Publisher: Soil Science Society of Iran

Soil Biology Journal

https://sbj.areeo.ac.ir/

Research Article

Effects of pistacia atlantica desf on some soil properties (case study: farak tafaresh region)

Amir Moradinejad[1], Mohammad Matinizadeh[2] and Tahereh Alizadeh[3]

[1]Assist. Prof., Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Markazi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Arak, Agricultural Research Education & Extention Organization (AREEO). Arak, Iran. **amir_24619@yahoo.com**

[2] The country's forests and pastures research institute, organization of research, education and extension of agriculture, Tehran, Iran **mohamadmatinizadeh@yahoo.com**

[3] Research expert of the Research Institute of Forests and Pastures of the country. **Taherehalizadeh64@yahoo.com**

Article Info

Received:
April 30, 2024

Accepted:
October5,2024

Keywords:
Soil monitoring, biomass, stem, soil respiration.

Corresponding author's email:
amir_24619@yahoo.com

DOI:
10.22092/SBJ.2024.365365.262

Extended Abstract

Background and Objectives: Soil, as a fundamental component of the ecosystem, plays a crucial role in influencing and diversifying forest species. Conversely, vegetation type also significantly modifies the physical, chemical, and biological characteristics of soils. Additionally, soil microbial communities are essential for the decomposition and stabilization of organic matter, as well as the mineralization of nutrients. Due to their high diversity, these communities provide critical ecosystem services within the soil. Therefore, a proper and precise evaluation of these communities based on efficient and reliable indicators can yield valuable information.Understanding soil characteristics forms a fundamental basis for forest management, impacting various ecological and forestry options. Soil represents a vital natural resource for any nation and is non-renewable on a human timescale. Given that forest degradation often begins with soil degradation, this research aims to measure the biological characteristics of the studied forest stands. It also enables long-term monitoring of the physical and chemical changes in the soils of these forest areas.

Materials and Methods: In this research, the indicators of basic microbial respiration, stimulated microbial respiration, nitrification potential, microbial biomass carbon, and metabolic fraction were evaluated in relation to tree stems. To assess soil quality indicators, the biological characteristics of the soil were investigated. Soil sampling was conducted for each selected tree trunk from a depth of 0-15 cm, located under the tree crown (specifically, in the area between the trunk and the outer edge of the crown) in the east direction of the tree. Fifteen soil samples were randomly collected from the depth of 0 to 15 cm within each sample plot for the existing and dominant tree species (ranging from one to three species). These three soil samples from each plot were thoroughly mixed and combined into one composite sample. In total, five composite soil samples were prepared for each species by pooling the individual samples. Additionally, fifteen soil samples were randomly collected from the depth of 0 to 15 cm within each sample plot, outside the crown and in areas without cover. These samples were also mixed well and combined into

one composite sample for the plot, resulting in five soil samples for each sample plot. Two treatments were tested: one under the tree canopy and the other in pasture-covered areas outside the canopy. In total, 30 soil samples were collected: 15 from beneath the canopy and 15 from outside the canopy in pasture-covered areas. In each treatment, three samples were combined to form one sample. Five samples from each treatment were sent to the laboratory, and the coordinates of each sample were recorded to prepare a sampling map. Immediately after sampling, part of the soil samples was stored in plastic bags, while the other part was kept at 4°C and transported to the laboratory for further analysis. The biological characteristics measured included microbial biomass carbon, basic respiration, stimulated respiration, and nitrification potential. Ultimately, five replicates were obtained for the sub-canopy samples and five replicates for the control samples..

Results: Overall, the results indicated that most biological characteristics of the soil were significantly influenced by the tree canopy, showing notable changes compared to the control samples. This suggests that the canopy has a substantial impact on soil life cycles. However, the patterns observed in stimulated respiration, nitrification potential, and metabolic deficit under the canopy did not align with changes in microbial biomass carbon. The increased levels of stimulated respiration, nitrification potential, and metabolic fraction beneath the canopy suggest that these indices may be valuable indicators for assessing soil quality in the region. Conversely, the observed reduction in microbial biomass carbon under the canopy compared to the control soil (outside the tree canopy) may be attributed to changes in substrate type or differences in microbial population diversity between the soils beneath and outside the canopy.The findings of this research highlight the importance of considering soil biological characteristics in evaluating soil quality, improving soil fertility, and managing plant nutrition. Additionally, access to soil biological parameters, as a knowledge-based approach, provides experts and practitioners with valuable information for decision-making aimed at enhancing soil fertility and managing the nutrition of Pistacia trees.

Conclusion: he results indicated that the treatment had no significant effect on basic respiration, clay content, silt content, or sand content. However, the treatment did significantly impact stimulated respiration, microbial biomass carbon, and nitrification potential at the 1% significance level, while the metabolic fraction showed significance at the 5% level. Additionally, the mean values for stimulated respiration, nitrification potential, and metabolic deficit were higher in the soil samples collected under the Pistacia tree compared to those outside the tree canopy. Most biological characteristics in the soil were influenced by the tree canopy, exhibiting significant changes compared to the control samples. This suggests that the treatment positively affects the soil biological cycles.

Cite this article: Moradinejad,A., Matinizadeh, M., Alizadeh, T., 2024. Effects of pistacia atlanticadesf on some soil properties(Case study: Farak Tafaresh region). *Soil Biology Journal*, 12 (1),140-154.

DOI: 10.22092/SBJ.2024.365365.262
Publisher: Soil Science Society of Iran

دو فصل‌نامه
نشریه زیست‌شناسی خاک
https://sbj.areeo.ac.ir/

مقاله پژوهشی

اثرات بنه (pistacia atlantica desf) بر برخی ویژگی های بیولوژیک خاک توده های جنگلی ایران-تورانی (مطالعه موردی: منطقه فرک تفرش)

امیر مرادی‌نژاد[1]*، محمد متینی‌زاده[2] و طاهره علی زاده[3]

[1]استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اراک، ایران.
amir_24619@yahoo.com
[2]مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایرانmohamadmatinizadeh@yahoo.com
[3]کارشناس پژوهش موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور. Taherehalizadeh64@yahoo.com

دریافت:۱۴۰۳/۲/۱۱ پذیرش:۱۴۰۳/۷/۱۴

چکیده

خاک به‌عنوان یکی از ارکان اکوسیستم نقش عمده‌ای در ایجاد تغییر و تنوع گونه‌های جنگلی ایفا می‌کند و در مقابل تیپ گیاهی نیز نقش قابل توجهی در تغییر و تحول ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک‌ها دارد. علاوه بر این‌ها، جوامع میکروبی خاک نقش بسیار مهمی در تجزیه و پایدارسازی مواد آلی در خاک و همچنین معدنی کردن عناصر غذایی آن داشته و به واسطه تنوع زیاد، خدمات بسیار مهمی در خاک ارائه می‌کنند. لذا ارزیابی درست و دقیق آنها با تکیه بر شاخص‌های کارآمد و قابل اعتماد می‌تواند اطلاعات مفیدی ارائه دهد. در این پژوهش، شاخص‌های تنفس میکروبی پایه، تنفس میکروبی برانگیخته، پتانسیل نیتریفیکاسیون، کربن زیست‌توده میکروبی و کسر متابولیک تحت تأثیر بنه ارزیابی شد. بدین منظور ۱۵ نمونه از خاک زیر تاج و ۱۵ نمونه از بیرون تاج که تحت حضور گیاه نبودند برداشت شده هر سه تکرار با هم ترکیب و به یک تکرار تبدیل شد، درنهایت پنج تکرار برای زیر تاج بنه و پنج تکرار به‌عنوان شاهد به‌دست آمد. نتایج بیانگر آن بود که اثر تیمار بر صفت تنفس پایه، درصد رس، درصد سیلت و درصد شن معنی‌دار نشد. اثر تیمار بر صفت تنفس برانگیخته، کربن زیست‌توده میکروبی و پتانسیل نیتریفیکاسیون در سطح احتمال یک درصد و کسر متابولیک در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. همچنین مقدار میانگین تنفس برانگیخته، پتانسیل نیتریفیکاسیون و کسرمتابولیک در نمونه خاک زیر درخت بنه بالاتر از بیرون درخت بود. بیشتر ویژگی‌های زیستی در خاک تحت تأثیر بنه قرار گرفته و تغییرات معنی‌داری را نسبت به شاهد نشان دادند که این امر نشان‌دهنده اثر گذاشن بر حلقه‌های حیات در خاک خواهد بود.

