مجلهٔ جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران
سال هفدهم، شمارهٔ ۱، بهار ۱۴۰۴
ص ۲۹-۱۳
مقاله پژوهشی

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22034/ijf.2024.440945.1973
CC BY 4.0

تأثیر تاج‌پوشش درختان پستهٔ وحشی (*Pistacia atlantica* Desf.) و تنگرس (*Prunus lycioides* Spach.) بر ویژگی‌های خاک (مطالعهٔ موردی: جنگل کندرق خلخال، استان اردبیل)

یونس رستمی‌کیا [۱*]، محمد متینی‌زاده [۲]، الهام نوری [۳]، طاهره علیزاده [۳] و سهراب محترم عنبران [۴]

[۱] استادیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران
[۲] دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
[۳] پژوهشگر، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
[۴] کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۱۱)

چکیده

مقدمه: پایداری بوم‌سازگان جنگلی در مناطق خشک و نیمه‌خشک با پوشش گیاهی تنک، به کیفیت و حاصلخیزی خاک بستگی دارد. این تحقیق با هدف بررسی تأثیر تاج‌پوشش دو گونه پستهٔ وحشی (*Pistacia atlantica* Desf.) و تنگرس (*Prunus lycioides* Spach.) بر ویژگی‌های خاک در ذخیره‌گاه جنگلی کندرق خلخال انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: برای تعیین برخی مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی از خاک سطحی زیر تاج‌پوشش پستهٔ وحشی و تنگرس، ۴۵ نمونه خاک از عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متری در جهت شرقی زیر تاج هر دو گونه و بیرون تاج (شاهد) به‌طور تصادفی برداشت شد. سپس هر سه نمونهٔ خاک به‌خوبی با یکدیگر مخلوط شد و یک نمونهٔ ترکیبی (پنج نمونهٔ خاک برای هر گونه و شاهد) به‌دست آمد. سپس ویژگی‌های فیزیکی (چگالی ظاهری، درصد رطوبت، درصد شن، سیلت و رس)، شیمیایی (واکنش، هدایت الکتریکی، کربنات کلسیم، کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر، پتاسیم، فسفر، منیزیم، کلسیم، آهن، روی، مس و منگنز قابل دسترس) و زیستی خاک (تنفس پایه و برانگیخته، کربن زیست‌تودهٔ میکروبی و پتانسیل نیتریفیکاسیون) اندازه‌گیری و با استفاده از روش‌های تجزیهٔ واریانس و آنالیز مؤلفه‌های اصلی تحلیل شد.

یافته‌ها: مقادیر چگالی ظاهری در زیر تاج‌پوشش گونه‌های پستهٔ وحشی و تنگرس به‌طور معنی‌داری کمتر از شاهد (بیرون تاج) است. بیشترین مقدار رطوبت در زیر تاج پستهٔ وحشی با ۳۳/۴۴ درصد و کمترین آن با ۱۹/۸۶ درصد در تیمار شاهد مشاهده شد. بیشترین مقدار کربن آلی (۱/۳۱ درصد)، نیتروژن کل (۰/۲۹ درصد)، فسفر قابل دسترس (۶/۳۰ درصد) در زیر تاج‌پوشش درختان پستهٔ وحشی و بیشترین مقدار هدایت الکتریکی (۱/۱۱ دسی‌زیمنس بر متر)، پتاسیم قابل دسترس (۴۰۹/۵۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، کلسیم قابل دسترس (۷/۱۱ میلی اکی‌والان بر لیتر) در زیر تاج درختان تنگرس به دست آمد. درحالی که واکنش‌های منیزیم، روی و منگنز قابل دسترس بین تاج‌پوشش و شاهد تفاوت معنی‌داری نداشتند. بیشترین مقدار تنفس پایه (۳/۱۶ میلی‌گرم دی‌اکسید کربن در گرم خاک خشک در روز)، تنفس برانگیخته (۶۱/۶۵ میلی‌گرم دی‌اکسید کربن در ۱۰۰ گرم خاک خشک در ساعت)، کربن زیست‌تودهٔ میکروبی (۳/۳۷ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم خاک خشک) و پتانسیل نیتریفیکاسیون (۳۱۰/۷۸ میکروگرم نیتروژن در گرم خاک خشک در پنج ساعت) در خاک زیر تاج‌پوشش پستهٔ وحشی به دست آمد. تجزیه‌وتحلیل مؤلفه‌های اصلی نشان داد که مؤلفه‌های اول و دوم ۷۱/۱۳ درصد واریانس را در مقادیر کربن آلی، واکنش، تنفس برانگیخته و تنفس پایهٔ خاک درختان پستهٔ وحشی و بیش از ۷۶/۶۰ درصد واریانس را در مقادیر درصد سیلت، رطوبت، شوری، فسفر قابل دسترس، درصد کربن آلی، نیتروژن کل و تنفس برانگیختهٔ پایه‌های تنگرس توصیف می‌کند.

