J. Soil and Plant Interactions, Vol. 14, No. 2, Summer 2023, pp. 93-108. **Research Article**

https://jspi.iut.ac.ir EISSN: 2783-5286 DOI: 10.47176/jspi.14.2.20462 DOR: 20.1001.1.27835014.1402.14.2.6.3

Evaluation of Soil Properties Under The Canopy of Wild Pistachio (*Pistacia atlantica* Desf.) and Wild Almond (*Prunus orientalis* (Mill.) Koehne) (Case Study: Tang Khoshk, Semirom)

Z. Khanmohammadi[1*] and M. Matinizadeh[2]

(Received: 13 May 2023; Accepted: 26 June 2023)

Abstract

Stability of forest ecosystems, especially in arid and semi-arid areas with non-dense cover, depends on the soil quality maintenance. Therefore, knowledge of the soil properties of these areas can play an effective role in their management. The purpose of this study was to investigate some physical, chemical and biological properties of the soil under wild pistachio (*Pistacia atlantica* Desf.) and wild almond (*Prunus orientalis* (Mill.) Koehne) canopy in Tang Khoshk forest reserve of Semirom. Surface soil samples (0 to 15 cm) were randomly collected from the sites under the canopy of *P. atlantica* and *P. orientalis* species and outside the canopy (control sample). Some chemical properties including electrical conductivity, pH, total nitrogen, organic carbon, available phosphorus, potassium, iron, zinc, copper and manganese, soluble calcium and magnesium and calcium carbonate equivalent, physical properties including bulk density, soil texture and gravimetric water content, and biological properties of basal respiration, induced respiration, microbial biomass carbon and nitrification potential of soils were measured. The electrical conductivity, organic carbon and potassium in the soil under the canopy of *P. atlantica* and *P. orientalis* species were significantly higher than those in the control soil. The reverse trend was observed for the available phosphorus, iron and copper. The mean total nitrogen in the soil under the canopy was at least 1.46 times higher than that of the control soil. Soil bulk density decreased significantly at the presence of canopy compared to the control soil. The basal and induced respirations of the soil under the canopy were significantly higher than in the canopy outside, while the microbial biomass carbon and nitrification potential were significantly greater in the control soil compared to the sites under the canopy. According to the results of current research, the type of plant and its canopy can have different effects on soil properties.

Keywords: Soil biological properties, Soil organic carbon, Soil quality, Forest reserve.

Background and Objective: Soil is one of the important components in the forest ecosystem, which, along with other ecological factors, determines the distribution pattern of vegetation. On the other hand, trees and their canopy provide various amounts of organic matter with different chemical compositions, therefore can

1- Departments of Soil and Water Research, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Training Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Isfahan, Iran.

2- Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

* Corresponding author, Email: Z.khanmohamadi@areeo.ac.ir

affect the soil properties (2). Semi-dense or thin forests of arid and semi-arid regions make up about 86% of the country's forest area. The effect of canopy on soil properties in arid and semi-arid ecosystems is quite evident (1). This study compared some physical, chemical and biological properties of the soils under the wild pistachio (*Pistacia atlantica* Desf.) and wild almond (*Prunus orientalis* (Mill.) Koehne) canopy in the Tang Khoshk forest reserve, Semirom.

Methods: The research was carried out in Tang Khoshk forest reserve, located 41 km south of Semirom city. The main tree and shrub cover of Tang Khoshk are wild pistachio (*Pistacia atlantica* Desf.) and wild almond (*Prunus orientalis* (Mill.) Koehne), respectively. A square plot of one hectare was selected in the region, which was a good representative of the area with a suitable cover of *P. atlantica* and *P. orientalis*. Fifteen soil samples were randomly collected from the layer of 0 to 15 cm under the canopy of each plant. Then, all three soil samples were well mixed with each other and a composite sample was obtained. Similarly, soil samples were collected from the outside of canopy, as control. Some chemical, physical and biological properties of the soils were measured. The data was statistically analyzed in the form of a completely random design using SAS software.

Results: The mean total nitrogen contents in the soils under the canopy of *P. orientalis* and *P. atlantica*, and control were in the order 0.40 > 0.38 > 0.26%, respectively. The organic carbon contents in the soils under the canopy of *P. atlantica* and *P. orientalis* were 3.40 and 3.62%, respectively, while it was 2.33% in the control soil. Different plant tissues including aerial parts, dead leaves and tree roots are added to the soil as the main source of organic matter. The secretions of the roots into the soil are also another factor that increase the soil organic matter (3). Soil bulk density in the samples collected under the canopy was significantly lower than the control. In other words, the soil porosity under the canopy is higher compared to the control. The highest amount of basal respiration was observed in the soil under the *P. orientalis* canopy, which was significantly higher than others. A similar trend was observed for the induced respiration. The maximum amount of microbial biomass carbon was obtained in the control soil, which was significantly higher than in the soil under the canopy. The results of nitrification potential also had a trend similar to that of microbial biomass carbon.

Conclusions: The canopy of *P. atlantica* and *P. orientalis* improved the soil physical and chemical properties. It seems that basal and induced respirations under the canopy can be useful to evaluate the soil quality in the region. While the microbial biomass carbon and nitrification potential decrease under the canopy compared to the control soil, could be due to the change in the type of substrate, and these properties are probably not suitable indicators for characterizing the soil quality.

References:

1. Anonymous (a). 2020. Forest, Range and Watershed Organization, Isfahan Province.
2. Bazgir, M., Menati, T., Rostaminya, M., Mahdavi, A., 2020. Soil microbial biomass and activity of oak forest in three different regions in Ilam province. *Journal of Soil Biology* 8(2): 155–164. (In Persian with English abstract)
3. Rostamizad, P., Hosseini, V., Mohammadi Samani, K., 2018. The effects of Persian Turpentine (*Pistacia atlantica* Desf) single-trees crown on the amount of nutrients in the forest soil (Sarvabad region in Kurdistan province). *Journal of Water and Soil Science* 22(2): 383–393. (In Persian with English abstract)

روابط خاک و گیاه/ سال چهاردهم / شماره دوم / تابستان ۱۴۰۲ / صفحات ۱۰۸-۹۳ مقاله پژوهشی
DOR: 20.1001.1.27835014.1402.14.2.6.3 DOI: 10.47176/jspi.14.2.20462 EISSN: 2783-5286 https://jspi.iut.ac.ir

ارزیابی ویژگی‌های خاک زیر تاج پوشش درختان بنه (*Pistacia atlantica* Desf.) و بادام کوهی (*Prunus orientalis* (Mill.) Koehne) (مطالعه موردی: تنگ خشک، سمیرم)

زهرا خان‌محمدی[1*] و محمد متینی‌زاده[2]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۲/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۴/۵)

چکیده

حفظ پایداری اکوسیستم‌های جنگلی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک با پوشش غیرانبوه بستگی به حفظ کیفیت خاک دارد. بنابراین آگاهی از ویژگی‌های خاک‌های این مناطق می‌تواند در مدیریت آن‌ها نقش تأثیرگذاری داشته باشد. هدف از این پژوهش بررسی برخی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک تحت پوشش بنه (*Pistacia atlantica* Desf.) و بادام کوهی (ارژن) (*Prunus orientalis* (Mill.) Koehne) ذخیره‌گاه جنگلی تنگ خشک در شهرستان سمیرم بود. نمونه‌برداری از خاک رویین (۰ تا ۱۵ سانتی‌متر) زیر تاج پوشش گونه‌های بنه و بادام کوهی و بیرون از تاج (نمونه شاهد) به‌صورت تصادفی انجام شد. برخی ویژگی‌های شیمیایی (رسانایی الکتریکی، pH، نیتروژن کل، کربن آلی کل، پتاسیم، فسفر، آهن، روی، مس و منگنز قابل دسترس، کلسیم و منیزیم محلول، کربنات کلسیم معادل)، فیزیکی (چگالی ظاهری، بافت خاک، درصد رطوبت جرمی) و زیستی (تنفس پایه، تنفس برانگیخته، کربن زیست‌توده میکربی، پتانسیل نیتریفیکاسیون) خاک ها اندازه‌گیری شد. مقادیر رسانایی 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. با توجه به نتایج پژوهش حاضر می توان بیان نمود که نوع گیاه و تاج پوشش آن، می‌توانند آثار متفاوتی بر ویژگی‌های خاک داشته باشند.