واژه‌های کلیدی : بنه، پایش خاک، تنفس خاک، زیست توده

استناد: مرادی نژاد، ا.، متینی زاده، م.، علی زاده، ط.،۱۴۰۳ اثرات بنه (**Pistacia atlantica Desf**) بر برخی ویژگی های بیولوژیک خاک توده های جنگلی ایران-تورانی (مطالعه موردی: منطقه فرک تفرش). نشریه زیست شناسی خاک، (۱)۱۲، ۱۵۴-۱۴۰

مقدمه

وضعیت یک خاک را می‌توان با بررسی تغییر ویژگی‌های آن، که ممکن است ناشی از تأثیر متقابل ویژگی‌های خاک و عوامل محیطی باشد تشخیص داد. حفظ پایداری اکوسیستم‌های جنگلی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک با پوشش غیرانبوه بستگی به حفظ کیفیت خـاک دارد. بنـابراین آگاهی از ویژگی‌های خاک‌های این مناطق می‌تواند در مدیریت آنها نقش تأثیرگذاری داشته باشد. با توجه به اهمیت جنگل‌های هیرکانی حفظ و احیای این جنگل‌ها به موضوعی قابل تأمل از نظر محققان تبدیل شده است، لذا حفاظت از خاک و مبارزه با فرسایش و تخریب آن از ضروری‌ترین اقدامات هر کشور در راستای تحقق توسعه پایدار محسوب می‌شود. شناخت ویژگی‌های خاک یکی از پایه‌های مدیریت اصولی جنگل است که بسیاری از گزینه‌های اکولوژی و جنگل‌شناسی تحت تأثیر آن قرار دارند. خاک از مهم‌ترین منابع طبیعی هر کشوری است که در مقیاس دوره زندگی انسان تجدیدناپذیر است و از آنجا که تخریب جنگل با تخریب خاک شروع می‌شود، این پژوهش سعی دارد تا در توده‌های جنگلی مورد مطالعه (در قطعات نمونه ثابت و دائم مورد نظر)، به سنجش ویژگی‌های زیستی، فیزیکی و شیمیایی خاک بپردازد و همچنین امکان پایش درازمدت روند تغییرات در خاک این توده‌های جنگلی را فراهم سازد. شناخت بهتر تأثیر گونه-های درختی بر خاک و علل ایجاد تغییرات در خاک موجب پیش‌بینی دقیق‌تر اثر گونه‌های مختلف جنگلی بر اکوسیستم و مدیریت بهینه آنها برای مدیران و برنامه‌ریزان می‌شود. نکته مهم این است که کدام صفات خاک می‌توانند بیشترین و معتبرترین اطلاعات را در اختیار ما قرار دهند. خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک دارای پیچیدگی‌های خاصی بوده ولی چون خصوصیات زیستی در انواع فعل و انفعالات خاک نقش دارند، بنابراین می‌توانند اطلاعات جامع، مفید و قابل اعتمادی ارائه دهند و به‌عنوان شاخص مفید مورد توجه قرار گیرند. در این بین تنوع زیستی میکروارگانیسم‌های خاک نیز ازاهمیت ویژه‌ای برخوردار است چرا که تمامی خدماتی که خاک به جوامع انسانی ارائه می‌کند به نوعی به تنوع و فراوانی میکروب‌های خاک بستگی دارد، در حالیکه فعالیت‌های انسانی همچون آلودگی و یا شوری آب و خاک و تغییرات اقلیم حیات آنها را تهدید می‌کند (قادری و همکاران، ۲۰۱۳). جوامع میکروبی خاک نقش بسیار مهمی در تجزیه و پایدارسازی مواد آلی در خاک و همینین معدنی‌کردن مواد مغذی آن داشته و به واسطه تنوع زیاد، خدمات بسیار مهمی در خاک ارائه می‌کنند. تنوع، ساختار و فعالیت جوامع میکروبی خاک به نوع کاربری زمین، میزان مواد آلی خاک، اسیدیته خاک (کریمر و همکاران، ۲۰۱۶)، نوع گونه گیاه (گارتزیا بنگوتکس و همکاران، ۲۰۱۶) و برخی عوامل دیگر مانند رطوبت خاک بستگی دارد(پایلر و همکاران، ۲۰۱۴). علی-رغم اهمیت غیرقابل انکار اکوسیستم‌های جنگلی شمال ایران، بیشتر مطالعات خاکشناسی در این جنگل‌ها با تکیه بر شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی متداول انجام گرفته است. این در حاالی است که استفاده از شاخص‌های زیستی معتبر و قابل اعتماد می‌تواند اطلاعات دقیق‌تری در اختیار مدیران جنگل قرار دهد. به‌عنوان مثال مطالعه انجام شده توسط حبشی (۱۳۹۴) نشان دهنده رابطه قوی و مثبت بین تنفس میکروبی خاک و کربن زیست‌توده میکروبی با ماده آلی خاک در تیپ‌های راش خالص، راش- ممرز، راش- افرا بود. بر اساس شاخص‌های میکروبی کیفیت و سلامت خاک رویش‌گاه در تیپ راش- ممرز به واسطه همراهی ممرز حداکثر بود، بنابراین در نشانه‌گذاری جنگل حین عملیات جنگل‌شناسی بر حفظ ممرز توصیه شد. کوچ و پارساپور (۱۳۹۵) برخی شاخص‌های میکروبی خاک پوشش‌های جنگلی پهن برگ (توسکای ییلاقی، ون، افراپلت، بلوط بلندمازو) و سوزنی برگ (زربین و کاج سیاه) را بررسی و مقایسه کردند. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار مشخصه‌های تنفس میکروبی، کربن زیست‌توده میکروبی، نسبت زیست‌توده میکروبی کربن به نیتروژن و کسر متابولیکی به پوشش جنگلی کاج سیاه اختصاص داشت، در حالی که بالاترین مقدار نیتروژن زیست‌توده میکروبی خاک

