌های مدیریت جنگل به خصوصیات خاک وابسته است، لذا شناسایی خاک، تعیین قابلیت و استعداد آن از گام‌های مهم برای اعمال مدیریت پایدار به‌شمار می‌رود. جنگل‌کاری جنگل‌های تخریب‌شده با کاشت گونه‌های خالص در سطوح کوچک تا متوسط بعد از عملیات بهره‌برداری و چوب‌کشی زمین‌پایه، در دهه‌های گذشته در جنگل‌های هیرکانی کاربرد گسترده‌ای داشته است. در همین ارتباط، خصوصیات خاک‌های کوبیده‌شده بعد از عملیات کاشت نهال در مسیرهای چوب‌کشی در این جنگل‌ها بررسی شد. هدف از این پژوهش، ارزیابی اثربخشی گونه‌های مختلف (تیمارها) شامل توسکای ییلاقی (*Alnus subcordata C. A. Mey.*)، افراپلت (*Acer velutinum Boiss*) و زربین (*Cupressus sempervirens L.*) در بازیابی خصوصیات خاک طی یک دورهٔ ۲۵ ساله در جنگل‌های حوزهٔ تیروم‌رود شمال ایران، در مقایسه با سطوح خاک طبیعی تودهٔ دست‌نخورده ممرز-بلوط (*Carpinus betulus* - *Quercus castaneifolia*) به‌عنوان منطقهٔ شاهد بود. نتایج نشان داد که بیش‌ترین مقدار بازیابی معنادار خصوصیات فیزیکی شامل وزن مخصوص ظاهری و مقاومت به نفوذ در مسیرهای چوب‌کشی جنگل‌کاری‌شده با توسکا اندازه‌گیری شد. این تحقیق نشان داد که ریشه‌های درختان کاشته‌شده باعث احیای ساختار خاک می‌شوند، در حالی‌که گونه‌های تثبیت‌کنندهٔ ازت، مانند توسکا به‌طور قابل‌توجهی خصوصیات خاک مورد بررسی را طی یک دورهٔ ۲۵ ساله پس از کوبیدگی خاک بهبود می‌بخشد (Jourgholami et al., 2019).

در خاک‌های جنگلی، رشد، فعالیت و ساختار جامعهٔ میکروبی خاک تحت تأثیر عوامل زنده و غیرزنده، کیفیت و کمیت مواد آلی و در دسترس بودن عناصر غذایی است (Hannam et al., 2006). ریزجانداران خاک نقش مهمی در تجزیهٔ مواد آلی و چرخهٔ عناصر غذایی دارند؛ در نتیجه دیدگاه یکپارچه‌ای از سلامت و توانایی خاک ارائه می‌دهند و در همهٔ اکوسیستم‌های طبیعی و مصنوعی، گیاهان با طیف گسترده‌ای از ریزجانداران از جمله باکتری‌ها رابطه دارند که می‌توانند روابط بیماری‌زا، سودمند یا خنثی با میزبان خود داشته باشند (Hardoim et al., 2015). ارتباط بین متغیرهای زیستی و شیمیایی خاک در شیوه‌های مدیریتی متفاوت تأثیر شدیدی بر عملکرد خاک دارد (Salazara et al., 2011). خواص میکروبی خاک سطحی و عمیق به‌طور قابل‌توجهی در کاربری‌های متفاوت زمین و شیوه‌های مدیریتی مختلف تغییر می‌کند (Maharjana et al., 2017). نتایج مطالعات Lu et al. (2014) نشان داد که در شیوه‌های مختلف مدیریتی جنگل، مادهٔ آلی خاک، کربن زی‌تودهٔ میکروبی و تنفس پایه از مهم‌ترین عوامل منعکس‌کنندهٔ خواص شیمیایی و زیستی خاک هستند. هم‌چنین Gartzia-Bengoetxea et al. (2016) و Zifcakova et al. (2016) بیان کردند تنفس میکروبی یکی از فرآیندهای اصلی در کنترل کربن بوم‌سازگان‌های زمینی است. در همین راستا Iqbal et al. (2008) بیان نمودند هر اندازه تنفس میکروبی بیش‌تر باشد، فعالیت بالقوهٔ میکروبی خاک و فعالیت ریزجانداران بیش‌تر می‌شود. Malchair and Carnol (2009)، Guo et al. (2016)، Ge et al. (2017)، Li et al. (2017) و Luo et al. (2017) عنوان کردند از علل مؤثر بر تنفس میکروبی خاک در اکوسیستم‌های جنگلی، مناسب بودن شرایط برای فعالیت میکروبی از جمله عرضهٔ کافی کربن و وجود لایهٔ لاشبرگ مورد استفادهٔ ریز جانداران خاک است. مطالعات دیگر نیز نشان داده‌اند که ریزجانداران خاک نقش مهمی در تجزیه و چرخهٔ کانی‌سازی مواد آلی خاک دارند. زی‌تودهٔ میکروبی خاک می‌تواند به‌عنوان شاخص حساس به پایداری اکولوژیکی خاک مورد استفاده قرار گیرد (Guo et al., 2011).

در پژوهشی در تودهٔ جنگلی راش الندان واقع در ساری استان مازندران مشخص شد بین شاخص رقابت با زی‌تودهٔ میکروبی نیتروژن همبستگی منفی معنادار و با نسبت زی‌تودهٔ میکروبی کربن به زی‌تودهٔ میکروبی نیتروژن همبستگی مثبت معنادار وجود دارد. نتایج پژوهش نشان داد که مدیریت جنگل از طریق اجرای شیوهٔ تک‌گزینی درختی و تشکیل روشنه‌های تاج‌پوشش با مساحت‌های مختلف در راشستان مذکور بر ویژگی‌های ساختاری و ریشه‌های مویین درختان راش شش سال بعد از ایجاد روشنه‌ها تأثیر گذاشته است (Amolikondori et al., 2021). پژوهشی با هدف ارزیابی اثر کاربری‌های جنگل طبیعی، جنگل‌کاری با سوزنی‌برگ و اراضی مرتعی منطقهٔ البرز مرکزی بر شاخص‌های لایه‌بندی مادهٔ آلی و فعالیت‌های زیستی خاک صورت گرفت. طبق نتایج این پژوهش، حداقل مقدار