واژه‌های کلیدی: ویژگی‌های زیستی خاک، کربن آلی خاک، کیفیت خاک، ذخیره‌گاه جنگلی.

مقدمه

خاک یکی از اجزای مهم اکوسیستم جنگلی است که در کنار

۱- بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

۲- مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Z.khanmohamadi@areeo.ac.ir

سایر عوامل بوم‌شناختی، الگوی پراکنش پوشش گیاهی را تعیین می‌کند. از سوی دیگر درختان و تاج پوشش آن‌ها نیز می‌توانند با تأمین مقادیر گوناگونی از مواد آلی با ترکیب‌های شیمیایی متفاوت بر ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و زیستی خاک اثرگذار باشند (۱۶ و ۳۰). فرآیند خاک‌سازی در اکوسیستم‌های جنگلی تحت کنترل عوامل مستقل زیادی (آب و هوا، پستی و بلندی، جانداران، مواد مادری و زمان) قرار دارد و در کنار این عوامل، گروهی از عوامل کنترل‌کننده طبیعی (آشفتگی‌های طبیعی) و غیرطبیعی (فعالیت‌های انسانی) نیز تأثیرگذار هستند (۲۵). از آنجا که پایداری درازمدت اکوسیستم‌های جنگلی وابسته به حفظ کیفیت خاک است، آگاهی از وضعیت خاک‌های مناطق جنگلی و بررسی آثار فعالیت‌های انجام‌شده بر ویژگی‌های خاک، تأثیر مهمی در مدیریت جنگل دارد. از آنجا که کیفیت خاک را نمی‌توان به‌طور مستقیم اندازه‌گیری نمود، اندازه‌گیری ویژگی‌های مختلف خاک می‌تواند در این امر مفید باشد.

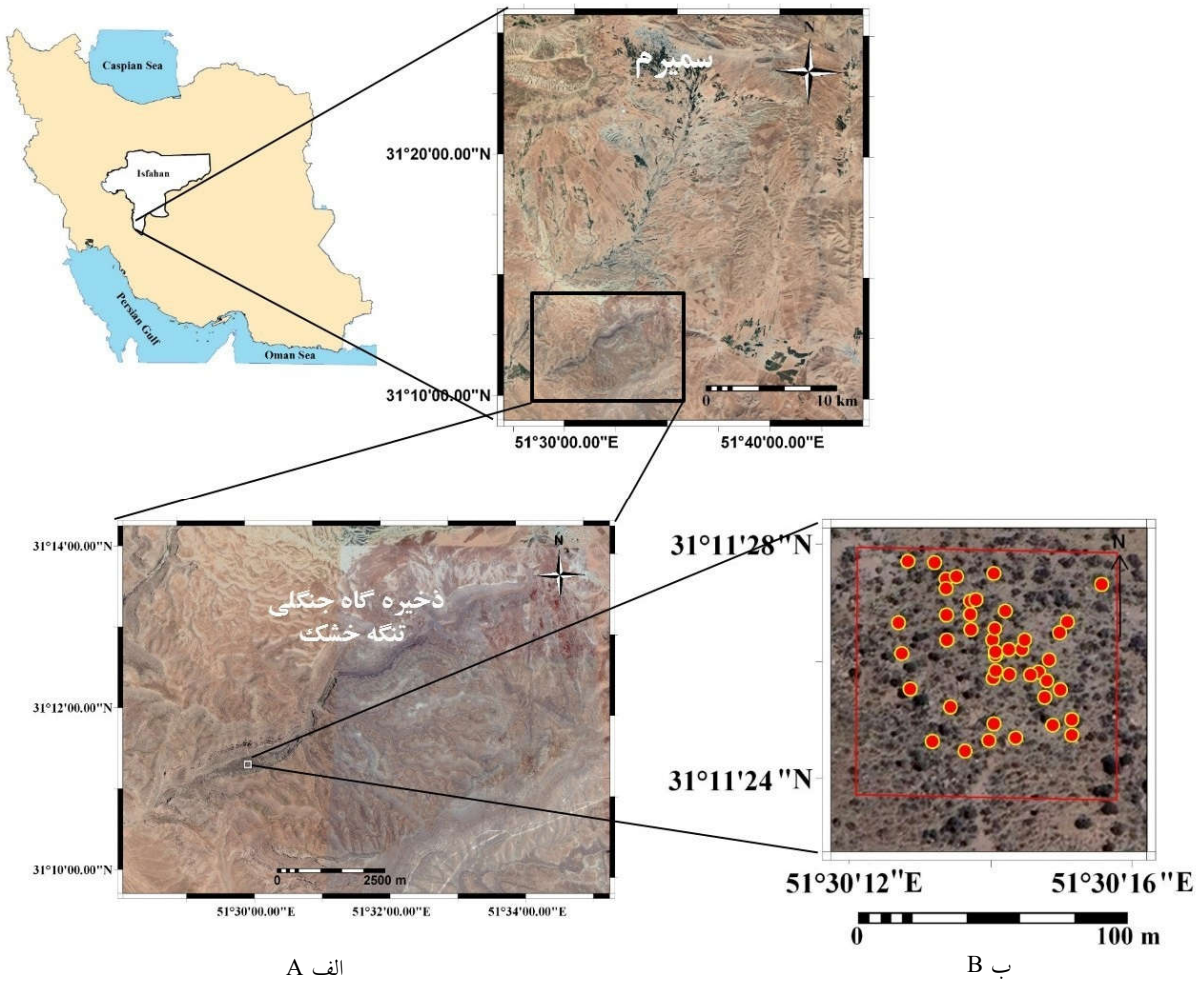
پژوهش‌هایی با اهداف مختلف به بررسی ویژگی‌های خاک مناطق جنگلی پرداخته‌اند. کوچ و نقره (۱۳۹۸) در پژوهشی اثر پوشش‌های جنگلی، مرتعی و زراعی بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و میکربی خاک را بررسی کردند (۲۶). بر اساس نتایج این پژوهش، بیش‌ترین میزان پایداری خاکدانه، درصد رس، رطوبت، کربن آلی، نیتروژن کل، کربن آلی ذره‌ای، نیتروژن آلی محلول، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم قابل جذب، زیست‌توده ریزریشه، نیترات و معدنی‌شدن نیتروژن خاک مربوط به رویشگاه‌های جنگلی بود. همچنین کم‌ترین میزان چگالی ظاهری و نسبت کربن به نیتروژن خاک به پوشش جنگلی اختصاص داشت. بر اساس این پژوهش بیش‌ترین مقادیر تنفس پایه، تنفس برانگیخته، کربن زیست‌توده میکربی، نیتروژن زیست‌توده میکربی، فسفر زیست‌توده میکربی، فعالیت آنزیم‌های اوره‌آز، اسید فسفاتاز، آریل سولفاتاز و اینورتاز نیز در رویشگاه جنگلی مشاهده شد، درحالی‌که شاخص‌های میکربی ضریب متابولیکی، سهم میکربی و شاخص فراهمی کربن تفاوت آماری معنی‌داری بین کاربری‌ها نداشت (۲۶). نتایج پژوهش حیدری و همکاران (۱۴۰۱) نشان داد که ساختار جنگل بر شاخص‌های میکربی خاک شامل تنفس پایه، تنفس برانگیخته و زیست‌توده میکربی کربن اثرگذار است. این پژوهشگران پیشنهاد کردند که به‌منظور مدیریت پایدار جنگل، در پایش‌های دوره‌ای جنگل بررسی فعالیت‌های میکربی خاک نیاز است (۲۱). در پژوهش دیگری رابطه بین ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک زیر تاج پوشش و فضای باز با توده‌های کُنار در منطقه ایذه بررسی شد. نتایج این پژوهش نشان داد که میانگین کربن آلی خاک زیر تاج، ۲۳/۵ درصد بیش‌تر از خاک بیرون از تاج بود. پتاسیم قابل دسترس خاک، کربن و نیتروژن زیست‌توده میکروبی در زیر تاج درختان کُنار به شکل معنی‌داری بیش‌تر از فضای بیرون از تاج بود. همچنین خاک زیر تاج، بیش‌ترین میزان تنفس پایه (۱۹/۲۹ میلی‌گرم دی اکسید کربن در کیلوگرم خاک در روز) و بهره میکروبی (۱/۶۸ درصد) را داشت (۹). رستمی‌زاد و همکاران (۱۳۹۷) اثر تاج تک درختان بنه بر ویژگی‌های شیمیایی خاک در منطقه سروآباد استان کردستان را بررسی کرده و نشان دادند که درصد کربن آلی در ناحیه درون تاج نسبت به بیرون آن از ۶/۷۱ به ۴/۷۳ درصد کاهش می‌یابد. میزان نیتروژن در خاک تحت ناحیه تاج پوشش درخت (۰/۴۰۶ درصد) نسبت به بیرون از آن (۰/۲۲۴ درصد) بیش‌تر بود (۳۷). نتایج پژوهش مظاهری و بازگیر (۱۳۹۸) نشان داد که بیش‌ترین میزان کربن آلی (۳۴/۴۹ گرم در کیلوگرم خاک) و تنفس میکربی (۶۳/۲۱ میلی‌گرم دی‌اکسید کربن در گرم خاک در روز) در منطقه ایوان، مربوط به کاربری جنگل (در مقایسه با کاربری کشاورزی) بود. همچنین بیش‌ترین میزان کربن زیست‌توده میکربی در کاربری جنگل به‌دست آمد که میزان آن با افزایش عمق خاک کاهش یافت (۲۹).