در توده جنگلی توسکای ییلاقی مشاهده شد. بنابراین نتیجه گرفتند که انتخاب گونه مناسب می‌تواند با تغییر و بهبود شاخص‌های میکروبی باعث بهبود کیفیت خاک شود. رفیعی و همکاران (۱۳۹۶) تأثیر اجرای شیوهٔ گزینشی بر شاخص‌های میکروبی خاک و عوامل مؤثر بر آنها را در بخشی از جنگل‌های شمال مطالعه کردند. نتایج نشان داد که میزان تنفس در زیر تاج پوشش بیش از خارج از تاج بود، در حالی که اختلاف معنی‌داری در میزان کربن آلی نداشتند که نشان دهنده تأثیر آشفتگی بر شاخص‌های زیستی خاک است. 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 (هانام و همکاران، ۲۰۰۶). 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 (هاردوم و همکاران، ۲۰۱۵). ارتباط بین متغیرهای زیستی و شیمیایی خاک در شیوه‌های مدیریتی متفاوت تأثیر شدیدی بر عملکرد خاک دارد (سالازارا و همکاران، ۲۰۱۱). خواص میکروبی خاک سطحی و عمقی به‌طور قابل‌توجهی در کاربری‌های متفاوت زمین و شیوه‌های مدیریتی مختلف تغییر می‌کند(ماهارجانا و همکاران، ۲۰۱۷). نتایج مطالعات لیو و همکاران (۲۰۱۴) نشان داد که در شیوه‌های مختلف مدیریتی جنگل، ماده آلی خاک، کربن زی‌توده میکروبی و تنفس پایه از مهمترین عوامل منعکس‌کننده خواص شیمیایی و زیستی خاک هستند. همچنین گارتزیا-بنگوتکسا و همکاران (۲۰۱۶) و زیفکاکووا و همکاران (۲۰۱۶) بیان کردند تنفس میکروبی یکی از فرآیندهای اصلی در کنترل کربن بوم‌سازگان‌های زمینی است. در همین راستا آکبال و همکاران (۲۰۰۸) بیان نمودند هر اندازه تنفس میکروبی بیشتر باشد، فعالیت بالقوه میکروبی خاک و فعالیت ریزجانداران بیشتر می‌شود. مالچیر و کارنول (۲۰۰۹)، لی و همکاران (۲۰۱۷)، گیو و همکاران (۲۰۱۶)، گی و همکاران (۲۰۱۷) و لیو و همکاران (۲۰۱۷) 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 استفاده ریزجانداران خاک است. مطالعات دیگر نیز نشان داده‌اند که ریزجانداران خاک نقش مهمی در تجزیه و چرخهٔ کانی‌سازی مواد آلی خاک دارند. کربن زیست توده میکروبی خاک می‌تواند به‌عنوان شاخص حساس به پایداری اکولوژیکی خاک مورد استفاده قرار گیرد (گیو و همکاران، ۲۰۱۱). وانگ و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی که بر روی ۴ تیپ مختلف در جنگل‌های معتدل شمال شرق چین انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که تنفس میکروبی خاک تغییرات آشکاری را در طول فصول مختلف نشان داد. تغییرات به‌وجود آمده بیشتر تحت کنترل دمای خاک می‌باشد. در صورتی‌که بر اساس نتایج حاصل از پژوهش چن و همکاران (۲۰۲۱) که تنفس میکروبی در توده‌های خالص و آمیخته صنوبر و کاج را بررسی کردند، مقدار تنفس میکروبی در توده‌های آمیخته نسبت به توده‌های خالص بیشتر است و تأثیرات متقابل گونه گیاهی با رطوبت خاک را مهمترین عامل بر تنفس میکروبی ذکر کردند. خان‌محمدی و متینی‌زاده (۱۴۰۲) در پژوهشی به ارزیابی ویژگی‌های خاک زیر تاج پوشش درختان بنه و بادام کوهی در تنگ خشک شهرستان سمیرم پرداختند. نتایج نشان داد مقادیر هدایت الکتریکی، کربن آلی و پتاسیم قابل دسترس در خاک زیر تاج پوشش درختان بنه و بادام کوهی به‌طور معنی‌داری بیشتر از خاک شاهد بود. عکس این روند برای عناصر فسفر، آهن و مس قابل دسترس مشاهده شد. میزان pH خاک تفاوت معنی‌داری بین زیر تاج پوشش با نمونه شاهد نداشت. میانگین درصد نیتروژن کل در خاک زیر تاج پوشش حداقل ۱/۴۶ برابر خاک شاهد به‌دست آمد. وجود تاج پوشش سبب کاهش معنی‌دار چگالی ظاهری خاک نسبت به خاک شاهد شد. مقادیر تنفس پایه و برانگیخته خاک در زیر تاج پوشش در

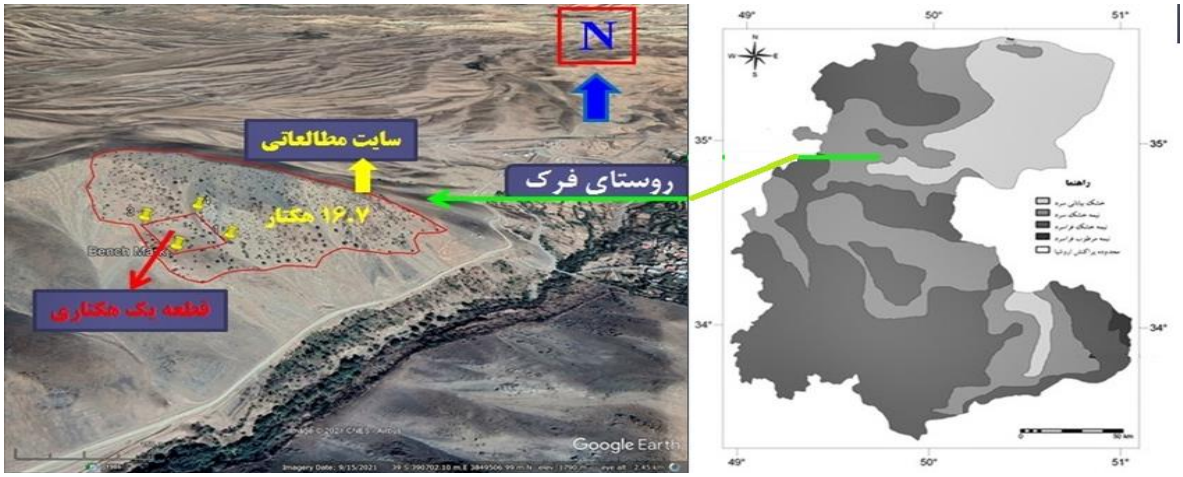
مقایسه با بیرون تاج به‌طور معنی‌داری بیشتر بود، درحالی‌که بررسی مقادیر کربن زیست‌توده میکربی و پتانسیل نیتریفیکاسیون حاکی از افزایش معنی‌دار این ویژگی‌ها در خاک شاهد نسبت به زیر تاج پوشش بود. اسفندیاری و همکاران (۱۴۰۲) در مطالعه‌ای به اثر شیوه‌های جنگل‌داری بر تغییرات ویژگی‌های زیستی خاک جنگل‌های راش اسالم پرداختند. نتایج نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین سه قطعه از لحاظ کربن آلی، بهرهٔ میکروبی، هدایت الکتریکی و اسیدیته وجود ندارد ولی تنفس پایه، تنفس برانگیخته، جمعیت ریزجانداران، بهرهٔ متابولیک و کربن زیست‌تودهٔ میکروبی اختلاف معنی‌داری را در سه قطعه نشان دادند.

وجود آمار و اطلاعات دقیق برای انجام تحقیقات و ارائه نتایج آن برای راهبری بخش اجرا و تعیین برنامه استراتژیک بلندمدت امری اساسی و بنیادی است. در بیشتر کشورهای پیشرفته و دارای سابقه طولانی در مدیریت جنگل، قطعاتی برای پایش و بررسی‌های بلندمدت وجود دارد. به عنوان مثال در کشور سوییس قطعات بررسی دائمی قدمتی بیش از ۱۰۰ سال دارند. با توجه به اهمیت جنگل-های هیرکانی حفظ و احیای این جنگل‌ها به موضوعی قابل تأمل از نظر محققان شده است. 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 اثرگذاری گونه بنه بر خاک و تأثیرات آن بر حلقه‌های اکوسیستمی پرداخته شود تا بتوان درک بهتری از ارتباط شرایط زیستی خاک و شیوه-های مدیریت جنگل و کاربرد آن در مدیریت پایدار جنگل و خاک دست یافت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در مامن کوه فرک، واجد گونه‌های درخت بنه بین طول‌های جغرافَیایی ′۴۷ و °۴۹ تا ″۴۸ و °۴۹و عرض‌های ′۱۶و °۳۴ تا ″۱۸و°۳۴ در اراضی پلاک ثبت فرک و در مجاورت جاده آسفالته ارتباطی تفرش-جفتان بر رو ی دامنه‌ای با جهت شرقی قرار گرفته است. تنها منطقه رویشگاه بنه در استان مرکزی کوه‌های فرک می‌باشد. این منطقه دارای شیب متوسط ۷۵درصد و متوسط ارتفاع ۱۹۵۳ متر از سطح دریاهای آزاد می‌باشد. متوسط بارندگی سالیانه منطقه برابر با ۲۹۰/۳ میلی‌متر، میانگین دمای سالانه ۱۰/۶۴ درجه سانتی‌گراد و متوسط ماهانه رطوبت نسبی آن ۵۰/۵ درصد برآورد شده است. متوسط تبخیر و تعرق پتانسیل در منطقه طرح معادل ۱۲۳/۵۸ میلی‌متر و متوسط سرعت باد در منطقه ۱/۴۴ متر بر ثانیه است. دوره خشکی منطقه تقریباً معادل ۱۲۵ روز می‌باشد. که از اواخر اردیبهشت شروع شده و تا آواخر مهرماه تداوم می‌یابد. اقلیم منطقه بر اساس فرمول آمبرژه با عنوان اقلیم نیمه‌خشک سرد تعیین شده است (زاهدی‌پور و همکاران، ۱۳۸۸). شکل (۱) محدوده ذخیره‌گاه جنگلی و محل قرارگیری آن در شهرستان تفرش استان مرکزی نشان می‌دهد.