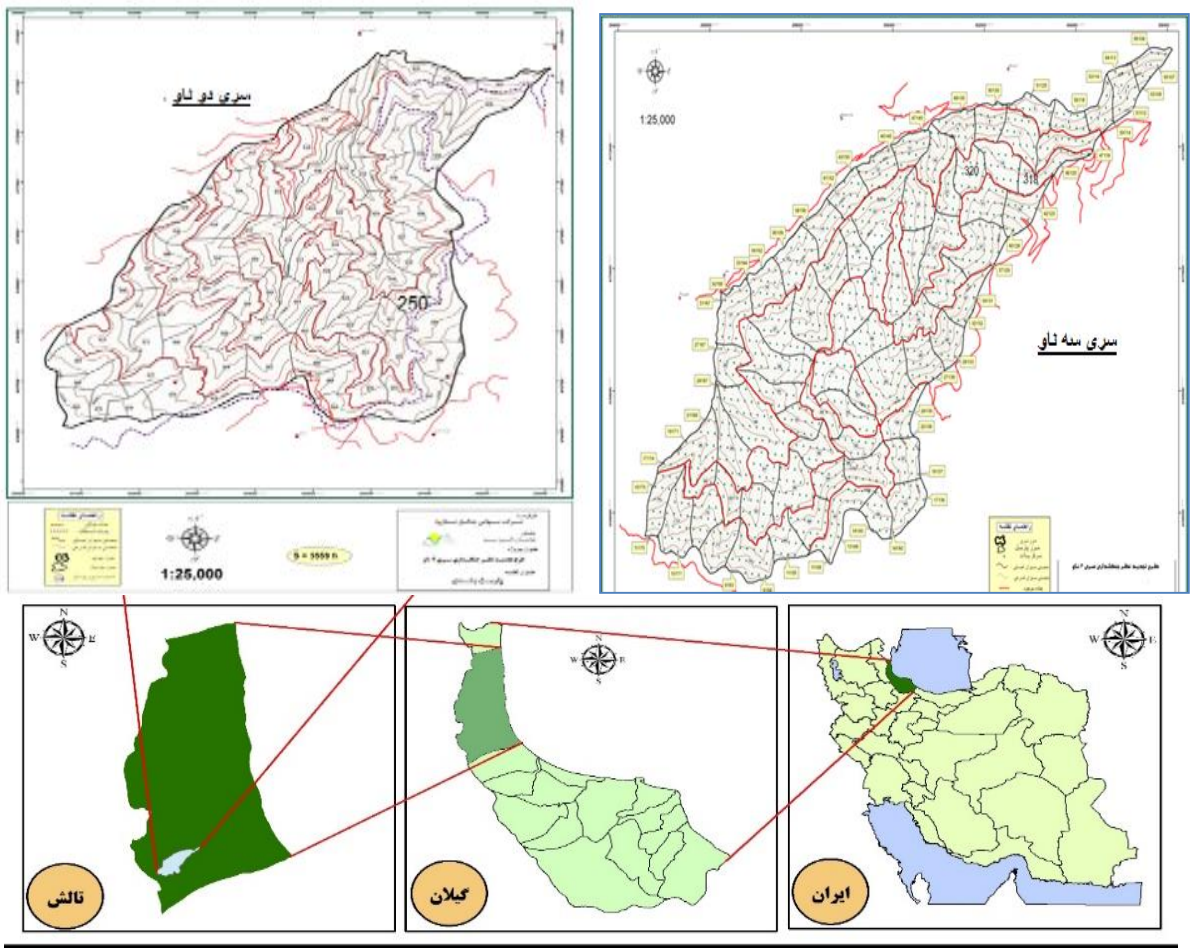
مشخصهٔ لایه‌بندی مادهٔ آلی (۱/۴۵) و بیش‌ترین مقادیر زی‌تودهٔ ریزریشه (۹۱/۰۳ گرم بر متر مربع) و زی‌تودهٔ میکروبی نیتروژن (۲۴/۹۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به جنگل طبیعی اختصاص داشت. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار تنفس میکروبی به‌ترتیب در عرصهٔ مرتعی و جنگل طبیعی (۰/۲۰ و ۰/۱۰ میلی‌گرم دی‌اکسیدکربن بر گرم در یک روز) مشاهده شد. نتایج این پژوهش بیانگر اهمیّت برجستهٔ حفاظت از جنگل‌های طبیعی آمیختهٔ پهن‌برگ موجود به‌منظور حفظ کیفیت خاک بود (Kooch and Ehsani, 2020). فرضیهٔ این پژوهش بدین‌صورت بود که اختلاف معناداری بین شیوه‌های مختلف جنگل‌داری از نظر ویژگی‌های زیستی خاک در جنگل‌های راش اسالم استان گیلان وجود دارد.

از آن‌جایی‌که رسیدن به شیوهٔ مناسب مدیریت جنگل با در نظر گرفتن پایداری خصوصیات زیستی خاک میسر خواهد بود، لذا در این پژوهش تلاش شده است با ارزیابی اثر شیوه‌های مختلف جنگل‌شناسی بر ویژگی‌های زیستی خاک، درک بهتری از ارتباط شرایط زیستی خاک و شیوه‌های مدیریت جنگل و کاربرد آن در مدیریت پایدار جنگل و خاک دست یافت.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقهٔ مورد مطالعه

این مطالعه در سری دو و سه جنگل راش اسالم استان گیلان انجام شد (شکل ۱). موقعیت مکانی این دو سری در حوزهٔ هفت‌ناو در محدودهٔ ادارهٔ منابع طبیعی و آبخیزداری شهرستان تالش تحت‌نظر ادارهٔ کل منابع طبیعی استان گیلان است. این منطقه بین طول جغرافیایی ″۲۲ ′۴۰ °۴۸ تا ″۴۴ ′۴۸ °۴۸ و عرض جغرافیایی ″۲۸ ′۳۶ °۳۷ تا ″۲۲ ′۴۱ °۳۷ واقع شده است (Amanzadeh, 2011). در این پژوهش، سه پارسل با مساحت حدود ۱۳۲ هکتار انتخاب شد (جدول ۱). لازم به ذکر است برداشت از همهٔ قطعات در عرصهٔ جنگل صرفاً در تیپ خالص راش انجام شده، لذا در این مطالعه اثر تیپ ثابت است. تعیین تیپ بر اساس فراوانی نسبی گونه‌ها صورت می‌گیرد و از موارد مهم در بیان کلی ویژگی‌های یک پارسل است (جدول ۱).



شکل ۱- منطقهٔ مورد مطالعه واقع در حوضهٔ هفت‌ناو اسالم، استان گیلان

Figure 1- Map of the study area of HaftNav Asalem 7th district, Guilan province

جدول ۱- مشخصات کلی قطعات مورد بررسی در جنگل‌های سری سه‌ناو اسالم
Table 1- The general characteristics of studied areas in SeNav Asalem forests

قطعه	مدت زمان مدیریت	روش جنگل‌داری	مساحت (هکتار)	پوشش تاجی (درصد)	تیپ جنگل
320	شاهد	فاقد مدیریت	43	70>	راش – ممرز همراه با توسکا
318	میان‌مدت	دانه‌زاد ناهمسال (شیوهٔ تک‌گزینی)	44	60>	راش آمیخته
250	بلندمدت	دانه‌زاد همسال (شیوهٔ تدریجی و پناهی)	48	70>	راش خالص