بر اساس آمار از مجموع ۱۶۵ میلیون هکتار مساحت کشور تنها ۱۴/۳ میلیون هکتار به پوشش جنگلی اختصاص دارد، که از این میزان حدود ۱۴ درصد شامل جنگل‌های انبوه مناطق مرطوب بوده و ۸۶ درصد مساحت جنگلی کشور از جنگل‌های نیمه‌انبوه یا تنک مناطق خشک و نیمه‌خشک تشکیل شده است

(۴). بنابر آمار سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور (۱۳۹۸)، نزدیک به ۴/۷ میلیون هکتار از جنگل‌های کشور در ناحیه ایران-تورانی قرار می‌گیرند. ناحیه ایران-تورانی در واقع وسیع‌ترین ناحیه رویشی کشور و شامل شیب‌های جنوبی البرز، ارتفاعات شمال‌شرقی کشور و مناطق کویری و مرکزی است. بارش سالیانه کم و خشکی در فصل رویش از ویژگی‌های اکولوژیک منطقه ایران-تورانی است. از لحاظ جامعه‌شناسی گیاهی، جنگل‌های این ناحیه شامل دو جامعه ارس و بنه-بادام کوهی هستند (۷). با وجود اهمیت این ناحیه رویشی، تاکنون پژوهش‌های اندکی در مورد پایش خاک تحت این گونه‌ها انجام شده است. یکی از نواحی جنگلی ارزشمند ناحیه ایران-تورانی، منطقه تنگ خشک شهرستان سمیرم با پوشش تنک و غالب بنه و بادام کوهی است. بر اساس پژوهش‌های پیشین، تاج پوشش بر ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و زیستی خاک اثرگذار بوده و این تأثیر در اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک کاملاً مشهود است (۲۳). بررسی و آگاهی بیش‌تر از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک می‌تواند در جلوگیری از تخریب و انقراض گونه‌های گیاهی مؤثر باشد. بنابراین پژوهش حاضر با هدف مقایسه ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک تحت پوشش بنه (*Pistacia atlantica* Desf.) و بادام کوهی (ارژن) (*Prunus orientalis* (Mill.) Koehne) در ذخیره‌گاه جنگلی تنگ خشک شهرستان سمیرم انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در ذخیره‌گاه جنگلی تنگ خشک، واقع در ۴۱ کیلومتری جنوب شهرستان سمیرم انجام شد (شکل ۱-الف). این منطقه دارای دامنه ارتفاع از ۱۹۰۰ تا ۲۷۰۰ متر از سطح دریا، میانگین دمای سالانه ۱۰/۶ درجه سلسیوس و میانگین بارندگی ۳۹۹/۵ میلی‌متر است و بر اساس روش دومارتن جزء مناطق نیمه‌خشک محسوب می‌شود. پوشش درختی اصلی منطقه بنه (*Pistacia atlantica* Desf.) و پوشش غالب درختچه ای، بادام کوهی (ارژن) (*Prunus orientalis* (Mill.) Koehne) است. برای انجام پژوهش، ابتدا یک قطعه یک هکتاری به شکل مربع در منطقه انتخاب شد که با پوشش مناسبی از درختان بنه و بادام کوهی نماینده خوبی از منطقه باشد. قطعه یک هکتاری در زون ۳۹ و بین طول جغرافیایی ۵۴۷۹۶۱ تا ۵۴۸۰۶۱ و عرض جغرافیایی ۳۴۵۰۷۹۱ تا ۳۴۵۰۸۹۱ قرار دارد. به‌منظور نمونه برداری خاک برای هر گونه گیاهی ذکرشده، در زیر تاج درختان (در فاصله میان تنه تا لبه انتهایی تاج) و در جهت شرق درخت، به‌طور تصادفی ۱۵ نمونه خاک از لایه صفر تا ۱۵ سانتی‌متری برداشت شد. سپس هر سه نمونه خاک به‌خوبی با یکدیگر مخلوط شده و یک نمونه ترکیبی به‌دست آمد (پنج نمونه خاک برای هر گونه). در بیرون از تاج و مکانی که گیاه وجود نداشت نیز به‌طور تصادفی ۱۵ نمونه خاک از لایه صفر تا ۱۵ سانتی‌متر برداشت شده و مشابه نمونه‌برداری زیر تاج درختان در نهایت ۵ نمونه شاهد برای اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی آماده شد. نقاط نمونه‌برداری‌شده در شکل (۱-ب) نشان داده شد. پس از نمونه برداری، نمونه‌های خاک از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شد. بخشی از نمونه‌ها به‌منظور اندازه‌گیری ویژگی‌های بیولوژیک تا زمان انجام آزمایش، در شرایط سرد (دمای ۴ درجه سلسیوس) نگه‌داری شد. بقیه نمونه‌ها پس از هوا-خشک‌شدن، برای اندازه گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه منتقل شد. آزمایش‌های فیزیکی خاک شامل تعیین درصد رطوبت جرمی در زمان نمونه‌برداری، چگالی ظاهری (۱۱) و بافت خاک به روش هیدرومتری بود (۱۸). رسانایی الکتریکی، pH (۳۱) و غلظت کلسیم و منیزیم محلول در عصاره گل اشباع (۴۳)، نیتروژن کل به روش کلدال (۱۲) و فسفر قابل دسترس خاک به روش اولسن اندازه‌گیری شد (۳۴). پتاسیم قابل دسترس خاک با استفاده از استات آمونیوم عصاره‌گیری شده و با فلیم-فتومتر تعیین شد (۲۴). کربن آلی خاک به روش اکسیداسیون تر با اسید کرومیک و تیتراسیون برگشتی با فروسولفات آمونیوم(۳۳) و کربنات کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی با اسید و تیتراسیون اندازه‌گیری شد (۳۲).



شکل ۱. الف) موقعیت ذخیره‌گاه جنگلی تنگ خشک، و ب) قطعه یک هکتاری مورد بررسی.

Fig. 1. A) The location of Tang Koshk forest reserve area, and B) The studied one-hectare plot.