شکل ۱- محدوده ذخیره‌گاه جنگلی و محل قرارگیری آن در شهرستان تفرش استان مرکزی

روش انجام کار

در این تحقیق در یک قطعه نمونه در استان‌مرکزی، خاک زیر تاج یک گونه درختی و درختچه‌ای از گونه‌های ناحیه رویشی ایران-تورانی شامل بنه، سنجش شد شکل (۲). به این صورت که ابتدا قطعه‌ای(قطعه بررسی دائمی) به وسعت یک هکتار (۱۰۰ x ۱۰۰ متر) انتخاب شد. در این قطعه نمونه، آمار عمومی شامل مختصات، شرایط فیزیوگرافی، شیب، ارتفاع و جهت تهیه شد. در مرحله بعد به‌منظور بررسی و نمونه‌برداری افق‌ها و لایه‌های خاک، در این قطعه نمونه ثابت و در محلی که معرف آن قطعه باشد، اقدام به حفر پروفیل شد. در این تحقیق به خاطر سنگی بودن منطقه و عمق کم خاک امکان حفر کامل پروفیل نبود و پروفیل ۴۰ سانتی‌متری حفر شد. پروفیل حفر شده طبق روش استاندارد اسکنبرگر (۲۰۱۲) بررسی، تشریح و از هر یک از افق‌های خاک نمونه‌برداری شد. برخی ویژگی‌های بصری (مطابق دستورالعمل اجرایی) و فیزیکی و شیمیایی (مطابق دستور روش تحقیق) اندازه‌گیری شد.

نمونه‌برداری

برای دستیابی به شاخص‌های کیفیت خاک، ویژگی‌های زیستی خاک بررسی شد. نمونه‌برداری خاک برای هر درخت بنه انتخابی از عمق ۱۵-۰ سانتی‌متر در زیر تاج درختان (در فاصله میان تنه تا لبه انتهایی تاج) در جهت شرق درخت برداشت شد. در هر قطعه‌نمونه برای این گونه درختی بنه موجود و غالب (یک تا سه گونه) به‌طور تصادفی ۱۵ نمونه خاک از عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متر برداشت و هر سه نمونه خاک در هر قطعه‌نمونه به‌خوبی مخلوط و به یک نمونه ترکیبی برای هر گونه تبدیل شد (پنج نمونه خاک برای هر گونه). همچنین در داخل هر قطعه نمونه، در بیرون از تاج و محلی که خارج از تاج پوشش است، به‌طور تصادفی ۱۵ نمونه خاک از عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متر برداشت و هر سه نمونه خاک به‌خوبی مخلوط و به یک نمونه ترکیبی برای قطعه‌نمونه تبدیل شد (۵ نمونه خاک برای هر قطعه‌نمونه). در این تحقیق از دو تیمار استفاده شد یکی زیر تاج پوشش و دیگری خارج از تاج پوشش با پوشش مرتع. در مجموع ۳۰ نمونه خاک برداشت شد، ۱۵ نمونه زیر تاج پوشش و ۱۵ نمونه خارج از تاج پوشش با پوشش گیاهی مرتع، در هر تیمار سه نمونه با هم ترکیب و به یک نمونه تبدیل شد. در واقع برای هر تیمار ۵ نمونه به آزمایشگاه فرستاده شد که مختصات هر نمونه به‌منظور تهیه نقشه نمونه‌برداری ثبت شد. بلافاصله پس از نمونه‌برداری، بخشی از نمونه‌های خاک در کیسه‌های پلاستیکی و بخش دیگر در شرایط سرد (۴ درجه سانتی‌گراد) نگهداری و برای تجزیه و تحلیل بعدی به آزمایشگاه منتقل شد. ویژگی-های زیستی نمونه‌ها شامل: کربن زیست‌توده میکروبی، تنفس پایه، تنفس بر انگیخته و پتانسیل نیتریفیکاسیون اندازه‌گیری شد. تنفس پایه خاک با استفاده از روش ظروف دربسته و اندازه‌گیری دی‌اکسید کربن رهاشده بـر اثر تنفس

ریزجانداران، بر حسب میلی‌گرم دی‌اکسید کربن آزاد شده از هر گرم خاک خشک در روز ($mg\ CO_2\ 100\ g^{-1}$ $dm\ h^{-1}$) محاسبه شد (اسچینر و همکاران، ۱۹۹۶). برای اندازه‌گیری تنفس برانگیخته خاک، به نمونه‌ها ۰/۰۹ گرم گلوکز اضافه شد. میزان دی‌اکسید کربن تولیدی پس از ۴ ساعت اندازه‌گیری شده و تنفس برانگیخته بر حسب میلی-گرم دی‌اکسید کربن در صد گرم خاک خشک در ساعت ($mg\ CO_2\ 100\ g^{-1}\ dm\ h^{-1}$) گزارش شد(اسچینر و همکاران، ۱۹۹۶). به‌منظور اندازه‌گیری کربن زیست‌توده میکربی خاک از روش تدخین استخراج استفاده شد. به این منظور نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت با کلروفرم تیمار شده و میزان کربن آلی پس از استخراج با سولفات پتاسیم با روش والکلی-بلک اندازه‌گیری شد (اسپارلینگ و وست، ۱۹۸۸). پتانسیل نیتریفیکاسیون خاک در۵ گرم خاک و با استفاده از روش برگ و راسوال اندازه‌گیری شد (برگ و راسوال، ۱۹۸۵). وزن مخصوص ظاهری همه نمونه‌ها به روش هیدرومتری اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی به‌کمک نرم‌افزار SAS انجام شد. ضریب متابولیکی یا کسر متابولیک، از روش تقسیم مقدار کربن متصاعد شده از نمونه‌های گاز داده نشده طی یک روز (تنفس پایه Basal Respiration) بر کربن زیست‌توده میکروبی اندازه‌گیری شد (آندرسون و دمسچ، ۱۹۸۶).

شکل ۲-منطقه مورد مطالعه و درختان بنه

نتایج و بحث

اجزای واحد اراضی منطقه تحقیق، شامل کوه‌های بسیار مرتفع با قلل مسدود با بیرون‌زدگی متشکل از ایگنمبریت با خاک سطحی کم عمق، با پوشش مرتعی ضعیف با محدودیت عمق کم خاک، شیب و بیرون‌زدگی سنگی و در حال حاضر مرتعی و حفاظتی می‌باشد. خاک منطقه مطالعه، دارای افق‌های تشخیص سطحی (اپی پدول) شامل بخش رویی خاک تیره شده به وسیله ماده آلی، بخش-های تالابی افق آبشویی شده و یا هر دو می‌باشد. از جمله افق‌های تشخیص داده شده در محدوده طرح شناسایی اکریک می‌باشد که یک افق معدنی و بسیار نازک و دارای رنگ بسیار روشن است یا دارای ماده آلی بسیار اندکی است که نمی‌تواند جزو افق‌های مالیک و آمبرتاپ باشد. این افق اغلب در هنگام خشک بودن سخت و متراکم می‌باشد. توالی و ترکیب افق‌های پروفیلی محدوده طرح عمدتاً به صورت AC, AR می‌باشد که شامل افق A به همراه سنگ مادر و یا مواد تخریبی است که رشد و نمو گیاه در آن با مشکل مواجه می‌شود. بافت خاک در کلاس بافت متوسط تا نیمه سنگین که شامل S.L , S.CL است قرار می‌گیرد. ساختمان خاک اکثراً فشرده و با پایداری زیاد در حالت خشک می-باشد و در شرایط مرطوب حالت شکنندگی دارد و همچنین در حالت خیس کمی چسبندگی دارد. عمق خاک با توجه به پروفیل حفر شده خاک منطقه اکثراً کم عمق و عمدتاً بین ۳۰-۰ سانتی‌متر متغیر است. لایه محدود کننده که قطعات سنگی است از عوامل محدود کننده می‌باشد، تیپ‌بندی طبق رده‌بندی خاک به‌روش آمریکایی و روش سال ۲۰۰۴ و بر اساس اطلاعات تفسیری و نتایج آزمایشگاهی رده و تحت رده خاک و فامیل خاک به شرح جدول (۱) است. این خاک خاکی است بدون تکامل، پروفیلی کم عمق و دارای رژیم