به‌منظور بررسی تأثیر شیوه‌های مختلف مدیریتی جنگل بر فعالیت‌های میکروبی خاک، سه قطعه با سابقهٔ مدیریتی متفاوت در سری دو و سه جنگل راش اسالم استان گیلان انتخاب و نمونه‌برداری از خاک آن‌ها انجام شد. در این مطالعه، شرایط رویشگاهی در مقیاس خرد مدنظر برای بررسی فعالیت‌های میکروبی، همگن لحاظ شد. تمام نمونه‌های خاک از راشستان‌ها (غلبه با گونهٔ راش) برداشت شد، ولی از نظر زیراشکوب، تراکم درختان و اندازهٔ آن‌ها شرایط کاملاً تصادفی بوده و تفاوت‌هایی وجود دارد. قطعات انتخاب‌شده شامل ۱) قطعهٔ شاهد (بدون دخالت بود. در طرح‌های مدیریت جنگل همواره یک پارسل در هر طرح جهت ارزیابی‌های آتی، بدون دخالت می‌ماند)، ۲) قطعهٔ با سابقهٔ اجرای طرح در میان‌مدت حداکثر ۲۰ سال تحت مدیریت شیوهٔ گزینشی و ۳) قطعهٔ با سابقهٔ اجرای طرح بلندمدت بیش از ۵۰ سال تحت مدیریت شیوهٔ تدریجی–پناهی بود. ممکن است سالیان درازی اثرات اجرای طرح‌های گذشته در جنگل وجود داشته باشد. پس از تعیین حدود قطعات مطالعاتی، تعداد ۱۵ نمونه در هر قطعه با روش منظم و تصادفی در قالب شبکهٔ آماربرداری ۱۰۰ × ۱۰۰ متر از نزدیک‌ترین درخت به مرکز تقاطع اضلاع شبکهٔ نمونه‌برداری، در مجموع ۴۵ نمونه از عمق ۳۰–۰ سانتی‌متری خاک برداشت شد. عمق فعالیت میکروبی در لایه و افق سطحی خاک بوده و در عمق‌های بیش‌تر، فعالیت میکروبی در حداقل است. نمونه‌ها در دمای چهار درجهٔ سلسیوس در زمستان سال ۱۳۹۶ به آزمایشگاه خاک‌شناسی منتقل شدند. برای اندازه‌گیری تنفس پایهٔ نمونه‌ها به ۲۰ گرم خاک مزرعه در یک بشر کوچک ۲۰ میلی‌لیتر هیدروکسید سدیم ۰/۰۵ نرمال اضافه شد و در داخل ظرف درپوش‌دار حاوی خاک قرار گرفت. سپس درب ظرف را بسته و به‌مدت ۲۴ ساعت داخل انکوباتور در دمای ۲۸ درجهٔ سانتی‌گراد قرار داده و بعد از ۲۴ ساعت محتویات بشر کوچک به داخل ارلن مایر ۲۵۰ میلی‌لیتری انتقال داده شد، و به آن دو میلی‌لیتر کلرید باریم ۰/۵ مولار و سپس سه تا چهار قطره معرف فنل فتالئین اضافه شد. با اسید کلرید ۰/۱ نرمال عمل تیتراسیون تا ظهور محلول بی‌رنگ انجام گرفت، در اندازه‌گیری تنفس برانگیخته ۵۰ گرم خاک مرطوب از هر نمونه وزن شده و در داخل ظروف درپوش‌دار ریخته و سپس یک میلی‌لیتر گلوکز یک درصد را به سه میلی‌لیتر آب مقطر اضافه کرده و این چهار میلی‌لیتر به‌عنوان سوبسترا به نمونهٔ خاک اضافه شد، یک بشر کوچک حاوی ۱۰ میلی‌لیتر هیدروکسید ۰/۱ مولار همراه نمونهٔ خاک در ظرف درب‌دار قرار گرفت و پس از شش ساعت همانند تنفس پایه اندازه‌گیری شد (Schinner et al., 1996). برای اندازه‌گیری کربن زی‌تودهٔ خاک از روش تدخین استخراج (Schinner et al., 1996) استفاده شد، بدین‌منظور ۲۵ گرم نمونهٔ خاک داخل ظرف شیشه‌ای ریخته شد و همراه آن یک بشر کوچک حاوی ۶۰ میلی‌لیتر کلروفرم در داخل دسیکاتور که حاوی کاغذ صافی مرطوب است قرار گرفت، سپس با پمپ مکش هوای داخل دسیکاتور خارج شد تا کلروفرم به جوش بیاید بعد پمپ خاموش شده و دسیکاتور به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و در دمای ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد قرار گرفت، در مرحلهٔ بعد به خاک تدخین‌شده همراه با نمونهٔ شاهد تدخین‌نشده (بدون کلروفرم) سولفات پتاسیم ۰/۵ مولار با نسبت یک به پنج اضافه شد و سپس سوسپانسیون حاصل با کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف شد. در ادامه ۲۰ میلی‌لیتر از عصارهٔ خاک (تدخین‌شده یا تدخین‌نشده) به ارلن ۲۵۰ میلی‌لیتر انتقال داده شد، ۱۰ میلی‌لیتر بی‌کرومات پتاسیم یک نرمال و سپس ۲۰ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک غلیظ به آن اضافه شد، ۱۰ قطره معرف ارتوفنانترولین به محتویات ارلن اضافه کرده و با فروآمونیوم سولفات ۰/۵ نرمال تا ظهور رنگ قرمز آجرتیتر شد. کربن آلی عصاره‌ها به روش (والکی بلک) و از رابطهٔ (OC%= M×39/0 [v1-v]/s) اندازه‌گیری شد (Nelson and Sommers, 1996). برای شمارش جمعیت ریزجانداران از محیط کشت مایع داخل لوله‌های کشت استفاده شد. ابتدا رقت‌های ده‌دهی از یک گرم خاک تهیه شد محیط کشت مورد استفاده، محیط کشت نوترینت براث بود و جانداران کشت‌شده عمدتاً شامل باکتری‌های هتروتروف تند رشد و قارچ‌ها بودند، آزمایش به مدت یک هفته انجام شد و رقیق‌سازی تا رقت منفی ۱۰ انجام شد، سپس از هر رقت تعداد پنج تکرار به لوله‌ها منتقل شد. پس از انکوباسیون، تعداد لوله‌ها در هر رقت که کدری نشان می‌دهند، یادداشت و با کمک جدول (MPN)، محتمل‌ترین تعداد ریزجانداران در هر گرم خاک خشک محاسبه شد (Ali Asgharzadeh, 2010). بهرهٔ متابولیک از تقسیم کربن آزادشده از تنفس پایه بر کربن زی‌تودهٔ میکروبی و بهرهٔ میکروبی از تقسیم کردن کربن زی‌تودهٔ میکروبی بر کربن آلی خاک محاسبه

شد (Martens, 1991). برای اندازه‌گیری فراوانی نسبی ذرات خاک (بافت خاک) از روش هیدرومتری استفاده شد (AliAsgharzadeh, 2010). پس از تهیهٔ گل اشباع و ماندن نمونه به مدت یک شب، قرائت pH در گل اشباع انجام گرفت و با استفاده از pH متر قرائت صورت گرفت. هم‌چنین برای EC ابتدا سوسپانسیون نمونه‌ها با گل اشباع آماده و سپس بعد از سانتریفیوژ نمونه‌ها، عصاره صاف شده با دستگاه EC متر قرائت انجام شد (Ali Asgharzadeh, 2010).