برای تعیین غلظت قابل دسترس آهن، روی، مس و منگنز در خاک، عصاره‌گیری با استفاده از DTPA ۰/۰۰۵ مولار انجام شد (۲۷). ویژگی‌های بیولوژیک شامل تنفس پایه[1] (BR)، تنفس برانگیخته[2] (SIR)، کربن زیست‌توده میکربی[3] (MBC) و پتانسیل نیتریفیکاسیون[4] (NP) بود. تنفس پایه خاک با استفاده از روش ظروف دربسته و اندازه‌گیری دی‌اکسید کربن رهاشده بر اثر تنفس ریزجانداران، بر حسب میلی‌گرم دی‌اکسید کربن آزادشده از هر گرم خاک خشک در روز ($mg\ CO_2\ g^{-1}\ dm\ 24\ h^{-1}$) محاسبه شد (۳۸). 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 میلی‌گرم دی‌اکسید کربن در صد گرم خاک خشک در ساعت ($mg\ CO_2\ 100\ g^{-1}\ dm\ h^{-1}$) گزارش شد (۳۸). به‌منظور اندازه‌گیری کربن زیست‌توده میکربی خاک از روش تدخین-استخراج[5] 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 اندازه گیری شد (۴۱). پتانسیل نیتریفیکاسیون خاک در ۵ گرم خاک و با استفاده از

1. Basal respiration
2. Substrate-Induced respiration
3. Microbial biomass carbon
4. Nitrification potential
5. Fumigation-extraction

روش برگ و راسوال انـدازه‌گیری شد (۱۰).

به‌منظور تجزیه و تحلیل آماری، داده‌ها در قالب طرح کـاملاً تصادفی به‌کمک نرم‌افزار SAS تجزیه آماری شد.

نتایج و بحث

الف- ویژگی‌های شیمیایی خاک‌های مورد بررسی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تاج پوشش بنـه یـا بادام بر ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی اندازه‌گیری‌شده (بـه جـز pH، کربنات کلسیم معادل، غلظـت فسـفر، روی و منگنـز قابـل دسترس) معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین ویژگـی‌هـای شیمیایی نمونه‌های خاک در جدول (۲) نشان داده شـده اسـت. بر اساس نتایج، میانگین رسانایی الکتریکی، درصـد کـربن آلـی کل، نیتروژن کل، پتاسیم قابل دسترس، کلسیم و منیزیم محلـول در نمونه‌های خاک شاهد به‌طور معنی‌داری کم‌تر از خـاک‌هـای برداشت‌شده از زیر تاج پوشش درختـان بنـه و بـادام بـود، امـا تفاوت معنی‌داری در مقادیر pH، کربنات کلسیم معـادل و روی، منگنز و سدیم قابـل دسـترس بـین خـاک شـاهد و خـاک‌هـای برداشت‌شده از زیر تاج پوشش مشاهده نشد (جدول ۲). مقادیر رسانایی الکتریکی خاک زیر تاج پوشـش درختـان بنـه و بـادام به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از خاک شاهد بود. رسانایی الکتریکـی خاک زیر تاج پوشش درختان حداقل ۱/۲۴ برابـر خـاک شـاهد بود (جدول ۲).

از آنجا که تاج پوشـش درختـی مـانع تـابش مسـتقیم نـور خورشید به سطح خاک می‌شود، دمای خاک در زیر تاج پوشش کاهش یافته و میزان رطوبت افزایش می‌یابد. وجـود لاشـبرگ و رطوبت کـافی سـبب افـزایش فعالیـت ریزجانـداران مـی‌شـود. بنابراین شرایط مناسبی برای تجزیه مواد آلی و انحـلال بیش‌تـر کانی‌ها و آزادسازی یون‌ها فـراهم مـی‌شـود (۳۵). همچنـین در مناطقی که نمک‌ها از خاک آبشویی نمـی‌شـوند، غلظـت امـلاح محلول افزایش می‌یابد (۳۷). به‌علاوه ریشـه گیـاه کـاتیون‌هـا و آنیون‌ها را از خاک زیرین جذب می‌کند که بعداً توسط لاشبرگ و بقایای گیاهی به خاک رویین افزوده می‌شوند. این عوامل مـی توانـد از دلایـل افـزایش رسـانایی الکتریکـی خـاک زیـر تـاج پوشش در مقایسه با خاک شاهد باشد. میانگین غلظت نیتـروژن کل در خاک‌های زیر تاج پوشش بـادام، بنـه و شـاهد بـه‌ترتیب ۰/۴۰ > ۰/۳۸ > ۰/۲۶ درصد به‌دست آمد. میزان نیتـروژن کـل در خاک زیر تاج پوشش حداقل ۱/۴۶ برابـر خـاک شـاهد بـود (جدول ۲). این یافته به‌دلیل ارتبـاط بقایـای پوشـش گیـاهی بـا نیتروژن خاک است. میزان کربن آلـی در خـاک‌هـای زیـر تـاج پوشـش بنـه و بـادام کـوهی بـه‌ترتیب ۳/۴۰ و ۳/۶۲ درصـد اندازه‌گیری شد، درحالی‌که در خـاک شـاهد ۲/۳۳ درصـد بـود (جدول ۲). نتایج پژوهش‌های دیگر نیز مؤید افـزایش معنـی‌دار درصد کربن آلی و نیتروژن کل در خاک زیر تاج پوشش نسـبت به خاک شاهد است (۱، ۲۲ و ۳۷). میزان کـربن آلـی خـاک بـا میزان ماده آلی خاک ارتباط مستقیم دارد. در جنگـل بافـت‌هـای مختلف گیاهی شـامل قسـمت‌هـای هـوایی، لاشـبرگ و ریشـه درختان به‌عنوان منبع اصلی ماده آلی به خاک افزوده مـی‌شـوند. ترشحات ریشه‌ها در خاک نیز از عوامل دیگر افزایش ماده آلـی در خاک هستند (۱۵). وجود این پس‌مانـدها در خـاک در کنـار عوامل مناسب رطوبتی مانند سـاقاب یـا تـاج بـارش و شـرایط مناسب دمایی، فضا را برای تجزیه مواد آلی در زیر تاج پوشـش فراهم می‌کند (۲۲، ۳۹ و ۴۰). البته باید توجه داشت که در ایـن شرایط معمولاً سرعت افـزایش مـواد آلـی بـه خـاک بیش‌تـر از سرعت تجزیه آن است. میزان پتاسیم قابل دسترس در خاک زیر تاج پوشش حـداقل ۱/۹ برابـر خـاک شـاهد بـود (جـدول ۲). غلظـت بیش‌تـر عناصـری ماننـد پتاسـیم، کلسـیم و منیـزیم در خاک‌های برداشت‌شده از زیر تاج پوشش درختـان بنـه و بـادام کوهی نیز نشان‌دهنده نقش پوشش گیاهی در افزایش مـواد آلـی خاک و نیز نقش مواد آلی در افزایش ویژگی‌های مذکور اسـت. میزان فسفر قابل دسـترس در خـاک زیـر تـاج پوشـش کـاهش معنی‌داری نسبت به خاک شاهد نشـان داد. میـزان آهـن و مـس قابل دسترس در خاک زیر تاج پوشـش نیـز بـه‌طور معنـی‌داری کم‌تر از خاک شاهد بود (جدول ۲).

جدول ۱. تجزیه واریانس ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک‌های مورد بررسی

Table 1. Analysis of variance of the chemical and physical properties of the studied soils

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean squares									
		رسانایی الکتریکی Electric conductivity	واکنش pH	نیتروژن کل Total nitrogen	کربن آلی Organic carbon	کربنات کلسیم معادل Calcium carbonate equivalent	فسفر+ Phosphorus	پتاسیم+ Potassium	آهن+ Iron	روی+ Zinc	منگنز+ Manganese
تیمار Treatment	2	0.10^{*}	0.018^{ns}	0.029^{***}	2.36^{**}	59.61^{ns}	31.32^{ns}	232169^{***}	0.4^{***}	0.058^{ns}	23.29^{ns}
خطا Error	12	0.018	0.009	0.0007	0.065	29.66	13.09	5608	0.014	0.019	7.52

*** معنی‌داری در سطح آماری ۰/۰۰۱، ** معنی‌داری در سطح آماری ۰/۰۱، * معنی‌داری در سطح آماری ۰/۰۵ ، ns غیرمعنی‌دار، + فسفر، پتاسیم، آهن، روی، مس و منگنز قابل دسترس، و کلسیم، منیزیم و سدیم محلول در عصاره گل اشباع

***: Significant at $p<0.001$;**: Significant at $p<0.01$; *: Significant at $p<0.05$; ns: non-significant, +: available phosphorus, potassium, iron, zinc, manganese, cupper, and soluble calcium, magnesium and sodium in saturated soil paste extract

ادامه جدول ۱.