نتیجه‌گیری: با توجه به کارکردهای اکولوژیکی پستهٔ وحشی و تنگرس در ذخیره‌گاه جنگلی کندرق خلخال، حضور این درختان سبب بهبود مشخصه‌های خاک شده و از بین رفتن آنها سبب کاهش معنی‌دار کیفیت خصوصیات خاک می‌شود. بنابراین حفاظت این عرصه‌ها و جنگلکاری می‌تواند به افزایش کیفیت خاک در توده‌های تخریب‌شده کمک کند.

واژه‌های کلیدی: تاج‌پوشش، تنگرس، ذخیره‌گاه جنگلی، مشخصه‌های زیستی خاک.

[*] نویسندهٔ مسئول
شمارهٔ تماس: ۰۹۱۴۱۵۳۳۷۷۶
ایمیل: younesrostamikia@gmail.com

مقدمه

در بسیاری از زیست‌بوم‌های خشک و نیمه‌خشک از جمله جنگل‌های تنک در ناحیهٔ رویشی ایرانوتورانی، شرایط سخت اکولوژیکی مانند بارندگی اندک و نامنظم، دمای زیاد و کمبود عناصر مغذی خاک رشد رویشی، تعداد و تراکم درختان و درختچه‌ها را محدود می‌کند (Sardans & Penuelas, 2013; Attarod, 2022). از سوی دیگر، تاج‌پوشش تک‌درختان پراکنده در این مناطق، اثر مهمی در بهبود و حاصلخیزی لکه‌ای خاک دارد (Manning et al., 2006). تک‌درختانی که توانایی رشد و سازگاری در این شرایط نامطلوب را دارند، تأثیر اکولوژیکی و حفاظتی مهمی در این بوم‌سازگان دارند (Casals et al., 2014). تاج‌پوشش تک‌درختان پراکنده با ایجاد سایه از نفوذ نور به قسمت‌های پایین جلوگیری می‌کند و افزون‌بر کاهش تبخیر، تعرق و حفظ رطوبت سطحی خاک (Yang et al., 2022) سبب تسهیل بسیاری از فرایندهای شیمیایی و زیستی خاک جنگل می‌شود (El-keblawy & Abdulfatah, 2014). در این شرایط، ریزش و تجمع لاشبرگ در زیرآشکوب سبب می‌شود تا مواد غذایی قابل دسترس برای گیاهان زیرآشکوب افزایش یابد و در نتیجه شرایط لازم برای زنده‌مانی، استقرار و رشد رویشی نهال در زیراشکوب فراهم آید (Aponte et al., 2011). تجمع لاشبرگ در زیر تاج درختان افزون‌بر کاهش فشردگی، جلوگیری از برخورد قطره‌های باران با خاک و جلوگیری از شست‌وشوی مواد غذایی، سبب افزایش نفوذپذیری و ذخیرهٔ آب در لایهٔ سطحی خاک می‌شود (Ortiz et al., 2022). بنابراین دانستن وضعیت خاک در مناطق جنگلی و تعیین اثر فعالیت‌های انسانی ایجادشده بر ویژگی‌های کمی و کیفی خاک و نیز پیش‌بینی واکنش متقابل بین آنها بسیار مهم است (Ehrenfeld et al., 2005; Asadian et al., 2024). در این زمینه پژوهش‌هایی برای تعیین ویژگی‌های خاک تحت تأثیر درختان جنگلی صورت گرفته است.