نرمال‌بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف اسمیرنوف و همگنی واریانس‌ها با آزمون لون بررسی شد. با توجه به این‌که داده‌ها دارای توزیع نرمال بودند، برای مقایسات کلی میانگین‌ها از آزمون آنالیز واریانس یک طرفه (One Way Anova) و برای مقایسهٔ میانگین شاخص‌ها در قطعات مورد مطالعه از آزمون توکی و هم‌چنین ارتباط بین شاخص‌های شیمیایی و زیستی خاک از آزمون همبستگی اسپیرمن استفاده شد. در مواردی به علت عدم امکان نرمال‌سازی و سایر پیش‌فرض‌ها از این آزمون ناپارامتری استفاده شده است. تجزیهٔ آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخهٔ ۲۲ انجام پذیرفت. هم‌چنین از نرم‌افزار Excel برای رسم نمودارها استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

بر اساس نتایج، بیش‌ترین مقدار کربن آلی (۴/۶ ٪)، (۴۶/۸ میلی‌گرم دی‌اکسیدکربن در یک روز در یک گرم خاک خشک)، تنفس برانگیخته (۴۲/۷۷ میلی‌گرم دی اکسید کربن در یک گرم خاک خشک در شش ساعت)، جمعیت ریزجانداران (۱/۰۹×۱۰^{۸} عدد در یک گرم خاک خشک) و کربن زی‌تودهٔ میکروبی (۱۶/۵ میلی‌گرم کربن در یک گرم خاک خشک) در قطعهٔ با شیوهٔ مدیریت پناهی به‌دست آمد (جدول ۳). تنفس پایه و برانگیخته دارای اختلاف معناداری در قطعهٔ تحت مدیریت پناهی نسبت به دو قطعهٔ گزینشی و شاهد بودند. نتایج این تحقیق نشان داد بالاترین میزان تنفس میکروبی در قطعهٔ تحت مدیریت پناهی است. در خصوص اهمیت مطالعهٔ تنفس میکروبی، Kara and Bolat (2007) آن را شاخصی برای معرفی خاک با کیفیت بالا می‌داند، هرچه تنفس میکروبی بیش‌تر باشد فعالیت بالقوهٔ میکروبی خاک بیش‌تر خواهد بود. از علل مؤثر بر تنفس میکروبی خاک در اکوسیستم‌های جنگلی مناسب بودن شرایط برای فعالیت میکروبی خاک از جمله عرضهٔ کافی کربن و وجود لایهٔ لاشبرگ مورد استفادهٔ ریزجانداران خاک است (Iqbal et al., 2008). در مناطقی که شیوهٔ پناهی اجرا شده و در ادامه جنگل رها شده و عملیات پرورشی اجرا نشده است، زیراشکوب بسیار انبوهی از درختان راش و در موارد اندک ممرز وجود دارد و میزان ریزش لاشبرگ بسیار بیش‌تر از درختان کهنسال است. بر همین اساس می‌توان بیان داشت که یکی از دلایل بالا بودن تنفس میکروبی در خاک، فعالیت ریزجانداران خاک است که در قطعهٔ تحت مدیریت پناهی بالاترین تعداد ریزجانداران خاک وجود دارد. ریزجانداران خاک در تجزیهٔ لاشبرگ‌های کف جنگل نقش مهمی دارند. با توجه به این‌که تنفس میکروبی بیانگر انتشار دی‌اکسیدکربن و فعالیت زیستی خاک است، یکی از فرآیندهای اصلی در کنترل کربن اکوسیستم‌های خشکی محسوب می‌شود (Gartzia-Bengoetxea et al., 2016; Zifcakova et al., 2016). نتایج هم‌چنین نشان داد که در قطعات با سابقهٔ مدیریتی متفاوت از بین ویژگی‌های خاک کربن آلی، EC، pH و بهرهٔ میکروبی خاک اختلاف معناداری ندارند. درحالی‌که تنفس پایه و برانگیخته، کربن زی‌تودهٔ میکروبی جمعیت ریزجانداران، بهرهٔ متابولیک، در سطح احتمال یک درصد با یک‌دیگر اختلاف معناداری دارند (جدول ۲). کربن آلی خاک اختلاف معناداری در سه قطعه نداشت، اما مانند خصوصیات زیستی خاک در قطعهٔ پناهی بیش‌ترین مقدار را داشت. تعداد ریزجانداران خاک، کربن زی‌تودهٔ میکروبی، تنفس پایه، تنفس برانگیخته و کربن آلی رابطهٔ افزایشی معناداری نسبت به یک‌دیگر داشتند. بافت خاک در بیش‌تر سطح هر سه قطعه شنی–لومی و در بعضی مناطق لومی–شنی است. EC در محدودهٔ ۳/۸۳–۰/۶۲۹ دسی‌زیمنس بر متر و اسیدیتهٔ خاک نیز در محدودهٔ ۶/۵–۵ در هر سه قطعه تقریباً یکسان بود (جدول ۳).

جدول ۲- تجزیهٔ واریانس مشخصات خاک در سه منطقهٔ نمونه‌برداری‌شده

Table 2- Analysis of variance soil characteristics in three sampled areas

شاخص	درجهٔ آزادی	آماره	میانگین مربعات	معناداری
OC	2	1.38	2.25	0.261 ^{ns}
SIR	2	183	2629	0.000**
BR	2	35.9	17.3	0.000**
MBC	2	35.5	251	0.000**
MPN	2	50.5	13.5	0.000**
Qmic	2	1.17	1.17	0.391^{ns}
qco2	2	5.02	0.439	0.009**
pH	2	0.426	0.007	0.657 ^{ns}
EC	2	0.346	0	0.710^{ns}

OC کربن آلی، SIR تنفس برانگیخته، BR تنفس پایه، MBC کربن زی‌تودهٔ میکروبی، MPN تعداد ریزجانداران، qco_2 بهرهٔ متابولیک، pH اسیدیتهٔ خاک، Q_{mic} بهرهٔ میکروبی، EC هدایت الکتریکی. **معناداری در سطح احتمال یک درصد و ns غیرمعنادار است.

جدول ۳- میانگین مشخصات خاک در سه منطقه با شیوهٔ مدیریتی متفاوت
Table 3- mean soil characteristics in three regions with different management methods

مشخصه	شاهد	گزینشی	پناهی
کربن آلی (٪)	3.19	3.19	4.6
اسیدیته	6.08	6.2	6.02
رسانش (هدایت) الکتریکی (dS/m)	1.22	1.19	1.09
رس (٪)	6.6	6.2	9.2
سیلت (٪)	28.8	20.2	26.9
شن (٪)	63.4	73.5	63.5

تنفس برانگیخته در سه قطعه با سابقهٔ مدیریتی متفاوت بیش‌ترین میزان را در قطعهٔ تحت مدیریت پناهی و کم‌ترین میزان در قطعهٔ تحت مدیریت گزینشی داشت (شکل ۲). تنفس برانگیخته اختلاف معناداری در سطح احتمال یک درصد را در هر سه قطعه نسبت به یک‌دیگر داشت. بر همین اساس حداکثر تنفس پایه مربوط به قطعهٔ تحت مدیریت پناهی و حداقل آن مربوط به قطعهٔ شاهد بودند. قطعهٔ شاهد با قطعهٔ تحت مدیریت پناهی و قطعهٔ گزینشی با قطعهٔ پناهی اختلاف معنادار در سطح احتمال یک درصد داشت ولی قطعهٔ تحت مدیریت گزینشی با شاهد اختلاف معناداری را نشان نداد (شکل ۳). کربن زی‌تودهٔ میکروبی در قطعهٔ تحت مدیریت پناهی اختلاف معناداری در سطح احتمال یک درصد با قطعهٔ شاهد و قطعهٔ تحت مدیریت گزینشی داشت، اما قطعهٔ گزینشی با شاهد اختلاف نداشتند (شکل ۴). در رابطه با جمعیت ریزجانداران قطعهٔ شاهد با قطعهٔ تحت مدیریت پناهی در سطح احتمال یک درصد اختلاف دارند (شکل ۵) و قطعهٔ تحت مدیریت گزینشی نیز با پناهی در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنادار دارد و هم‌چنین قطعهٔ گزینشی با شاهد نیز در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنادار دارد. هدایت الکتریکی و اسیدیتهٔ خاک هیچ‌کدام اختلاف معناداری در سه شیوهٔ مدیریتی نداشتند. به نظر می‌رسد که نوع مدیریت تأثیر چندانی بر تغییر مقدار اسیدیتهٔ خاک نداشته است. یکسان بودن تیپ جنگل (راش خالص یا با فراوانی بیش از ۵۰ درصد) و سنگ بستر را می‌توان از دلایل این امر بیان کرد.