Table 1. (continued)

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean squares								
		مس+ Cupper	کلسیم+ Calcium	منیزیم+ Magnesium	سدیم+ Sodium	رس Clay	شن Sand	سیلت Silt	درصد رطوبت جرمی Gravimetric water content	چگالی ظاهری Bulk density
تیمار Treatment	2	0.048^{***}	6.54^{*}	1.803^{*}	0.026^{ns}	88.65^{**}	38.21^{**}	127.71^{***}	0.666^{**}	0.077^{**}
خطا Error	12	0.001	2.13	0.389	1.57	6.11	4.96	5.48	0.108	0.005

جدول ۲. مقایسه میانگین ویژگی‌های شیمیایی اندازه‌گیری‌شده در نمونه‌های خاک شاهد و زیر تاج پوشش بنه و بادام کوهی

Table 2. Mean comparison of chemical properties measured in control soil and soils under wild pistachio and wild almond canopy

پتاسیم⁺ Potassium	فسفر⁺ Phosphorus	کربنات کلسیم معادل Calcium carbonate equivalent	کربن آلی Organic carbon	نیتروژن کل Total nitrogen	واکنش pH	رسانایی الکتریکی Electrical conductivity	Treatments تیمارها
mg kg^{-1} میلی‌گرم بر کیلوگرم		---------- % ----------			-	dSm^{-1}	
356^{b}	12.52^{a}	36.6^{a}	2.33^{b}	0.26^{b}	7.41^{a}	۰0.80^{b}	شاهد Control
680^{a}	7.52^{b}	31^{a}	3.40^{a}	0.38^{a}	7.35^{a}	0.99^{a}	بنه Wild pistachio
765^{a}	9.82^{ab}	37.3^{a}	3.62^{a}	0.40^{a}	7.48^{a}	1.08^{a}	بادام کوهی Wild almond
103.2	4.98	7.50	0.35	0.038	0.134	0.186	$LSD_{0.05}$

حروف غیرمشابه در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح آماری ۵ درصد بر اساس آزمون LSD است. ⁺فسفر، پتاسیم، آهن، روی، مس و منگنز قابل دسترس و کلسیم، منیزیم و سدیم محلول در عصاره گل اشباع

In each column, numbers with different letters indicate significant differences (LSD, $p < 0.05$). ⁺: available phosphorus, potassium, iron, zinc, manganese, cupper, and soluble calcium, magnesium and sodium in saturated paste extract

ادامه جدول ۲.

Table 2. (continued)

سدیم⁺ Sodium	کلسیم⁺ Calcium	منیزیم⁺ Magnesium	مس⁺ Cupper	منگنز⁺ Manganese	روی⁺ Zinc	آهن⁺ Iron	Treatments تیمارها
---------- meq L^{-1} میلی‌اکی‌والان بر لیتر ----------			---------- mg kg^{-1} میلی‌گرم بر کیلوگرم ----------				
1.77^{a}	5.68^{b}	1.2^{b}	0.30^{a}	6.43^{b}	0.78^{b}	1.43^{a}	شاهد Control
1.93^{a}	6.40^{ab}	2.4^{a}	0.16^{b}	10.73^{a}	0.98^{a}	0.88^{c}	بنه Wild pistachio
1.86^{a}	7.92^{a}	1.84^{ab}	0.13^{b}	8.91^{ab}	0.94^{ab}	1.04^{b}	بادام کوهی Wild almond
1.73	2.01	0.86	0.051	3.78	0.190	0.154	$LSD_{0.05}$

جدول ۳. مقایسه میانگین ویژگی‌های فیزیکی اندازه‌گیری‌شده در نمونه‌های خاک شاهد، زیر تاج پوشش بنه و بادام کوهی
Table 3. Mean comparison of physical properties measured in control soil and soils under wild pistachio and wild almond canopy

بافت Texture	سیلت Silt	شن Sand	رس Clay	چگالی ظاهری Bulk density	درصد رطوبت جرمی Gravimetric water content	تیمارها Treatments
	---------- % ----------			g cm^{-3}	%	
Silt loam	51.8^{a}	39.3^{b}	8.9^{b}	1.51^{a}	1.66^{b}	شاهد Control
Loam	41.7^{c}	42.54^{a}	15.76^{a}	1.27^{c}	2.23^{a}	بنه Wild pistachio
Loam	47.1^{b}	44.8^{a}	8.1^{b}	1.40^{b}	2.35^{a}	بادام کوهی Wild almond
	3.23	3.07	3.41	0.095	0.452	$LSD_{0.05}$

حروف غیرمشابه در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح آماری ۵ درصد بر اساس آزمون LSD است.
In each column, numbers with different letters indicate significant differences (LSD, $p < 0.05$).

ب- ویژگی‌های فیزیکی خاک‌های مورد بررسی

بر اساس نتایج، بافت خاک شاهد لوم سیلت و بافت نمونه خاک‌های زیر تاج پوشش بنه و بادام کوهی لوم به‌دست آمد (جدول ۳). درصد شن در خاک زیر تاج پوشش درختان بنه و نیز بادام به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از خاک شاهد بود، اما تفاوت معنی‌داری بین خاک زیر تاج پوشش بنه با بادام کوهی از نظر درصد شن مشاهده نشد. درحالی‌که درصد سیلت در نمونه شاهد به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از خاک‌های نمونه‌برداری‌شده از زیر تاج پوشش درختان بنه و بادام کوهی بود. درصد رس در خاک زیر تاج پوشش بنه با میزان ۱۴/۵ درصد به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از خاک‌های شاهد و زیر تاج پوشش بادام کوهی به‌دست آمد (جدول ۳). احتمالاً در زیر تاج پوشش درختان بنه به‌دلیل تفاوت در پوشش تحت اشکوب، فرسایش خاک کم یا ناچیز بوده و از این‌رو مقادیر بیش‌تری از رس تجمع یافته است. به‌علاوه درخت بنه برای رشد، خاک حاوی رس بیش‌تر را ترجیح می‌دهد، درحالی‌که جنس بادام کوهی در خاک‌های شنی یا رس کم‌تر بهتر استقرار پیدا می‌کند (۵).

مقادیر چگالی ظاهری در نمونه‌های برداشت‌شده از زیر تاج پوشش به‌طور معنی‌داری کم‌تر از شاهد بود (جدول ۳). 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 (۱۷). درصد رطوبت جرمی خاک در نمونه‌های برداشت‌شده از زیر تاج پوشش بنه و بادام کوهی به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از خاک شاهد بود، که به نقش ریشه گیاهان در حفظ رطوبت خاک اشاره دارد. علی‌زاده و همکاران (۱۴۰۱) گزارش کردند که درصد رطوبت اشباع خاک در زیر تاج هر دو گونه کهور و سمر به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از خاک بیرون از تاج بود (۱).

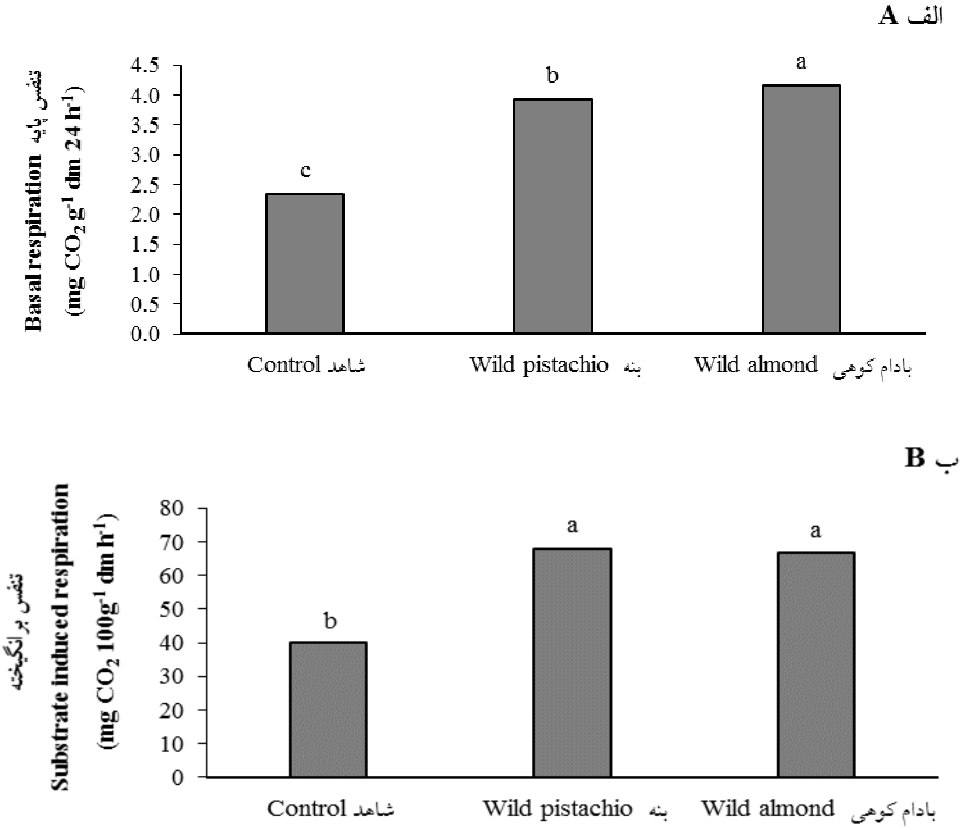
ج- ویژگی‌های بیولوژیک خاک‌های مورد بررسی