بررسی اثر تاج درختان بنه (*Pistacia atlantica* Desf.) بر غلظت عناصر غذایی خاک جنگل در منطقهٔ سروآباد کردستان نشان داد که کربن آلی، نیتروژن و فسفر در داخل تاج در مقایسه با بیرون تاج به‌ترتیب ۵۱/۷، ۹۹/۲ و ۵۴/۹ درصد بیشتر است. درحالی‌که از نظر واکنش تفاوت معنی‌داری بین داخل و بیرون تاج مشاهده نشد (Rostamizad et al., 2018). بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تحت تأثیر ریزوسفر و تاج‌پوشش درختچه‌های بادام وحشی وامچک (*Amygdalus arabica* Olivier.) نشان داد که قابلیت هدایت الکتریکی خاک در زیر تاج‌پوشش درختچه‌ها بیشتر از انتهای تاج است و مقادیر کربن، نیتروژن و مواد مغذی تجمع‌یافته در زیر تاج‌پوشش درختچه‌ها، نقاط حاصلخیزی در پیرامون هر درختچه ایجاد کرده است (Rezaeinejad et al., 2020). بررسی برخی از ویژگی‌های خاک زیر تاج‌پوشش گونه‌های بنه (*P. atlantica*) و بادام کوهی (*Prunus orientalis* Mill. Koehne.) نشان داد که هدایت الکتریکی، کربن آلی و پتاسیم در دسترس و مقادیر تنفس پایه و برانگیختهٔ خاک در مقایسه با شاهد (بیرون تاج) بیشتر است. وجود تاج‌پوشش سبب کاهش معنی‌دار وزن ظاهری خاک در مقایسه با شاهد شد (Khanmohammadi & Matinizadeh, 2023). ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک داخل و بیرون تاج درختان بنه (*P. atlantica*) در مناطق جنگلی (فسا، کوار و فیروزآباد) زاگرس جنوبی نشان داد که رطوبت، کربن آلی، هدایت الکتریکی و نیتروژن کل زیر تاج درختان نسبت به بیرون تاج به‌ترتیب ۴۱، ۱۳، ۸۲ و ۷۵ درصد و ویژگی‌های زیستی خاک شامل تنفس برانگیخته، کربن زیست‌تودهٔ میکروبی و پتانسیل نیتریفیکاسیون به‌ترتیب ۸۶، ۶۱ و ۴۹ درصد افزایش داشت (Zarafshar et al., 2023).

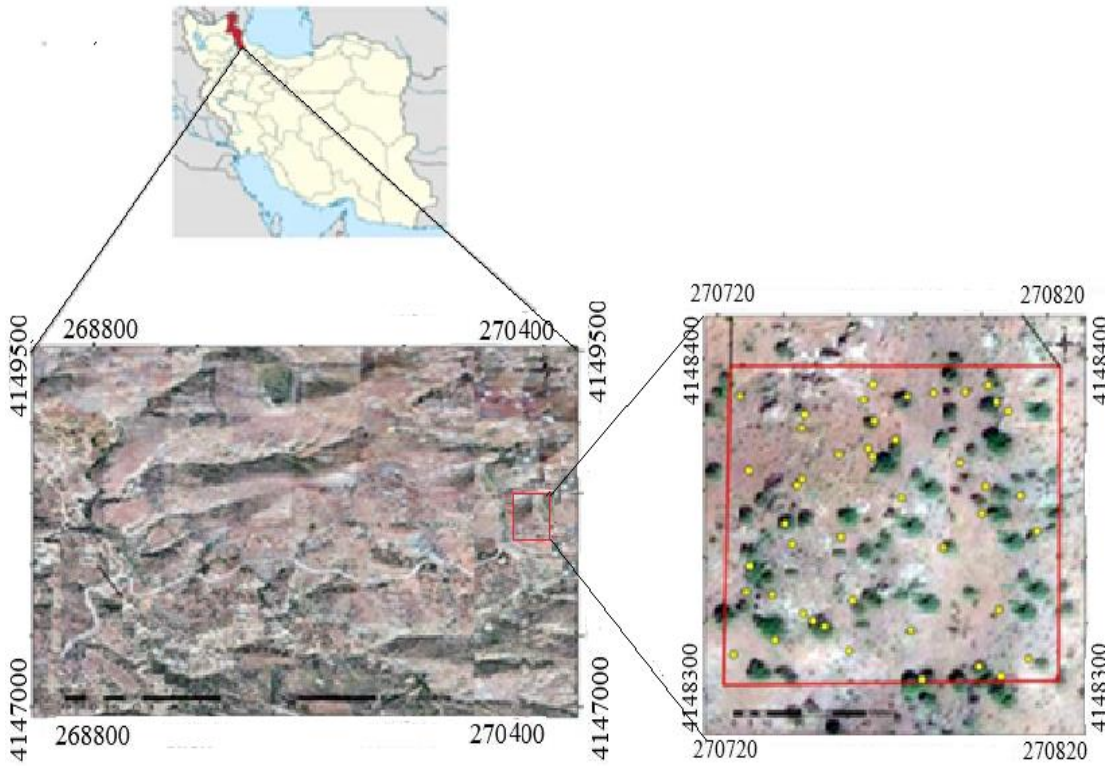
جنگل‌های کندرق خلخال از رویشگاه‌های شاخص پستهٔ وحشی و تنگرس در استان اردبیل محسوب می‌شود (Rostamikia et al., 2010) که در سال‌های