رطوبتی زریک، با عمق کم و لایه سخت سنگی دارای جوشش در برابر اسیدکلریدریک که وجود آهک را نشان می‌دهد. همچنین دارای سنگریزه بیش از ۳۵ درصد با رژیم حرارتی مزیک و بافت متوسط تا نیمه‌سنگین می‌باشد، نفوذ-پذیری سطحی خاک با توجه به بافت سطحی خوب و وضعیت زهکشی با توجه به لایه‌های سنگی و خردشدگی آن و همچنین نوع سازند زمین‌شناسی مناسب می‌باشد و خطر آب گرفتگی در محدوده طرح مشاهده نمی‌شود، پروفیل خاک شدیداً سنگلاخی بوده و ریشه‌دوانی را با محدودیت مواجه می‌کند. البته درخچه و درختان بنه به نظر می‌رسد که سازگاری خوبی دارند با این شرایط و به راحتی ریشه درختان در درز و شکاف سنگ‌ها نفوذ کرده و از رطوبت موجود استفاده می‌کنند. فرسایش‌پذیری خاک یا ضریب K حدود ۰/۴۷ در حد متوسط می‌باشد. عمده محدودیت‌های خاک سنگلاخی و سنگریزه‌ای و همچنین شیب اراضی می‌باشد. این عوامل و محدودیت‌ها قابل اصلاح نمی‌باشند و کلاس این اراضی برای کاربری‌های مختلف نامناسب می‌باشد.

جدول ۱-تیپ‌بندی خاک به روش آمریکائی

رده	Enti soil
تحت رده	Orthents
گروه بزرگ	Xerorthents
تحت گروه بزرگ	Lithic Xerorthents
فامیل خاک	Fineloamy Skeletal Mixed Calcareous Mesic Shallow

جدول(۲) محدوده تغییرات و مشخصات آماری صفات مورد مطالعه را نشان می‌دهد. آماره‌های توصیفی کمترین، بیشترین، میانگین، انحراف معیار برای ویژگی‌ها اندازه‌گیری و محاسبه شدند. آزمون نرمالیته برای داده‌ها با انجام آزمون-هایی توسط نرم‌افزار آماری XLSTAT مورد بررسی قرار گرفته و نتایج مربوطه درجدول (۳) ارائه گردیده است. برای بررسی اینکه داده‌ها دارای توزیع نرمال هستند یا نه از آزمون‌های شاپیرو ویلک، اندرسون دارلینگ، لیلیه فورس و جارکویرا استفاده شده است. در این آزمون‌ها فرض صفر برابر با نرمال بودن داده‌ها و فرض مقابل برابر با غیرنرمال بودن داده‌ها در نظر گرفته شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد داده‌ها در تمامی آزمون‌های مورد بررسی نرمال می‌باشند. شایان ذکر است که دلیل استفاده از نمودارهای چندک احتمالی نرمال توانایی آنها در نشان دادن میزان انحراف از توزیع نرمال است. به کمک این نمودارها می-توان راجع به میزان انحراف داده‌ها از نرمال و اثر آن بر عملکرد رگرسیون‌گیری اظهارنظر کرد. با توجه به اهمیت استفاده از داده‌های صحیح آماری، کلیه داده‌های موجود از نظر همگن بودن توسط آزمون همگنی نرمال استاندارد که یکی از روش‌های متداول برای ارزیابی همگنی داده‌ها می-باشد، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمون‌ها در جدول (۳) و شکل‌های (۳) تا (۴) ارائه شده است. با توجه به شکل‌ها نتایج بررسی همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده در آزمون نشان داد که همبستگی منفی و بسیار معنی-داری بین تنفس برانگیخته و وزن مخصوص ظاهری ($r=-۰/۹۴۶^{**}$) و همبستگی مثبت و معنی‌داری بین تنفس برانگیخته و پتانسیل نیتریفیکاسیون ($r=+۰/۶۷۸^{**}$) وجود دارد. همبستگی منفی و معنی‌داری بین وزن مخصوص ظاهری و پتانسیل نیتریفیکاسیون ($r=-۰/۸۷۷^{**}$)، بین کربن زیست‌توده میکروبی و پتانسیل نیتریفیکاسیون ($r=-۰/۷۰۴^{*}$) وجود دارد. همچنین کربن زیست‌توده میکروبی همبستگی مثبتی با وزن مخصوص ظاهری ($r=+۰/۸۳۸^{**}$) و همبستگی منفی با تنفس برانگیخته ($r=-۰/۷۹۷^{**}$) نشان داد. با توجه به‌شکل‌ها، مقادیر پارامترها از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند و همبستگی بین پارامترها وجود دارد. به-عنوان یک قانون کلی در تکنیک‌های آماری فرض اولیه بر این اساس است که توزیع داده‌ها مشخص است که بیشتر موارد فرض بر این است که توزیع نرمال است و در نهایت درستی یا نادرستی نتایج نهایی به درست بودن فرض اولیه

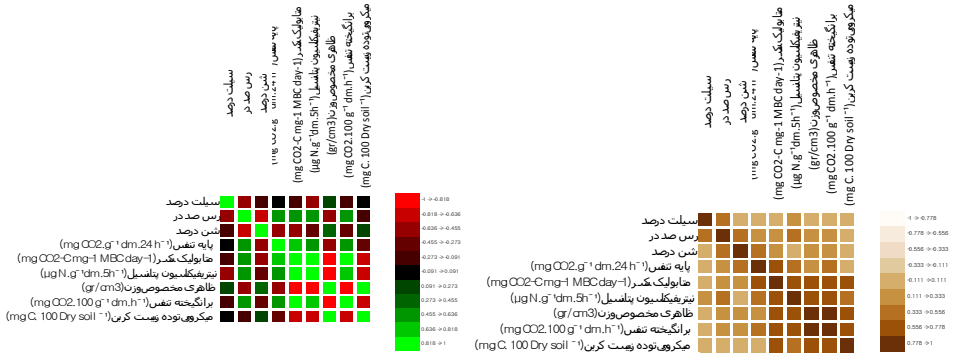
وابسته است. مقادیر وزن مخصوص ظاهری در نمونه‌های برداشت شده از زیر تاج پوشش به طور معنی‌داری کمتر از شاهد بود به‌عبارت دیگر تخلخل خاک در زیر تاج پوشش در مقایسه با خاک شاهد بیشتر است. درصد ماده آلی بیشتر در خاک زیر تاج درختان ناشی از ریزش لاشبرگ و بقایای گیاهی سبب افزایش گنجایش نگهداشت آب و بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند تخلخل و ساختمان خاک می‌شود.