تجزیه واریانس اثر تیمار خاک شاهد و خاک نمونه‌برداری‌شده از زیر تاج پوشش بنه یا بادام کوهی بر ویژگی‌های بیولوژیک اندازه‌گیری‌شده معنی‌دار بود (جدول ۴). بیش‌ترین میزان تنفس پایه، ۴/۱۶ میلی‌گرم دی‌اکسید کربن در گرم خاک خشک در روز، در خاک زیر تاج پوشش بادام کوهی مشاهده شد که به‌طور معنی‌داری به‌ترتیب از تنفس پایه خاک مربوط به بنه (۳/۹۴ میلی‌گرم دی‌اکسید کربن در گرم خاک خشک در روز) و شاهد (۲/۳۵ میلی‌گرم دی‌اکسید کربن در گرم خاک خشک در روز) بیش‌تر بود (شکل ۲-الف). مقادیر میانگین تنفس برانگیخته در خاک زیر تاج درختان بنه و بادام کوهی به‌ترتیب

جدول ۴. تجزیه واریانس ویژگی‌های بیولوژیک خاک‌های مورد بررسی

Table 4. Analysis of variance of the biological properties of the studied soils

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean squares			
		تنفس پایه Basal respiration	تنفس برانگیخته Substrate-induced respiration	کربن زیست‌توده میکربی Microbial biomass carbon	پتانسیل نیتریفیکاسیون Nitrification potential
تیمار Treatment	2	4.89***	1235.38***	4.23***	13910.31**
خطا Error	12	0.008	4.38	0.164	1467.82



شکل ۲. مقایسه میانگین تنفس پایه (الف) و تنفس برانگیخته (ب) در نمونه‌های خاک شاهد، زیر تاج پوشش بنه و بادام کوهی؛ حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح آماری ۵ درصد بر اساس آزمون LSD است

Fig. 2. Mean comparison of basal respiration (A) and substrate-induced respiration (B) in control soil and soils under wild pistachio and wild almond canopy; Numbers with different letters indicate significant differences (LSD, $p < 0.05$).

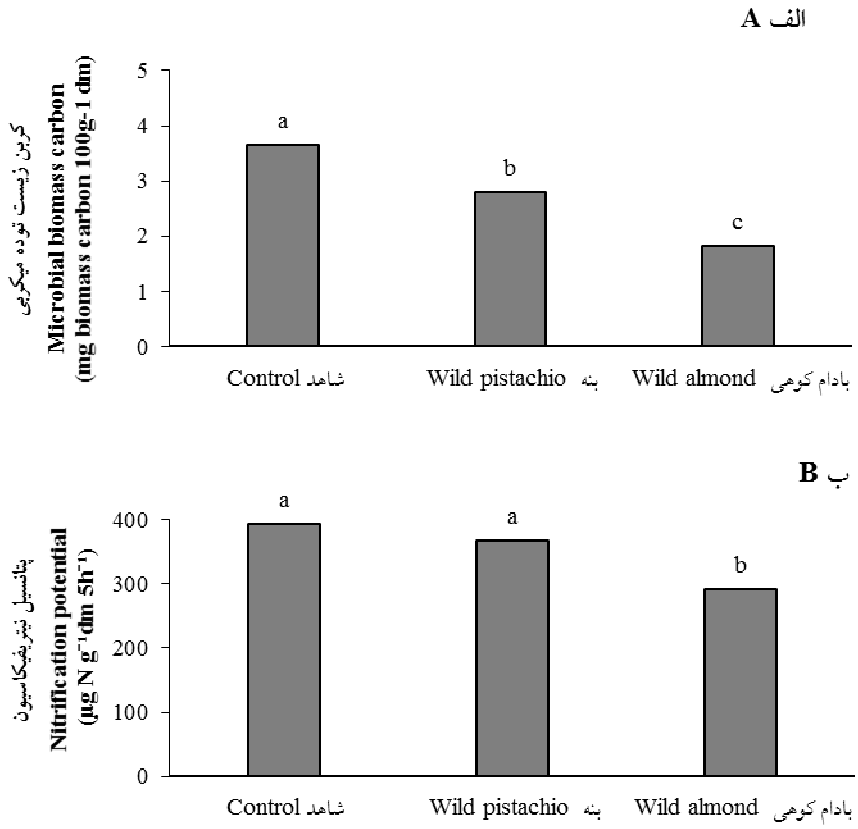
۶۷/۸۸ و ۶۶/۵۴ میلی‌گرم دی‌اکسید کربن در صد گرم خاک خشک در ساعت بود که افزایش معنی‌داری نسبت به میانگین تنفس برانگیخته در خاک شاهد (۴۰/۱ میلی‌گرم دی‌اکسید کربن در صد گرم خاک خشک) داشت، هرچند تفاوت معنی‌داری بین خاک‌های زیر تاج بنه و بادام کوهی مشاهده نشد (شکل ۲–ب). تنفس پایه و تنفس برانگیخته خاک بستگی به تغییر کاربری، نوع مدیریت، نوع گونه گیاهی و اقلیم دارد و به‌عنوان شاخصی از فعالیت ریزجانداران خاک، روند تجزیه مواد آلی و فعالیت

زیستی خاک را نشان می‌دهد (۲). این یافته‌ها با نتایج پژوهش علی‌زاده و همکاران (۱۴۰۱) هم‌خوانی داشت (۲). یافته‌های این پژوهشگران 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. به‌علاوه میزان رطوبت و کربن آلی کم‌تر در خاک شاهد نسبت به خاک‌های زیر تاج پوشش بنه یا بادام کوهی می‌تواند از دلایل احتمالی میزان کم‌تر تنفس پایه و تنفس برانگیخته در خاک شاهد باشد.

بررسی نتایج کربن زیست‌توده میکربی نشان داد که بیش‌ترین میزان میانگین آن در خاک شاهد (۳/۶۵ میلی‌گرم کربن زیست‌توده در ۱۰۰ گرم خاک خشک) مشاهده شد که به‌طور معنی‌داری نسبت به میزان آن در خاک زیر تاج پوشش بیش‌تر بود. میزان کربن زیست‌توده میکربی در خاک زیر تاج پوشش بنه (۲/۷۹ میلی‌گرم کربن زیست‌توده در ۱۰۰ گرم خاک خشک) نیز افزایش معنی‌داری در مقایسه با خاک زیر تاج پوشش بادام کوهی (۱/۸۱ میلی‌گرم کربن زیست‌توده در ۱۰۰ گرم خاک خشک) داشت (شکل ۳- الف). پژوهش‌ها نشان می دهد که تیپ جنگل، ترکیب و ساختار توده جنگلی مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر کیفیت یا شیمی لاشریزه ورودی به جنگل است که تأثیر بسیار زیادی بر جمعیت میکربی، سرعت تجزیه لاشریزه و نرخ ورود مواد غذایی به خاک‌های جنگلی و حاصل‌خیزی خاک خواهد داشت (۶ و ۱۴). همچنین میزان و کیفیت عناصر غذایی لاشبرگ و ریشه گونه‌های درختی و شرایط اقلیمی در تعیین روند تغییرات کربن زیست‌توده میکربی نقش بسیار مهمی دارند (۲). 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 (۱۳).