اخیر در اثر قطع و بهره‌برداری بی‌رویه، تغییر کاربری، چرای دام، آتش‌سوزی و توسعهٔ اراضی کشاورزی در معرض تهدید قرار گرفته است. پایداری درازمدت بوم‌سازگان جنگلی به حفظ کیفیت خاک بستگی زیادی دارد و درک بهتر تأثیر تاج‌پوشش درختان بر ویژگی‌های خاک (فیزیکی، شیمیایی و زیستی) می‌تواند به تصمیمات مدیریتی بهتر از جمله بازسازی رویشگاه‌های تخریب‌شده کمک کند (Alvarez et al., 2021). پژوهش پیش رو، با هدف مقایسهٔ اثر تاج‌پوشش تک‌درختان پراکنده بر مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک پستهٔ وحشی (*P. atlantica*)و تنگرس (*P. lycioides*) در منطقهٔ جنگلی کندرق شهرستان خلخال انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ پژوهش

این پژوهش در ذخیره‌گاه جنگلی کندرق، با مختصات "۱۴ ´۲۷ °۳۷ عرض شمالی و "۳۲ ´۲۴ °۴۸ طول شرقی در ۲۵ کیلومتری جنوب شهرستان خلخال انجام گرفت (شکل ۱). براساس آمار ۱۱ سالهٔ (۱۳۹۱ تا ۱۴۰۱) ایستگاه هواشناسی شهرستان خلخال، میانگین دمای بیشینه و کمینه و میانگین دمای سالانه به‌ترتیب ۱۶/۴، ۳/۴ و ۸/۹ درجهٔ سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالانه ۳۰۹/۶ میلی‌متر است. براساس فرمول آمبرژه اقلیم منطقه، نیمه‌خشک سرد است. دو گونهٔ غالب این منطقه پستهٔ وحشی و تنگرس هستند که همراه با ارس (*Juniperus excelsa* M. B.) کیکم (*Acer monspessulanum* L.) ، شیرخشت (*Cotoneaster integerrima* Medicus.) و دغدغک (*Colutea persica* L.) در محدودهٔ ارتفاعی ۱۴۵۰ تا ۱۶۳۰ متر از سطح دریا پراکنش دارند. میانگین تعداد در هکتار پستهٔ وحشی و تنگرس به‌ترتیب۹۲ و ۵۱ اصله و میانگین قطر تاج‌پوشش به‌ترتیب ۴/۲۲ و ۱/۶۳ متر است (جدول ۱).