جدول ۲-محدوده تغییرات و مشخصات آماری صفات

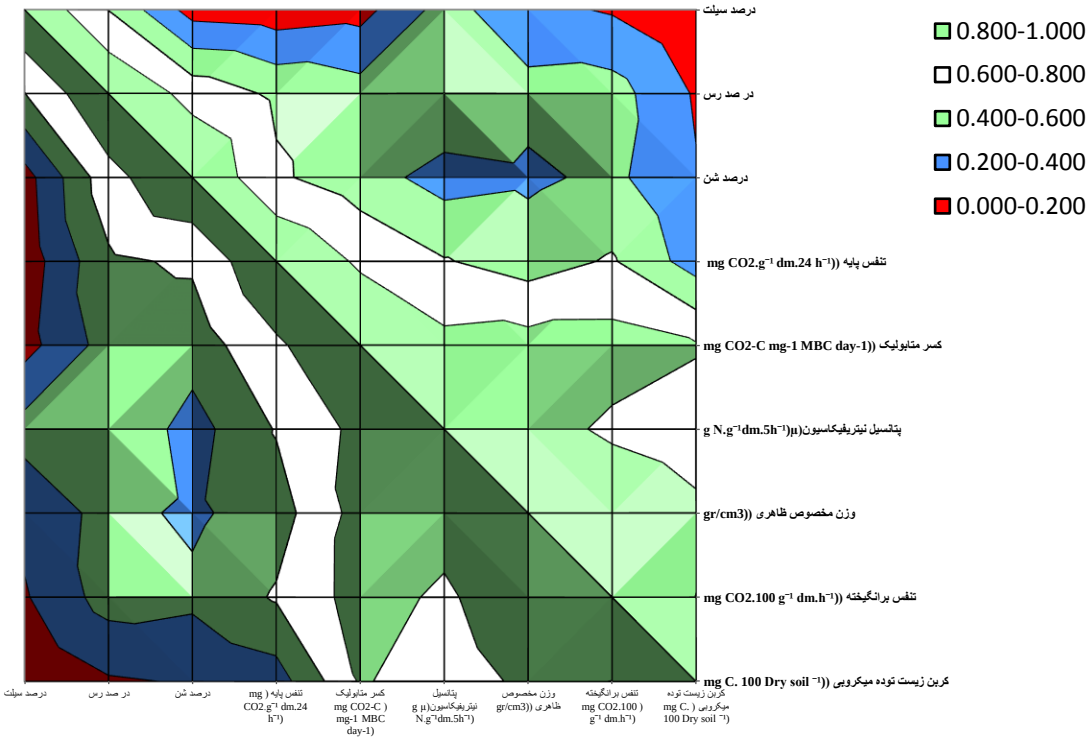
متغیرها	تعداد داده‌ها	کمینه	بیشینه	متوسط	انحراف معیار
تنفس پایه ($mg\ CO_2.g^{-1}\ dm.24\ h^{-1}$)	۱۰	۲/۱۳	۴/۰۲	۲/۸۰	۰/۵۶
تنفس برانگیخته ($mg\ CO_2.100\ g^{-1}\ dm.h^{-1}$)	۱۰	۸/۳۷	۳۴/۳۷	۱۹/۳۴	۹/۵۴
کربن زیست توده میکروبی ($mg\ C.\ 100\ Dry\ soil^{-1}$)	۱۰	۱/۱۴	۲/۵۷	۱/۶۵	۰/۴۶
پتانسیل نیتریفیکاسیون($\mu g\ N.g^{-1}dm.5h^{-1}$)	۱۰	۶۲/۶۹	۲۱۴/۲۹	۱۲۳/۷۸	۵۳/۲۶
وزن مخصوص ظاهری(gr/cm^3)	۱۰	۱/۳۵	۱/۴۰	۱/۳۸	۰/۰۳
کسر متابولیک($mg\ CO2\ -C\ mg^{-1}\ MBC\ day^{-1}$)	۱۰	۰/۹۸۸	۲/۸۱۱	۱/۸۳۶	۰/۶۸۵
درصد شن	۱۰	۵۰	۶۶	۵۹/۱	۴/۳۸
درصد سیلت	۱۰	۱۸	۲۸	۲۴/۹	۳/۷۲
درصد رس	۱۰	۶	۲۲	۱۶	۵/۴۲

جدول ۳- نتایج آزمون‌های تعیین نرمال بودن داده‌ها

Shapiro-Wilk test	تنفس پایه	تنفس برانگیخته	کربن زیست توده میکروبی	پتانسیل نیتریفیکاسیون	کسر متابولیک	وزن مخصوص ظاهری
W	۰/۸۸۶	۰/۸۷۵	۰/۹۲۹	۰/۹۱۵	۰/۸۷۹	۰/۶۵۵
p-value (Two-tailed)	۰/۱۵۲	۰/۱۱۳	۰/۴۳۹	۰/۳۱۷	۰/۱۲۸	۰
alpha	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵
Anderson-Darling test	**تنفس پایه**	**تنفس برانگیخته**	**کربن زیست توده میکروبی**	**پتانسیل نیتریفیکاسیون**	**کسر متابولیک**	**وزن مخصوص ظاهری**
A^2	۰/۵۵۲	۰/۵۹۸	۰/۲۸۹	۰/۳۶۷	۰/۵۹۵	۱/۶۳۹
p-value (Two-tailed)	۰/۱۱۵	۰/۰۸۷	۰/۵۴۰	۰/۳۵۶	۰/۰۸۸	۰
alpha	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵
Lilliefors test	**تنفس پایه**	**تنفس برانگیخته**	**کربن زیست توده میکروبی**	**پتانسیل نیتریفیکاسیون**	**کسر متابولیک**	**وزن مخصوص ظاهری**
D	۰/۲۲۴	۰/۲۵۶	۰/۱۸۵	۰/۱۸۹	۰/۲۱۳	۰/۳۲۹
D (standardized)	۰/۷۰۷	۰/۸۱۱	۰/۵۸۴	۰/۵۹۸	۰/۶۷۳	۱/۰۳۹
p-value (Two-tailed)	۰/۱۶۸	۰/۰۶۱	۰/۴۳۳	۰/۳۹۵	۰/۲۲۴	۰/۰۰۳
alpha	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵
Jarque-Bera test	**تنفس پایه**	**تنفس برانگیخته**	**کربن زیست توده میکروبی**	**پتانسیل نیتریفیکاسیون**	**کسر متابولیک**	**وزن مخصوص ظاهری**
JB (Observed value)	۲/۰۳۴	۱/۰۶۵	۰/۸۴۸	۰/۸۷۵	۱/۱۴۶	۱/۶۶۷
JB (Critical value)	۵/۹۹۱	۵/۹۹۱	۵/۹۹۱	۵/۹۹۱	۵/۹۹۱	۵/۹۹۱
DF	۲	۲	۲	۲	۲	۲
p-value (Two-tailed)	۰/۳۶۲	۰/۵۸۷	۰/۶۵۵	۰/۶۴۶	۰/۵۶۴	۰/۴۳۵
alpha	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵



شکل ۳- تصویر ماتریس همبستگی داده‌ها



شکل ۴-نمونه نقشه‌های همبستگی بین پارامترها

نتایج تجزیه واریانس (جدول۴) و مقایسه میانگین (جدول ۵) نشان داد که اثر تیمار (تاج پوشش) بر صفت تنفس پایه معنی‌دار نشد. مقادیر میانگین تنفس پایه در خاک زیر تاج پوشش درخت بنه با مقدار ۳/۰۸ بر حسب(mg CO_2 100 g^{-1} dm h^{-1}) و در نمونه خاک خارج از تاج پوشش با مقدار ۲/۵۳ بر حسب (mg CO_2 100 g^{-1} dm h^{-1}) می‌باشد. همچنین نتایج آزمایش‌ها نشان داد که مقادیر میانگین تنفس برانگیخته خاک در زیر تاج پوشش بنه با مقدار ۲۷/۸۹ (mg CO_2 100 g^{-1} dm h^{-1}) بیشتر از آن در نمونه خاک خارج از تاج پوشش با مقدار ۱۰/۷۸ (mg CO_2 100 g^{-1} dm h^{-1}) بوده و تفاوت در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار می‌باشد. تنفس پایه و تنفس برانگیخته خاک بستگی به تغییر کاربری، نوع مدیریت، نوع گونه گیاهی و اقلیم دارد و به‌عنوان شاخصی زیستی خاک در نظر گرفته می‌شود. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که مقادیر میانگین پتانسیل نیتریفیکاسیون خاک در زیر تاج پوشش بنه با مقدار ۱۶۸/۱۱ (µg $N.g^{-1}dm.5h^{-1}$) بیشتر از آن در نمونه خاک خارج از تاج پوشش با مقدار ۷۹/۴۴ (µg $N.g^{-1}dm.5h^{-1}$) است و تفاوت در سطح ۰/۰۱ معنی-دار می‌باشد. نتایج این تحقیق با نتایج پژوهش‌های علیزاده و همکاران (۱۴۰۱)، خان‌محمدی و متینی‌زاده (۱۴۰۲)، حیدری و همکاران (۱۴۰۱) مطابقت دارد. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که میزان تنفس پایه و نیز تنفس برانگیخته در