نتایج پتانسیل نیتریفیکاسیون نیز روندی مشابه کربن زیست توده میکربی داشت. بیش‌ترین میزان میانگین پتانسیل نیتریفیکاسیون (۳۹۳/۳۲ میکروگرم نیتروژن نیتریتی به‌ازای یک گرم وزن خشک خاک در پنج ساعت) در خاک شاهد مشاهده شد، هر چند تفاوت آماری معنی‌داری با خاک زیر تاج پوشش بنه (۳۶۶/۸۶ میکروگرم نیتروژن نیتریتی به‌ازای یک گرم وزن خشک خاک در پنج ساعت) نداشت. میزان پتانسیل نیتریفیکاسیون در خاک زیر تاج پوشش بادام کوهی (۲۹۱/۶۵ میکروگرم نیتروژن نیتریتی به‌ازای یک گرم وزن خشک خاک در پنج ساعت) به‌طور معنی‌داری کم‌تر از دو تیمار دیگر بود (شکل ۳- ب). به‌نظر می‌رسد که در منطقه شاهد به‌دلیل حضور بیش‌تر گونه‌های مرتعی و علوفه‌ای در مقایسه با منطقه حضور بنه و بادام کوهی با بقایای خشبی‌تر، کیفیت بقایای گیاهی و مواد آلی ورودی (سوبسترا) به خاک متفاوت بوده که می‌تواند سبب کاهش پتانسیل نیتریفیکاسیون در زیر تاج نسبت به نمونه شاهد شود. اثر کیفیت بقایای گیاهی بر سرعت و میزان معدنی‌شدن نیتروژن و کربن در پژوهش‌های دیگری نیز گزارش شده است (۳ و ۳۶). بررسی منابع نشان می دهد که نتایج مختلفی درباره پتانسیل نیتریفیکاسیون حاصل شده است. برخی پژوهش‌ها بیان می‌کنند که نوع گونه اثر بسیار مهمی بر روند تغییرات پتانسیل نیتریفیکاسیون دارد. پتانسیل نیتریفیکاسیون در خاک زیر تاج پوشش گونه‌های تثبیت‌کننده نیتروژن مانند کهور ایرانی و سمر به‌دلیل وجود مقادیر زیاد نیتروژن لاشبرگی و نیز پتانسیل زیاد همزیستی ریشه این گونه‌ها با باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن، افزایش می‌یابد (۲ و ۱۹). در مقابل، نتایج برخی پژوهش‌ها حاکی از عدم تغییر معنی‌دار پتانسیل نیتریفیکاسیون بین توده‌های جنگلی است (۲۱ و ۲۸). کاهش پتانسیل نیتریفیکاسیون به‌دلیل کاهش فعالیت جوامع میکربی ناشی از کاهش دما و ترشحات ریشه‌های گیاهی نیز گزارش شده است (۴۲). به‌طور کلی، روند تغییرات تنفس پایه و برانگیخته با روند تغییرات کربن زیست‌توده میکربی و پتانسیل نیتریفیکاسیون هماهنگی نداشت. حیدری و همکاران (۱۴۰۱) (۲۱) و بازگیر و همکاران (۱۳۹۹) (۸) نیز نتایج مشابهی در این مورد مشاهده کردند.

تنفس پایه و برانگیخته ناشی از فعالیت ریزجانداران خاک



شکل ۳. مقایسه میانگین کربن زیست‌توده میکربی (الف) و پتانسیل نیتریفیکاسیون (ب) در نمونه‌های خاک شاهد، زیر تاج پوشش بنه و بادام کوهی؛ حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح آماری ۵ درصد بر اساس آزمون LSD است.

Fig. 3. Mean comparison of microbial biomass carbon (A) and nitrification potential (B) in control soil and soils under wild pistachio and wild almond canopy; Numbers with different letters indicate significant differences (LSD, $p < 0.05$).

هستند و در یک بازه زمانی مشخص اندازه‌گیری می‌شوند. از سوی دیگر کربن زیست‌توده میکربی در واقع بخشی از کربن آلی خاک است که در ساختار ریزجانداران خاک وجود دارد و پس از مرگ آن‌ها مجدد وارد زنجیره کربن خاک می‌شود. فرآیند نیتریفیکاسیون نیز شامل تبدیل نیتروژن آمونیاکی به نیترات توسط ریزجانداران خاک است. این فرآیندها به عوامل محیطی مانند دما، رطوبت و یا عامل تنش بستگی دارند. به‌همین دلیل ممکن است که اندازه‌گیری این شاخص‌ها منجر به نتایجی با روند متفاوت از نتایج تنفس پایه و برانگیخته شود. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که کربن زیست‌توده میکربی کم می‌تواند به‌دلیل پاسخ ریزجانداران به تنش‌های محیطی یا ناهماهنگی در اکوسیستم باشد (۲۰ و ۲۹).

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج پژوهش حاضر، تاج پوشش گیاهی بنه و بادام کوهی در ذخیره‌گاه جنگلی منطقه تنگ خشک سبب تغییر در ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک شده است. چگالی ظاهری کم‌تر در خاک زیر تاج پوشش نسبت به خاک شاهد نشان‌دهنده تخلخل بیش‌تر و نقش ماده آلی در خاکدانه سازی است. وجود تاج پوشش گیاهی موجب افزایش معنی‌دار میزان رطوبت خاک در مقایسه با خاک شاهد شده است. همچنین میزان نیتروژن کل و کربن آلی در خاک متأثر از تاج پوشش نسبت به خاک شاهد به‌طور معنی‌داری بیش‌تر بود. میزان عناصر فسفر و آهن قابل دسترس در خاک زیر تاج پوشش به شکل معنی‌داری کم‌تر از خاک شاهد بود. مقادیر

تنفس برانگیخته، کربن زیست‌توده میکربی و پتانسیل نیتریفیکاسیون در خاک زیر تاج پوشش بنه نسبت به خاک زیر تاج پوشش بادام کوهی به‌طور معنی‌داری بیش‌تر بود. این یافته بیان‌گر اثر نوع پوشش گیاهی بر نوع بقایای آلی و نیز نوع و فعالیت جمعیت میکربی خاک است. به‌طور کلی می‌توان بیان نمود که تاج پوشش بنه و بادام کوهی در منطقه مورد بررسی باعث بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شده است. به‌نظر می‌رسد با توجه به افزایش ویژگی‌های بیولوژیک مانند تنفس پایه و برانگیخته در زیر تاج پوشش منطقه، این شاخص‌ها می‌توانند برای ارزیابی کیفیت خاک منطقه، مفید واقع شوند. درحالی‌که کاهش کربن زیست‌توده میکربی و پتانسیل نیتریفیکاسیون در زیر تاج پوشش نسبت به خاک شاهد (بیرون از تاج پوشش)، می‌تواند به‌دلیل تغییر نوع سوبسترا و یا تفاوت در تنوع جمعیت میکربی در خاک زیر تاج پوشش با بیرون از آن باشد و احتمالاً این ویژگی‌ها شاخص مناسبی برای بررسی کیفیت خاک در این منطقه نیستند.

تشکر و سپاسگزاری

این مقاله از طرح پژوهشی با کد مصوب ۰۰۰۴۳۱-۰۰۰۲۲-۰۳۵-۰۹-۰۹-۰۱ در مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور تهیه شده است.

تضاد منافع

نویسندگان مقاله اذعان دارند هیچ‌گونه تضاد منافعی با شخص، شرکت یا سازمانی برای این پژوهش ندارند.