شکل ۱- موقعیت ذخیره‌گاه جنگلی کندرق خلخال و قطعه نمونهٔ یک‌هکتاری تحت بررسی

Figure 1. Location of Kandaragh Khalkhal Forest Reserve, and The studied one-hectare plot

جدول ۱- مشخصه‌های توصیفی قطعه نمونهٔ یک‌هکتاری تحت بررسی
Table 1. Descriptive characteristics of one-hectare study plot

گونه	تعداد در هکتار N/H	میانگین قطر برابرسینه DAIMETER AT BREAST HEIGHT (CM)	میانگین ارتفاع کل AVERAGE TOTAL HEIGHT (M)	قطر متوسط تاج (متر) AVERAGE CROWN DIAMETER (M)
پستهٔ وحشی *P.atlantica*	92	12.45	4.25	4.22
تنگرس *P. lycioides*	51	3.11	2.21	1.63

شیوهٔ اجرای پژوهش

برای اجرای پژوهش، ابتدا با جنگل‌گردشی و بهره‌گیری از تجارب کارشناسی، قطعه نمونهٔ یک هکتاری (۱۰۰× ۱۰۰ متر) با گونه‌های غالب پستهٔ وحشی و تنگرس که نمایندهٔ مناسبی از پراکنش این گونه‌ها در منطقه بود انتخاب شد. قطعه نمونهٔ انتخابی دارای جهت جنوبی با شیب متوسط ۱۵ درصد بود. به‌منظور نمونه‌برداری خاک در زیر تاج‌پوشش هر یک از گونه‌ها (در فاصلهٔ بین تنه تا لبهٔ انتهایی تاج) در جهت شرق درخت، ۱۵ نمونهٔ خاک به‌طور تصادفی از لایهٔ صفر تا ۱۵ سانتی‌متری با متوسط فاصلهٔ ۱۵ متر از یکدیگر برداشت شدند. سپس هر سه نمونهٔ خاک به‌خوبی با یکدیگر مخلوط شدند و یک نمونهٔ ترکیبی (پنج نمونهٔ خاک برای هر گونه) به دست آمد. در بیرون از تاج (بدون پوشش) نیز ۱۵ نمونهٔ خاک مشابه نمونه‌برداری زیر تاج درختان (پنج نمونهٔ خاک شاهد) برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک برداشت شد. پس از نمونه‌برداری، نمونه‌های خاک از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شد. بخشی از نمونه‌ها برای اندازه‌گیری ویژگی‌های زیستی تا زمان اجرای آزمایش، در شرایط سرد (دمای ۴ درجهٔ سانتی‌گراد) نگهداری شدند. بقیهٔ نمونه‌ها پس از هواخشک شدن، برای اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی به آزمایشگاه انتقال داده شدند. آزمایش‌های فیزیکی خاک شامل تعیین درصد رطوبت در زمان نمونه‌برداری، چگالی ظاهری به روش کلوخه و بافت خاک به روش هیدرومتری اجرا شد (Gee et al., 1982).

آزمایش‌های شیمیایی شامل واکنش با دستگاه pH متر (نسبت ۱ به ۲/۵) و هدایت الکتریکی (EC) عصارهٔ اشباع خاک با دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی صورت گرفت. کربن آلی خاک به روش والکی- بلک (Ghazanshahi, 2006)، نیتروژن کل به روش کجلدال، فسفر قابل جذب به روش اولسن (Olsen & Sommers, 1982) با دستگاه اسپکتروفتومتری، پتاسیم قابل دسترس با روش تهیهٔ خاکستر و عصاره‌گیری با اسید نیتریک غلیظ و با فلیم‌فتومتر (Isaac & Johnson, 1975)، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی با اسید و تیتراسیون و کلسیم، منیزیم، آهن، روی، مس و منگنز قابل دسترس به‌روش استات آمونیوم با دستگاه جذب اتمی (Emami, 1996) اندازه‌گیری شدند. ویژگی‌های زیستی شامل تنفس پایه با استفاده از ظروف دربسته و اندازه‌گیری دی‌اکسید کربن آزادشده از تنفس ریزجانداران برحسب میلی‌گرم دی‌اکسید کربن آزادشده از هر گرم خاک خشک در ۲۴ ساعت محاسبه شد (Schinner et al., 1996). برای تعیین مقدار تنفس برانگیختهٔ خاک، ابتدا به نمونه‌ها ۰/۰۹ گرم گلوکز اضافه شد. مقدار دی‌اکسید کربن تولیدی بعد از چهار ساعت اندازه‌گیری شده و تنفس برانگیخته برحسب میلی‌گرم دی‌اکسید کربن در ۱۰۰ گرم خاک خشک در ساعت تعیین شد (Schinner et al., 1996). برای اندازه‌گیری زیست‌تودهٔ میکروبی خاک با استفاده از روش تدخین- استخراج ابتدا نمونه‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت با کلروفرم تیمار شدند و مقدار کربن آلی پس از استخراج با سولفات پتاسیم به روش والکی- بلک برحسب میلی‌گرم زیست‌تودهٔ کربن در ۱۰۰ گرم خاک خشک (Sparling & West, 1988) و پتانسیل نیتریفیکاسیون خاک (MP) برحسب میکروگرم نیتروژن در ۱ گرم خاک خشک در پنج ساعت اندازه‌گیری شد (Berg & Rosswall, 1985).