زیر تاج درختان (کهور و سمر) در مقایسه با خاک بیرون تاج افزایش معنی‌داری داشت، که به‌دلیل افزایش ماده آلی در زیر تاج پوشش است. میانگین کربن زیست توده میکروبی در نمونه خاک زیر تاج پوشش با مقدار ۱/۲۹ (mg C. 100 Dry soil $^{-1}$) کمتر از نمونه خارج از تاج پوشش بنه با مقدار ۲/۰۱ (mg C. 100 Dry soil $^{-1}$) می-باشد. این یافته بیانگر اثر نوع پوشش گیاهی بر نوع بقایای آلی و نیز نوع و فعالیت جمعیت میکروبی خاک است. تحقیقات نشان داده است که ترکیب و ساختار توده جنگلی و تیپ آن، مهمترین عوامل اثرگذار بر کیفیت یا شیمی لاشریزه ورودی به جنگل است که تأثیر بسیار زیادی بر جمعیت میکروبی، سرعت تجزیه لاشریزه و نرخ ورود مواد غذایی به خاک‌های جنگلی و حاصلخیزی خاک خواهد داشت(انونیموس، ۲۰۲۰: چاوز ورگرا، ۲۰۱۴). همچنین میزان و کیفیت عناصر غذایی لاشبرگ و ریشه گونه‌های درختی و شرایط اقلیمی در تعیین روند تغییرات کربن زیست توده میکروبی نقش بسیار مهمی دارند (علیزاده، ۲۰۲۲). به‌عنوان نمونه کارنول و بازگیر (۲۰۱۳) دریافتند که گونه‌های مختلف پهن‌برگ اثر متفاوتی بر ویژگی‌های خاک داشته و فعالیت زیستی ریزجانداران خاک در زیر درختان پهن‌برگ بیشتر از درختان سوزنی‌برگ است. نتایج مطالعات (لیو و همکاران، ۲۰۱۴) نشان داد که در شیوه‌های مختلف مدیریتی جنگل، مادهٔ آلی خاک، کربن زیست‌توده میکروبی و تنفس پایه از مهمترین عوامل منعکس‌کنندهٔ خواص شیمیایی و زیستی خاک هستند. همچنین گارتزیا-بنگوتکسا و همکاران (۲۰۱۶) و زیفکاکووا و همکاران (۲۰۱۶) بیان کردند تنفس میکروبی یکی از فرآیندهای اصلی در کنترل کربن اکوسیستم‌ها زمینی است. در همین راستا کبال و همکاران (۲۰۰۸) بیان نمودند هر اندازه تنفس میکروبی بیشتر باشد، فعالیت بالقوهٔ میکروبی خاک و فعالیت ریزجانداران بیشتر می‌شود. یکی 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 ریزجانداران خاک است.

مطالعات دیگر نیز نشان داده‌اند که ریزجانداران خاک نقش مهمی در تجزیه و چرخهٔ کانی‌سازی مواد آلی خاک دارند. زیست تودهٔ میکروبی خاک می‌تواند به‌عنوان شاخص حساس به پایداری اکولوژیکی خاک مورد استفاده قرار گیرد (گیو و همکاران، ۲۰۱۱). نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمار(تاج پوشش) بر صفت کسر متابولیک در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار شد. کسر متابولیک ($mg\ CO_2\text{-}C\ mg^{-1}$ MBC day^{-1}) یا تنفس ویژه (qCO2) در دو کاربری محاسبه و میانگین در زیر درخت بنه ۲/۳۹۳ و در خارج از سایه‌انداز درخت بنه ۱/۲۵۸ به‌دست آمد. ضریب متابولیکی یا تنفس ویژه، شاخص اکوفیزیولوژیکی است که مقدار کربن متصاعد شده از واحد کربن توده زنده میکروبی در واحد زمان را نشان می‌دهد. به طور معمول از این نسبت به‌عنوان شاخص مناسب برای تعیین تنش در اکوسیستم خاک استفاده می‌شود. هرچه کسر متابولیک بزرگتر باشد، منبع انرژی آنابولیسم میکروارگانیسم‌ها از کاتابولیسم کمتر است، به عبارتی هرچه کسرمتابولیک بزرگتر باشد، احتمال تجزیه میکروفلور بزرگتر و به دنبال آن متوسط سن میکروفلور کوچکتر خواهد بود. در تحقیق حاضر طبق آنچه که گزارش شد مقدار متوسط تنفس پایه بالاتر از مقدار متوسط کربن زیست توده میکروبی در نمونه‌های شاهد و تیمار زیر درخت بنه بود. بنابراین افزایش کسر متابولیک دور از انتظار نبود. میزان کسر متابولیک کمتر نشان دهنده سطح پایین تنش در جامعه میکروبی خاک است. به‌طور کلی، روند تغییرات تنفس برانگیخته و پتانسیل نیتریفیکاسیون و کسر متابولیک در زیر تاج پوشش با روند تغییرات کربن زیست-توده میکروبی هماهنگی نداشت. با توجه به افزایش ویژگی‌های تنفس برانگیخته و پتانسیل نیتریفیکاسیون و کسر متابولیک در زیر تاج پوشش بنه در منطقه، این شاخص‌ها می‌توانند برای ارزیابی کیفیت خاک منطقه، مفید واقع شوند. در حالی که کاهش کربن زیست توده میکروبی در زیر تاج پوشش نسبت به خاک شاهد(خارج از تاج درخت)، می‌تواند به خاطر تغییر نوع سوبسترا و یا تفاوت در تنوع جمعیت میکروبی در خاک زیر تاج پوشش یا بیرون

از آن باشد.طبق نتایج مقایسه میانگین‌ها و تجزیه واریانس، تفاوت معنی‌داری در مقدار درصد رس، درصد سیلت و درصد شن در نمونه‌های زیر تاج درخت و خارج از تاج وجود ندارد.

جدول ۴- تجزیه واریانس صفت‌های تنفس پایه، تنفس برانگیخته، بایومس میکروبی کربن و پتانسیل نیتریفیکاسیون

منابع تغییر	درجه آزادی	تنفس پایه	تنفس برانگیخته	کربن زیست توده میکروبی	پتانسیل نیتریفیکاسیون	کسر متابولیک	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن
تیمار	۱	۰/۷۴۰ ns	۷۳۱/۸۸**	۱/۳۲۵**	۱۹۶۵۴/۷۸۸**	۳/۰۶۷*	۵۷/۶ ns	۸/۱ ns	۲۲/۵ ns
تکرار	۴	۰/۱۹۵ ns	۱۶/۷۸۴ ns	۰/۰۸ ns	۸۸۲/۵۵۸ ns	۰/۰۸۵ ns	۱۱/۰۱ ns	۱۶/۱۰ ns	۲۳/۶ ns
خطای آزمایش	۴	۰/۳۲۴	۴/۸۹۵	۰/۰۶	۵۸۶/۸۸۱	۰/۱۴۱	۴۰/۶	۱۳/۱	۱۴/۱

ns عدم معنی‌داری *معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد و **معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد.

جدول ۵- مقایسه میانگین صفت‌های تنفس پایه، تنفس برانگیخته، بایومس میکروبی کربن و پتانسیل نیتریفیکاسیون

تیمار	تنفس پایه ($mg\ CO_2.g^{-1}$ $(dm.24\ h^{-1}$	تنفس برانگیخته ($mg\ CO_2.100$) $(g^{-1}\ dm.h^{-1}$	کربن زیست توده میکروبی (mg. 100) (Dry soil $^{-1}$	پتانسیل نیتریفیکاسیون ($\mu g\ N.g^{-1}dm.5h^{-1}$)	کسر متابولیک mg CO2 -C mg^{-1} MBC day^{-1}	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن
شاهد	۲/۵۳a	۱۰/۷۸ b	۲/۰۱ a	۷۹/۴۴ b	۱/۲۵۸b	۱۳/۶	۲۵/۸	۶۰/۶
زیر درخت	۳/۰۸a	۲۷/۸۹ a	۱/۲۹ b	۱۶۸/۱۱ a	۲/۳۹۳a	۱۸/۴	۲۴	۵۷/۶

حروف غیرمشابه در هر ستون نشاندهنده تفاوت معنی‌دار در سطح آماری ۵ درصد بر اساس آزمون LSD است.