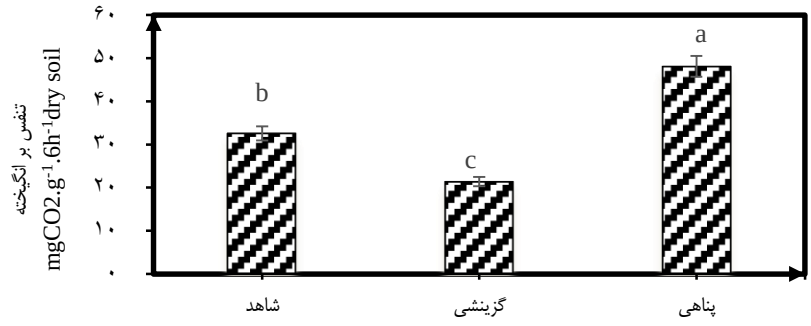
به نظر می‌رسد دلیل بیش‌تر بودن شاخص‌های زیستی خاک در منطقهٔ تحت مدیریت پناهی انباشت مازاد مقطوعات در برداشت‌های با شدت بالا مانند برش‌های نواری باعث انباشت عناصر تغذیه‌ای و تقویت فعالیت میکروبی در این نواحی باشد. در این قطعه احتمالاً بازگشت مواد آلی به خاک نسبت به قطعهٔ شاهد و گزینشی بیش‌تر است که می‌تواند به علت برش‌های میانی و چند مقطعی در این شیوه در سال‌های پیشین باشد. در همین راستا Lu et al. (2014) نشان دادند در شیوه‌های مختلف مدیریتی جنگل مادهٔ آلی خاک، کربن زی‌تودهٔ میکروبی و تنفس پایه از مهم‌ترین عوامل منعکس‌کنندهٔ خواص شیمیایی و زیستی خاک هستند. با توجه به نتایج Li et al. (2004) خواص میکروبی می‌تواند برای تعیین تأثیر شیوه‌های مدیریت جنگل شاخص بالقوه باشد. Jomura et al. (2004) تغییرات زی‌تودهٔ میکروبی خاک را در رابطه با قطعات باقی‌ماندهٔ چوبی بررسی و مشاهده کردند حضور قطعات باقی‌مانده منجر به افزایش مادهٔ آلی خاک و زی‌تودهٔ میکروبی می‌شود. دلیل این‌که قطعهٔ تحت مدیریت پناهی از قطعهٔ شاهد دارای خاک با خصوصیات و کیفیت بهتر است را می‌توان این‌گونه عنوان کرد که بازگشت مادهٔ آلی به خاک در قطعهٔ پناهی بالاتر است. این قطعه نسبت به قطعهٔ شاهد دارای فعالیت میکروبی بیش‌تری است. فعالیت میکروبی بیش‌تر نشان‌دهندهٔ سلامت خاک است. بهره‌برداری و برداشت درختان در عرصه باعث ایجاد خرداقلیم می‌شود. دریافت نور و رطوبت بیش‌تر، در فعالیت بیش‌تر جوامع میکروبی خاک و در نتیجه تجزیهٔ سریع‌تر لاشبرگ‌ها نقش مؤثری خواهد داشت. لازم به ذکر است برداشت درختان از سطح جنگل، مقادیر لاش‌ریزهٔ بازگشتی به خاک، پایداری هوموس و ظرفیت بالقوهٔ هوموسی‌شدن را کاهش خواهد داد. برای نتیجه‌گیری درست‌تر، نباید به نتایج مقطعی اکتفا کرد.

با توجه به نتایج به‌دست آمده، کربن زی‌تودهٔ میکروبی نیز بیش‌ترین میزان را در قطعهٔ تحت مدیریت پناهی داشت و بین قطعات گزینشی و شاهد اختلاف معناداری وجود نداشت (شکل ۴). میانگین سالانهٔ کربن زی‌تودهٔ میکروبی در توده‌های راش آمیختهٔ مدیریت‌شده به شیوهٔ تک‌گزینی (۹۲/۲۲ ± ۴۴/۹۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک خشک) و توده‌های دخالت‌نشده یا شاهد (۶۶/۲۲ ± ۵۶/۹۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک خشک) در جنگل آموزشی-پژوهشی دکتر بهرام‌نیای گرگان از نظر آماری با هم مشابه بودند (Rafiee et al., 2017) که موافق با نتایج پژوهش حاضر است. زی‌تودهٔ میکروبی خاک می‌تواند به‌عنوان یک شاخص حساس به پایداری اکولوژیکی خاک مورد استفاده قرار گیرد (Guo et al., 2011). زی‌تودهٔ میکروبی خاک نه‌تنها منبع غذایی ناپایدار در خاک به شمار می‌رود، بلکه واسطی برای تبدیل و چرخه مواد آلی و عناصر غذایی گیاهی در خاک است. از این‌رو انتظار می‌رود که با افزایش تنفس و زی‌تودهٔ میکروبی

میزان کربن آلی نیز افزایش یابد. به همین دلیل شاخص‌های میکروبی خاک می‌توانند برای تعیین تأثیر شیوه‌های مدیریت جنگل به کار گرفته شوند. ریزجانداران خاک نقش مهمی در تجزیه و چرخهٔ معدنی‌سازی مواد آلی بازی می‌کنند (Malchair Carnol, 2009; Guo et al., 2016; Ge et al., 2017; Li et al., 2017; Luo et al., 2017).