منابع مورد استفاده

1. Alizadeh, T., Habashi, H., Matinizadeh, M., Sadeghi, S.M., 2021. Investigating the enzyme activities and physicochemical properties of soil in the habitat of *Prosopis cineraria* (L.) Druce and *P. juliflora* (SW.) DC. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 30(1): 57–69. (In Persian with English abstract)
2. 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)
3. Andrioli, R.J., Distel, R.A., Didone, N.G., 2010. Influence of cattle grazing on nitrogen cycling in soils beneath *Stipa tenuis*, native to central Argentina. *Journal of Arid Environment* 74: 419–422.
4. Anonymous (a). 2020. Forest, Range and Watershed Organization, Isfahan Province.
5. 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)
6. Aponte, C., Matias, L., Gonzales-Rodrigues, V., Castro, J., Gracia, L.V., Villar, R., Maranon, T., 2014. Soil nutrients and microbial biomass in three contrasting Mediterranean forests. *Plant and Soil* 380(1): 57–72.
7. Azizi, Z., Sadeghi, H., Hajimirzaei, A., 2017. Determining the status of tree and shrub type in Irano-Torani region (Case study: Beik Poolad Watershed). *Journal of Natural Ecosystems of Iran* 8(1): 1–8. (In Persian with English abstract)
8. Bazgir, M., Menati, T., Rostaminya, M., Mahdavi, A., 2020. Soil microbial biomass and activity of oak forest in three different regions in Ilam province. *Journal of Soil Biology* 8(2): 155–164. (In Persian with English abstract)
9. Bazgir, M., Noorozi, E., Maghsodi, Z., 2019. Soil physicochemical and biological properties of Christ's thorn (*Ziziphus spina-christi* L.) in the Izeh. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 27(2): 232–243. (In Persian with English abstract)
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. Blake, G.R., Hartge, K.H., 1982. Bulk density. In: Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods. ASA/SSSA, Madison, Wisconsin, USA, pp. 363–375.
12. Bremner, J.M., Mulvaney, C.S., 1982. Nitrogen-Total. In: Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties. ASA/SSSA, Madison, Wisconsin, USA, pp. 595–622.
13. Carnol, M., Bazgir, M., 2013. Nutrient return to the forest floor through litter and throughfall under 7 forest species after conversion from Norway spruce. *Forest Ecology and Management* 309*:* 66–75.
14. 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.
15. Desta, K.N., Lisanenwork, N. Mukhtar, M., 2018. Physico-chemical properties of soil under the canopies of *Faidherbia albida* (Delile) A. Chev and *Acacia tortilis* (Forssk.) Hayen in park land agroforestry system in Central rift Valley. *Ethiopia. Journal of Horticulture and Forestry* 10(1): 1–8.
16. Dong, J.Z., Dunstan, D.I., 2000. Molecular biology of somatic embryogenesis in conifers. In: Jain, S.M., Minocha, S.C. (Eds.), Molecular Biology of Woody Plants. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, pp. 51–87.
17. El-Keblawy, A., Abdelfatah, M.A., 2014. Impacts of native and invasive exotic *Prosopis* congeners on soil properties and associated flora in the arid United Arab Emirates. *Journal of Arid Environments* 100–101: 1–8.
18. Gee, G.W., Bauder, J.W., 1982. Particle size analysis. In: Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties. ASA/SSSA, Madison, Wisconsin, USA, pp. 404–408.
19. Gei, M.G., Powers, J.S., 2013. Do legumes and non-legumes tree species affect soil properties in unmanaged forests and plantations in Costa Rican dry forests? *Soil Biology and Biochemistry* 57(2): 264–272.
20. Habashi, H., 2015. Microbial respiration and microbial biomass C relationship with soil organic matter in different types of mixed beech forest. *Forest Research and Development* 1(2): 135–144. (In Persian with English abstract)
21. Haidari, M., Teimouri, M., Pourhashemi, M., Alizadeh, T., 2022. Study the changes in biological indicators in forest stands with different structure in Kurdistan province. *Ecology of Iranian Forests* 10 (20): 64–72. (In Persian with English abstract)
22. Hosseini, V., Akhavan, R., Tahmasebi, M., 2012. Effect of pistachio (*Pistacia atlantica*) canopy on the spatial distribution of soil chemical characteristics (Case study: Sarvabad, Kurdistan). *Iranian Journal of Forest* 4(1): 13–24. (In Persian with English abstract)
23. Karamian, M., Hosseini, V., 2016. Effect of trees canopy and topography on some chemical properties of forest soil (Case study: The forest of Ilam province, Dalab). *Journal of Natural Ecosystems of Iran* 7(1): 81–97. (In Persian with English abstract)
24. Knudsen, D., Peterson, G.A., Pratt, P.F., 1982. Lithium, sodium, and potassium. In: Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties. ASA/SSSA, Madison, Wisconsin, USA, pp. 225–246.
25. Kooch, Y., Hosseini, S.M., Mohammadi, J., Hojjati, S.M., 2012. Investigation the spatial structure of soil characteristics in a beech forest stand using geostatistical approach. *Journal of Water and Soil Science* 16(60): 239–251. (In Persian with English abstract)
26. Kooch, Y., Noghre, N., 2019. The effect of forest, rangeland and agriculture covers on soil microbial characters and enzyme activities. *Journal of Water and Soil Conservation* 26(3): 127–143. (In Persian with English abstract)
27. Lindsay, W.L., Norvell, W.A., 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of American Journal* 42: 421–428.
28. Margesin, R., Minerbi, S., Schinner, F., 2014. Long-term monitoring of soil microbiological activities in two forest sites in south Tyrol in the Italian Alps. *Microbes and Environments* 29(3): 277–285.
29. Mazaheri, M., Bazgir, M., 2019. The effect of climate and land uses on soil microbial biomass and activities. *Iranian Journal of Forest* 11(2): 179–194. (In Persian with English abstract)
30. Moradi, J., Mudrak, O., Kukla, J., Vicentini, F., Simackova, H., Frouz, J., 2017. Variations in soil chemical properties, microbial biomass, and faunal populations as related to plant functional traits, patch types, and successional stages at Sokolov post-mining site - A case study. *European Journal of Soil Biology* 83: 58–64.
31. MC Lean. O.M., 1982. Soil pH and lime requirement. In: Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties. ASA/SSSA, Madison, Wisconsin, USA, pp. 199–223.
32. Nelson, R.E., 1982. Carbonate and gypsum. In: Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties. ASA/SSSA, Madison, Wisconsin, USA, pp. 181–196.
33. Nelson, D.W., Sommers, L.E., 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties. ASA/SSSA, Madison, Wisconsin, USA, pp. 539–579.
34. Olsen, S.R., Sommers, L.E., 1982. Phosphorus. In: Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties. ASA/SSSA, Madison, Wisconsin, USA, pp. 403–430.
35. Owliaie, H.R., Adhami, E., Faraji, H., Fayyaz, P., 2011. Influence of oak (*Quercus brantii* Lindl.) on selected soil properties of oak forests in Yasouj region. *Journal of Water and Soil Science* 15(56): 193–207. (In Persian with English abstract)
36. Riahi, M., Raiesi, F., 2012. Potential soil N mineralization in rangeland ecosystems with long term free grazing and un-grazing regimes in different climates. *Journal of Water and Soil Science* 16(59): 183–198. (In Persian with English abstract)
37. Rostamizad, P., Hosseini, V., Mohammadi Samani, K., 2018. The effects of Persian turpentine (*Pistacia atlantica*

Desf) single-trees crown on the amount of nutrients in the forest soil (Sarvabad region in Kurdistan province). *Journal of Water and Soil Science* 22(2): 383–393. (In Persian with English abstract)
38. Schinner, F., Ohlinger, R., Margesin, R., 1996. Methods in Soil Biology. Springer Press, Berlin.
39. Sebastia, M.T., Marks, E., Poch, R.M., 2008. Soil carbon and plant diversity distribution at the farm level in the savannah region of Northern Togo (West Africa). *Biogeosciences Discussions* 208: 4107–4127.
40. Shukla, M. K., Lal, R., Ebinger, M., Meyer, C., 2006. Physical and chemical properties of soils under some pinonjuniper- oak canopies in a semi-arid ecosystem in New Mexico. *Journal of Arid Environments* 66(4): 673–685.
41. 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.
42. Teimouri, M., Khoshnevis, M., Matinizadeh, M., Rahman, A., 2015. Investigation and comparison of bacteria involved in nitrogen cycle in damaged and undamaged of different forest ecosystems in Caspian regions of Iran. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)* 28(3): 499–509. (In Persian with English abstract)
43. Thomas, Grant. W., 1982. Exchangeable cations. In: Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties. ASA/SSSA, Madison, Wisconsin, USA, pp. 159–164.