نتیجه گیری

به‌طور کلی، نتایج بیانگر آن بود که بیشتر ویژگی های زیستی در خاک تحت تأثیر بنه قرار گرفته و تغییرات معنی‌داری را نسبت به شاهد نشان دادند که این امر نشان‌دهنده اثر گذاشن بر حلقه‌های حیات در خاک خواهد بود. روند تغییرات تنفس برانگیخته و پتانسیل نیتریفیکاسیون و کسرمتابولیک در زیر تاج پوشش با روند تغییرات کربن زیست‌توده میکروبی هماهنگی نداشت. با توجه به افزایش ویژگی‌های تنفس برانگیخته و پتانسیل نیتریفیکاسیون و کسر متابولیک در زیر تاج پوشش بنه در منطقه، این شاخص‌ها می‌توانند برای ارزیابی کیفیت خاک منطقه، مفید واقع شوند. در حالی که کاهش کربن زیست-توده میکروبی در زیر تاج پوشش نسبت به خاک شاهد (خارج از تاج درخت)، می‌تواند به خاطر تغییر نوع سوبسترا و یا تفاوت در تنوع جمعیت میکروبی در خاک زیر تاج پوشش یا بیرون از آن باشد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که در ارزیابی کیفیت خاک، بهبود حاصلخیزی خاک و مدیریت تغذیه گیاه، نمی‌توان نقش ویژگی‌های زیستی خاک را نادیده گرفت. از طرفی با داشتن پارامترهای زیستی خاک، به‌عنوان یک رویکرد مبتنی بر دانش با قابلیت دسترسی و انعطاف‌پذیری می‌توان اطلاعات بیشتری برای تصمیم‌سازی ارتقای حاصلخیزی خاک و مدیریت تغذیه درخت بنه در اختیار کارشناسان و بهره‌برداران قرار داد.

فهرست منابع

[۱]حبشی، ه. ۱۳۹۴ رابطه تنفس میکربی و کربن زیست‌توده میکربی با ماده آلی خاک در تیپ‌های مختلف جنگل راش آمیخته. پژوهش و توسعه جنگل. ۱(۲): ۱۳۵-۱۴۴.

[۲]رفیعی، ف.، حبشی، ه.، رحمانی، د و ثاقب طالبی، خ .۱۳۹۶ تأثیر شیوه گزینشی بر تغییرات برخی از شاخص-های میکروبیولوژیکی خاک توده راش آمیخته جنگل‌های هیرکانی. پژوهش و توسعه جنگل، ۳(۳):۱۹۵-۲۰۵.

[۳]کوچ، ی. و پارساپور، م.ک ۱۳۹۵ اثر پوشش‌های جنگلی پهن برگ و سوزنی برگ بر شاخص‌های میکروبی خاک. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۲(۲): ۱۹۵-۲۱۰.

[۴]خان‌محمدی، ز. متینی‌زاده، م. ۱۴۰۲ ارزیابی ویژگی‌های خاک زیر تاج پوشش درختان بنه و بادام کوهی (مطالعه موردی: تنگ خشک، سمیرم). روابط خاک و گیاه/ سال چهاردهم / شماره دوم/ ص ۹۳-۱۰۸.

[۵]اسفندیاری، ه.، سفیدی، ک.، قوی‌دل، ا.، اسماعیل‌پور، م.، امان‌زاده، ب. و صادقی، س م م. ۱۴۰۲ اثر شیوه‌های جنگل‌داری بر تغییرات ویژگی‌های زیستی خاک (مطالعهٔ موردی: جنگل‌های راش اسالم). مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، دوره ۳ ، شماره ۴، ص ۱۶-۲۸.

[۶]زاهدی‌پور، ح.، فتاحی، م. و میرداودی اخوان، ح ر. ۱۳۸۶ بررسی پراکنش و خصوصیات کمی و کیفی رویشگاه‌های پسته وحشی در استان مرکزی. زیست شناسی ایران. جلد۲۰، شماره۲، ص۱۹۱-۱۹۹.

[7] Alizadeh, T., Matinizadeh, M., Habashi, H., Sadeghi, S.M., 2022. Comparison of soil biological properties and carbon storage of *Prosopis cineraria* and *Prosopis juliflora* (Case study: Assaluyeh). *Journal of Wood and Forest Science and Technology* 29(1): 89–105. (In Persian with English abstract)

[8] Anderson, T.H., and Domsch, K.H. 1986. Carbon assimilation and microbial activity in soil. J. Plant Nutr. Soil Sci. 149: 457-468.

[9] Anonymous (b). 2020. Characteristics of suitable bases for almonds in different weather conditions. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO). ISBN: 978-964-520-692-3. (In Persian)

[10] Berg, P., Rosswall, T. 1985. Ammonium oxidizer number, potential and actual oxidation rates in two Swedish arable soils. *Biology and Fertility of Soils* 1: 131–140.

[11] Chavez-Vergara, B., Merino, A., Vazquez-Marrufo, G., Garcia-Oliva, F. 2014. Organic matter dynamics and microbial activity during decomposition of forest floor under two native Neotropical oak species in a temperate deciduous forest in Mexico. *Geoderma* 235–236: 133–145.

[12] Chen, X.; Peng, S.; Chen, C.; Chen, H. Y. 2021. Water availability regulates tree mixture effects on total and heterotrophic soil respiration: A three-year field experiment. *Geoderma* 2021, *402*, 115259.

[13] Creamer, R.E., Stone, D., Berry, P. and Kuiper, I. 2016. Measuring respiration profiles of soil microbial communities across Europe using MicroRespTM method. Applied Soil Ecology, 97:36–43.

[14] Gardi, C., Jeffery, S. and Saltelli, A. 2013. An estimate of potential threats levels to soil biodiversity in EU. Global Change Biology, 19 (5): 1538–1548.

[15] Gartzia-Bengoetxe, N., Kandeler, E., Martínez de Arano, I. and 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.

[16] 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.

[17] 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.

[18] 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.

[19] Guo, X., Chen, H., Meng, M., Biswas, S.R., Ye, L., & Zhang, J. 2016. Effects of land use change on the composition of soil

A., & SantaRegina, I. 2011. Correlation among soil enzyme activitiesunder different fore I.st system managementpractices. *Ecological Engineering*, 37,1123–1131.

[29] Schinner, F., Ohlinger, R., Margesin, R. 1996. Methods in Soil Biology. Springer Press, Berlin.

[30] Schoeneberger, P.J., Wysocki, D.A., Benham, E.C., Soil Survey Staff. 2012. Field Book for Describing and Sampling Soils. Lincoln: Natural Resources Conservation Service-National Soil Survey Center.

[31] Sparling, G.P., West, A.W. 1988. A direct extraction method to estimate soil microbial C: calibration in situ using microbial respiration and ^{14}C labelled cells. *Soil Biology and Biochemistry* 20(3): 337–343.

[32] Wang, X.; Zhao, J.; Wu, J.; Chen, H.; Lin, Y.; Zhou, L.; Fu, S. 2011. Impacts of understory species removal and/or addition on soil respiration in a mixed forest plantation with native species in southern China. *Forest Ecology and Management* 2011, *261* (6), 1053-1060.

[33] 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.

microbial communities in a managed subtropical forest. *Forest Ecology and Management*, 373, 93–99.

[20] 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.

[21] 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.

[22] 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.

[23] 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.

[24] 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.

[25] 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.

[26] 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.

[27] Pailler, A., Vennetier, M., Torre, F, Ripert, C., Guiral, D. 2014. Forest soil microbial functional patterns and response to a drought and warming event: Key role of climate -plant- soil interactions at a regional scale. Soil Biology and Biochemistry, 70: 1-4.

[28] Salazara, S., Sánchezb, L., Alvareza, J., Valverdea, A., Galindoc, P., Igualc, J., Peixa,