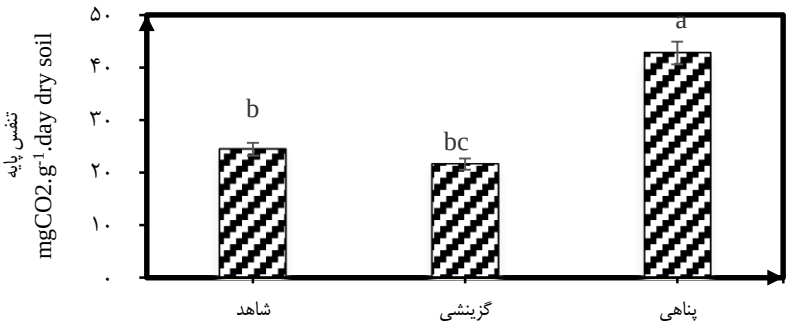
در رابطه با دیگر خصوصیات خاک، بهرهٔ متابولیک نیز در سه قطعهٔ با سابقهٔ مدیریتی متفاوت بیش‌ترین میزان را در قطعهٔ تحت مدیریت گزینشی و کم‌ترین میزان را در قطعهٔ تحت مدیریت پناهی داشت، که قطعهٔ گزینشی با پناهی و قطعهٔ شاهد با پناهی در سطح احتمال یک درصد اختلاف معناداری نشان داد و هم‌چنین قطعهٔ گزینشی با شاهد اختلاف معناداری نداشت (شکل ۶). علاوه بر آن قطعهٔ شاهد و گزینشی نیز با یک‌دیگر اختلاف معناداری نداشتند. با توجه به بهرهٔ متابولیک می‌توان بیان کرد قطعهٔ تحت مدیریت پناهی در مقایسه با قطعهٔ شاهد و قطعهٔ با شیوهٔ مدیریت گزینشی دارای ثبات و پایداری بیش‌تری در چرخهٔ انرژی است؛ زیرا شاخص بهرهٔ متابولیک نشان‌دهندهٔ وجود تنش و آشفتگی در خاک است و معیار غیرمستقیمی از کارایی انرژی میکروبی است، هر چه خاک در وضعیت ناپایدارتری قرار داشته باشد مقدار این شاخص بالاتر است و هر چه بهرهٔ متابولیک کم‌تر باشد چرخه‌های میکروبی کارآمدتر هستند. نتایج همبستگی شاخص‌های زیستی خاک جنگل نشان می‌دهد ریزجانداران خاک همبستگی مثبت معناداری در سطح احتمال یک درصد با زی‌تودهٔ میکروبی دارد. کربن زی‌تودهٔ میکروبی علاوه بر ریزجانداران خاک با تنفس پایه و تنفس برانگیخته همبستگی مثبت معناداری در سطح احتمال یک درصد نشان داد (جدول ۴). تنفس پایه نیز همبستگی مثبت معناداری در سطح احتمال یک درصد با میزان تنفس برانگیخته، ریزجانداران خاک، کربن زی‌تودهٔ میکروبی دارد و علاوه بر آن شاخص کربن آلی همبستگی مثبت معناداری در سطح احتمال یک درصد با ریزجانداران خاک، کربن زی‌تودهٔ میکروبی، تنفس پایه و برانگیخته دارد. همانند نتایج این پژوهش، Shalikar (2007) نیز ضریب همبستگی بالایی بین مادهٔ آلی خاک، کربن زی‌تودهٔ میکروبی و تنفس خاک نشان داد.

انتظار می‌رود قطعهٔ شاهد به‌دلیل کم‌ترین دخالت انسانی (هرچند برداشت‌های غیرقانونی در عرصه مشاهده شده اما در مقایسه با دو قطعهٔ دیگر دخالت‌های انسانی در حداقل است)، دارای خاک با کیفیت بالاتری در مقایسه با قطعهٔ تحت مدیریت پناهی باشد. برداشت گیاهان، درختان، ریشه و مازاد مقطوعات عمده‌ترین منبع مادهٔ آلی در خاک بوده به‌طوری‌که در پژوهشی بیان شد اضافه کردن مازاد مقطوعات به خاک، مادهٔ آلی خاک را به‌طور معناداری افزایش داده است (Alghosi et al., 2020) و به‌دلیل این‌که مادهٔ آلی از درصد بالایی از کربن آلی، کربن زی‌تودهٔ میکروبی، آنزیم‌ها و کربوهیدرات‌ها تشکیل شده است و با توجه به این‌که در سال‌های اخیر برداشت‌هایی با شدت بالا (برش‌های میانی و چندمقطعی) در قطعهٔ تحت مدیریت پناهی صورت گرفته است، در نتیجه با انباشت ضایعات درختی مواجه بوده که یکی از منابع بازگشت مادهٔ آلی به خاک است. با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان اذعان داشت قطعهٔ تحت مدیریت پناهی در شرایط فعلی به لحاظ مشخصه‌های زیستی خاک شرایط بهتری دارد.



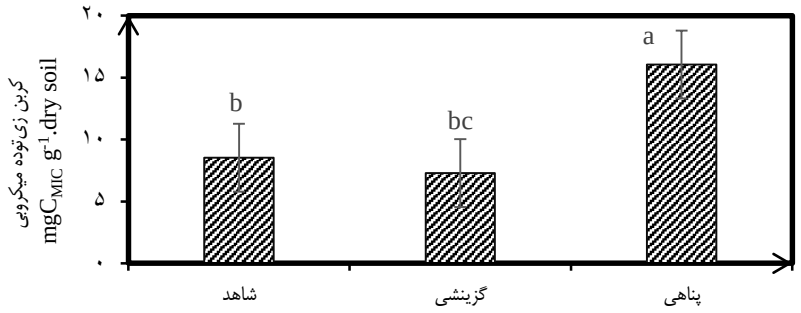
شکل ۲- مقایسهٔ میانگین تنفس برانگیخته در سه شیوهٔ مدیریتی جنگل

Figure 2 - Comparison of mean stimulated respiration in three forest management practices



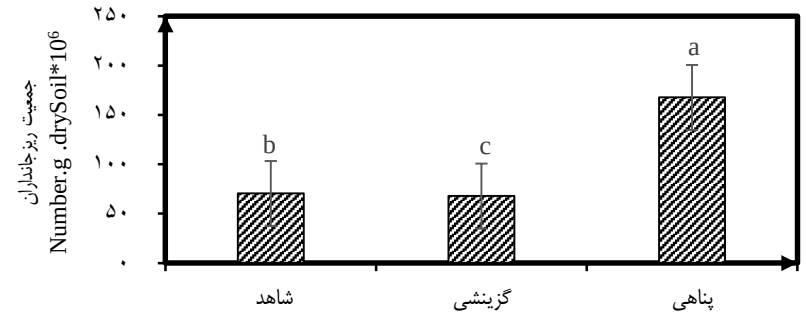
شکل ۳- مقایسهٔ میانگین تنفس پایه در سه شیوهٔ مدیریتی جنگل

Figure 3- Comparison of mean basic respiration in three forest management practices



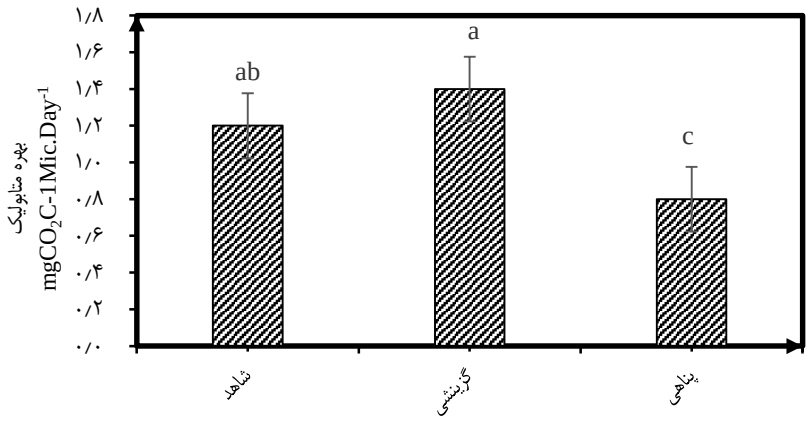
شکل ۴- مقایسهٔ میانگین کربن زی‌تودهٔ میکروبی در سه شیوهٔ مدیریتی جنگل

Figure 4- Comparison of mean microbial biomass in three forest management practices



شکل ۵- مقایسهٔ میانگین جمعیت ریزجانداران در سه شیوهٔ مدیریتی جنگل

Figure 5- Comparison of the mean population of micro-organisms in three forest management practices



شکل ۶- مقایسهٔ میانگین بهرهٔ متابولیک در سه شیوهٔ مدیریتی جنگل

Figure 6- Comparison of mean metabolic quotient in three forest management practices

جدول ۴ – همبستگی بین شاخص‌های زیستی و شیمیایی خاک
Table 4 - Correlation between biological and chemical soil indicators

شاخص	تعداد ریزجانداران (تعداد در یک گرم خاک خشک)	کربن زی‌تودهٔ میکروبی (میلی‌گرم کربن در یک گرم خاک خشک)	تنفس پایه (میلی‌گرم دی‌اکسیدکربن در یک روز در یک گرم خاک خشک)	تنفس برانگیخته (میلی‌گرم دی‌اکسیدکربن در یک گرم خاک خشک در شش ساعت)	کربن آلی (درصد)
تعداد ریزجانداران (تعداد در یک گرم خاک خشک)	1				
کربن زی‌تودهٔ میکروبی (میلی‌گرم کربن در یک گرم خاک خشک)	0.751**	1			
تنفس پایه (میلی‌گرم دی‌اکسیدکربن در یک روز در یک گرم خاک خشک)	0.743**	0.955**	1		
تنفس برانگیخته (میلی‌گرم دی‌اکسید کربن در یک گرم خاک خشک در شش ساعت)	0.781**	0.971**	0.972**	1	
کربن آلی (درصد)	0.437**	0.411**	0.379**	0.427**	1

معناداری در سطح اعتماد یک درصد. .significance at the confidence level of one percent

۴- نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد که شاخص‌های زیستی و شیمیایی خاک در قطعهٔ تحت مدیریت پناهی از میزان بیش‌تری برخوردار است، پس از آن قطعهٔ شاهد و در نهایت قطعهٔ گزینشی کم‌ترین میزان شاخص‌های زیستی را داشتند. دلیل این‌که قطعهٔ پناهی نسبت به قطعهٔ شاهد دارای خاک با خصوصیات و کیفیت بهتری است را می‌توان بازگشت به نسبت زیاد مادهٔ آلی به جهت انبوهی فراوان و وجود گونهٔ ممرز دانست. علاوه بر این به نظر می‌رسد نرخ تجزیه با توجه به فعالیت ریزجانداران، تنفس خاک و هم‌چنین شاخص‌های سلامت میکروبی خاک بالاتر است، در نتیجه میزان اثرپذیری از شاخص‌های خاک‌شناسی در هر یک از شیوه‌های مدیریتی جنگل و هم‌چنین قطعهٔ شاهد متفاوت است. پایداری جنگل صرفاً در گرو افزایش کیفیت زیستی خاک نیست، توصیه می‌شود در قطعات پناهی عملیات پرورشی اجرا و در قطعات گزینشی افزایش آمیختگی توده و حمایت از گونه‌های با تجزیهٔ سریع لاشبرگ مانند ممرز لحاظ شود. از جملهٔ محدودیت‌های این پژوهش عدم تجهیز کامل آزمایشگاه خاک‌شناسی به دستگاه‌های موردنیاز و مدرن بود. پیشنهاد می‌شود تا شاخص‌های زیستی خاک در طول زمان (ماهانه، فصلی و چند سال) سنجش شده تا نتایج آن‌ها برای بخش‌های مدیریتی و اجرایی مفید واقع شود. هم‌چنین پیشنهاد می‌شود که عناصر تغذیه‌ای پرمصرف و کم‌مصرف مورد سنجش قرار گرفته تا بتوان به ارتباط بین فعالیت‌های زیستی و وضعیت عناصر تغذیه‌ای خاک پی برد.

منابع

الغوثی، دنیا، لطفعلیان، مجید، نصیری، مهران، و اسماعیل‌پور، محمد (۱۳۹۹). اثر خاکستر مازاد مقطوعات در بهبود برخی خواص خاک شیروانی خاک‌ریزی جادهٔ جنگلی. *پژوهش و توسعهٔ جنگل*، ۶(۳)، ۳۶۷-۳۸۰. doi:10.30466/jfrd.2020.120897

امان‌زاده، بیت‌اله، ثاقب‌طالبی، خسرو، فدایی خشکبیجاری، فرهاد، خانجانی شیراز، بابا، و همتی، ارسلان (۱۳۹۰). ارزیابی توزیع‌های مختلف آماری در برآورد پراکنش تعداد در طبقات قطری توده‌های راش شفارود در مراحل مختلف تحولی جنگل. *تحقیقات جنگل و صنوبر ایران*، ۱۹(۲)، ۲۵۴-۲۶۷. doi:10.22092/ijfpr.2011.107567

آملی‌کندوری، علیرضا، ابراری واجاری، کامبیز، فیضیان، محمد، و دی آیوریو، آنتونینو (۱۴۰۰). ارتباط ویژگی‌های ساختاری درختان راش و خصوصیات زیستی خاک با شاخص رقابت در روشنه‌های تاج‌پوشش در تودهٔ جنگلی راش. *بوم‌شناسی جنگل‌های ایران*، ۹، ۷۴-۸۰. doi:10.52547/ifej.9.18.74

رفیعی، فاطمه، حبشی، هاشم، رحمانی، رامین، و ثاقب طالبی، خسرو (۱۳۹۶). تغییرات زمانی کربن زی‌تودهٔ میکروبی و سهم میکروبی در تودهٔ راش آمیخته (مطالعهٔ موردی: طرح جنگل‌داری دکتر بهرام‌نیا-گرگان). *نشریهٔ جنگل و فرآورده‌های چوب*، ۷۰(۴)، ۶۵۹-۶۷۰. doi:10.22059/jfwp.2017.243209.869

شالیکار، ا. (۱۳۸۷). بررسی تغییرپذیری مکانی برخی از شاخص‌های کیفی خاک در خاک‌ورزی متناوب مزارع برنج. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

علی‌اصغرزاده، ناصر (۱۳۹۰). روش‌های آزمایشگاهی در بیولوژی خاک. انتشارات دانشگاه تبریز، ۵۴۶ صفحه.

کوچ، یحیی، و احسانی، سمیه (۱۳۹۹). تأثیر کاربری‌های مختلف بر شاخص‌های نوین کیفیت خاک در منطقهٔ البرز مرکزی.

doi:10.52547/ifej.8.16.60

References

Alghosi, D., Lotfalian, M., Nasiri, M., & Esmaeilpour, M. (2020). Evaluation of the effects of logging residual ash for improving some soil properties of forest road fill slope. *Forest Research and Development*, 6(3), 367-380. doi:10.30466/jfrd.2020.120897 [In Persian]

Ali Asgharzadeh, N. (2010). *Laboratory methods of soil biology*. Tabriz University Publication, 546 pages (in Persian).

Amanzadeh, B., Sahib Talibi, KH., Fedaei Khashbijari, F., Khanjani Shiraz, B., & Hemmati, A. (2011). Evaluation of various statistical distributions in estimating the distribution of number in diameter classes of Shafarood beech masses in different stages of forest development. *Journal of Forest and Poplar Research*, 19(2), 254-267. doi:10.22092/ijfpr.2011.107567 [In Persian]

Amolikondori, A., Abrari Vajari, K., Feizian, M., & Diiorio, A. (2021). Interactions between structural properties beech tree and soil biology with competition index in canopy gaps in Beech stand. *IFEJ*, 9, 74-80. doi:10.52547/ifej.9.18.74 [In Persian]

Gartzia-Bengoetxea, N., Kandeler, E., De Arano, I., & Arias-González, A. (2016). Soil microbial functional activity is governed by a combination of tree species composition and soil properties in temperate forests. *Applied Soil Ecology*, 100, 57-64. doi:10.1016/j.apsoil.2015.11.013

Ge, T., Wei, X., Bahar, S., Zhu, Z., Hu, Y., Kuzyakov, Y., Jones, D., & Wu, J. (2017). Stability and dynamics of enzyme activity patterns in the rice rhizosphere: Effects of plant growth and temperature. *Soil Biology and Biochemistry*, 113, 108-115. doi:10.1016/j.soilbio.2017.06.005

Guo, P., Wang, C., Jia, Q., Wang, Q., Han, G., & Tian, X. (2011). Response of soil microbial biomass and enzymatic activities to fertilizations of mixed inorganic and organic nitrogen at a subtropical forest in East China. *Plant and Soil*, 338, 355 – 366. doi:10.1007/s11104-010-0550-8

Guo, X., Chen, H., Meng, M., Biswas, S.R., Ye, L., & Zhang, J. (2016). Effects of land use change on the composition of soil microbial communities in a managed subtropical forest. *Forest Ecology and Management*, 373, 93–99. doi:10.1016/j.foreco.2016.03.048

Hannam, K., Quideau, S., & Kishchuk, B. (2006). Forest floor microbial communities inrelation to stand composition and timber harvesting in northern Alberta. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(9), 2565-2575. doi:10.1016/j.soilbio.2006.03.015

بوم‌شناسی جنگل‌های ایران، ۸(۱۶)، ۶۰-۷۱.

Hardoim, P., Van Overbeek, L., Berg, G., Pirttilä, A., Compant, S., Campisano, A., Döring, M., & Sessitsch, A. (2015). The hidden world within plants: ecologicaland evolutionary considerations for defining functioning of microbialendophytes. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 79, 293–320. doi:10.1128/mmbr.00050-14

Iqbal, J., Ronggui, H., Lijun, D., Lan, L., Shan, L., Tao, C., & Leilei, R. (2008). Differences in soil CO2 flux between different land use types in mid-subtropical China. *Soil Biology and Biochemistry*, 40, 2324-2333. doi:10.1016/j.soilbio.2008.05.010

Jomura, M., Kimura, H., Furusawa, H., Kominami, Y., & Kanazawa, Y. (2004). The measurement of microbial biomass C in coarse woody debris by fumigation– extraction method. *Memoirs of Graduate School of Science and Technology Kobe University*, 22, 67–70.

Jourgholami, M., Ghassemi, T., & Labelleb, R. (2019). Soil physio-chemical and biological indicators to evaluate the restoration of compacted soil following reforestation. *Ecological Indicators*, 101, 102-110. doi:10.1016/j.ecolind.2019.01.009

Kara, O., & Bolat, L. (2007). The effect of different land uses on soil microbial biomass carbon and nitrogen in Barton Province. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32, 281-288.

Kersey, J., & David, M. (2021). Response of oil health indicators to organic matter removal and compaction manipulations at six LTSP sites in the Western US. *Forest Ecology and Management*, 490, 119104.

Kooch, Y., & Ehsani, S. (2020). The Effect of Different Land Uses on New Indices of Soil Quality in Central Alborz Region. *Ecology of Iranian Forest*, 8(16), 60-71. doi:10.52547/ifej.8.16.60 [In Persian]

Li, Q., Allen, H., Wilson, C., & Wollum, A. (2004). Microbial biomass and bacterialfunctional diversity in forest soils: effects of organic matter removal, compaction, and vegetation control. *Soil Biology and Biochemistry*, 36, 571-579. doi:10.1016/j.soilbio.2003.12.001

Li, Y., Li, Y., Chang, S., Liang, X., Qin, H., Chen, J., & Xu, Q. (2017). Linking soil fungal community structure and function to soil organic carbon chemical composition in intensively managed subtropical bamboo forests. *Soil Biology and Biochemistry*, 107, 19–31. doi:10.1016/j.soilbio.2016.12.024

Lu, X., Toda, F., Ding, H., Fang, S., & Yang, W. (2014). Effect of vegetation types on chemical and biological properties of soils of karst ecosystems. *European Journal of Soil Biology*, 61, 49-57. doi:10.1016/j.ejsobi.2013.12.007

Luo, Y., Zang, H., Yu, Z., Chen, Z., Gunina, A., Kuzyakov, Y., Xu, J., Zhang, K., & Brookes, P. (2017). Priming effects in biochar enriched soils using a three-source-partitioning approach: 14C labelling and 13C natural abundance. *Soil Biology and Biochemistry*, 106, 28–35. doi:10.1016/j.soilbio.2016.12.006

Maharjana, M., Sanaullaha, M., Razavid, B., & Kuzyakov, Y. (2017). Effect of land use and management practices on microbial biomass and enzyme activities in subtropical top-and sub-soils. *Applied Soil Ecology*, 113, 22–28. doi:10.1016/j.apsoil.2017.01.008

Malchair, S., & Carnol, M. (2009). Microbial biomass and C and N transformations in forest floors under European beech, sessile oak, Norway spruce and Douglas-fir at four temperate forest sites. *Soil Biology and Biochemistry*, 41, 831–839. doi:10.1016/j.soilbio.2009.02.004

Martens, R. (1991). *Methoden zur quantitativen Bestimmung und Charakterisierung der mikrobiellen Biomasse des Bodens*. Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft.

Nelson, D., & Sommers, L. (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: D.L Sparks, *Methods of soil analysis: Part 3 Chemical Methods*, SSSA Book Series No. 5, SSSA and ASA, Madison, WI, 961-1010.

Rafiee, F., Habashi, H., Rahmani, R., & Sagheb Talebi, K. (2017). Temporal variation of microbial biomass carbon and microbial quotient in a mixed beech stand (Case study: Dr. Bahramnia forestry plan, Gorgan). *Forest and Wood Products*, 70(4), 659-670. doi:10.22059/jfwp.2017.243209.869 [In Persian]

Salazara, S., Sánchezb, L., Alvareza, J., Valverdea, A., Galindoc, P., Igualc, J., Peixa, A., & Santa-Regina, I. (2011). Correlation among soil enzyme activitiesunder different fore I.st system managementpractices. *Ecological Engineering*, 37,1123–1131. doi:10.1016/j.ecoleng.2011.02.007

Schinner, F., Öhlinger, R., Kandeler, E., & Margesin, R. (1996). *Methods in Soil Biology*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, 56 pages.

Shalikar, A. (2007). Investigation of spatial variability of some qualitative soil indices in different alternation rice tillage. M.Sc. Thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. [In Persian]

Wang, Y., Chen, L., Xiang, W., Ouyang, S., Zhang, T., Zhang, X., Zeng, Y., Hu, Y., Luo, G., & Kuzyakov, Y. (2021). Forest conversion to plantations: A meta-analysis of consequences for soil and microbial properties and functions. *Global Change Biology*, 27, 5643-5656. doi:10.1111/gcb.15835

Zifcakova, L., Vetrovsky, T., Howe, A., & Barldrian, P. (2016). Microbial activity in forest soil reflects the changes in ecosystem properties between summer and winter. *Environmental Microbiology*, 18, 288-301. doi:10.1111/1462-2920.13026