روش تحلیل

بعد از برداشت داده‌ها، نرمال بودن داده‌ها براساس آزمون شاپیرو- ویلک بررسی شد و همگنی واریانس داده‌ها از طریق آزمون لون تعیین شد. داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی تجزیه‌وتحلیل شدند. معنی‌داری اثر تیمارها با آنالیز واریانس بررسی شد و مقایسهٔ میانگین داده‌ها با آزمون توکی (Tukey-HSD) در سطح آماری ۵ و ۱ درصد با نرم‌افزارSAS انجام گرفت. برای تعیین میزان همبستگی بین مشخصه‌های تحت مطالعهٔ خاک در زمینهٔ خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک از آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) استفاده شد.

نتایج

ویژگی‌های فیزیکی خاک

نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تاج‌پوشش پستهٔ وحشی و تنگرس بر درصد رطوبت و رس خاک در سطح احتمال۱ درصد و بر چگالی ظاهری، درصد سیلت و شن در سطح خطای کمتر از ۵ درصد معنی‌دار است (جدول ۲). نتایج نشان داد که میانگین رطوبت موجود در تیمار شاهد (بیرون تاج) ۱۹/۸۸ درصد و میانگین رطوبت در زیر تاج‌پوشش پستهٔ وحشی و تنگرس به‌ترتیب ۳۳/۴۴ و ۲۷/۲۱ درصد است. مقدار چگالی ظاهری خاک در نمونه‌های برداشت‌شده از زیر تاج پستهٔ وحشی و تنگرس به‌ترتیب (۱/۳۵ و ۱/۴۳ سانتی‌متر مکعب) و در شاهد (بیرون تاج) ۱/۶۵ سانتی‌متر مکعب به دست آمد. براساس نتایج، بافت خاک شاهد، پستهٔ وحشی و تنگرس به‌ترتیب سیلت لومی، لوم و سیلت لومی است و بیشترین درصد رس و سیلت در خاک زیر تاج درختان پستهٔ وحشی به دست آمد (جدول ۳).

جدول ۲- تجزیهٔ واریانس (میانگین مربعات) ویژگی‌های فیزیکی خاک‌های تحت بررسی

Table 2. Analysis of variance (mean squares) for the physical characteristics of the studied soils

شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	چگالی ظاهری Bulk density	درصد رطوبت وزنی Moisture content	درجهٔ آزادی df	منبع تغییرات Sources of variation
63.11*	111.94*	81.65**	0.078*	109.56**	2	تیمار Treatment
5.23	7.11	6.12	0.004	0.123	12	خطا Error
9.93	11.05	9.09	11.14	12.34	-	ضریب تغییرات Coefficient of variation

**، * و ns به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ معنی‌داری در سطح خطای کمتر از ۱ و ۵ درصد و معنی‌دار نبودن است.

**, * and ns significant at 1 and 5% respectively, ns: non-significant.

جدول ۳- میانگین ± اشتباه معیار ویژگی‌های فیزیکی اندازه‌گیری‌شده در خاک شاهد (خارج تاج‌پوشش) و زیر تاج‌پوشش درختان پستهٔ وحشی و تنگرس

Table 3. Mean ± standard error of physical properties measured in control soil (outside the canopy) and under the canopies of wild pistachio and mountain almond trees

بافت Texture	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	چگالی ظاهری Bulk density (g/cm^3)	درصد رطوبت وزنی moisture content (%)	تیمار Treatment
Silt- loam	53.60±6.09 ^{c}	35.75±3.33 ^{b}	10.65±2.04 ^{a}	1.65±0.08^{a}	19.88±0.15 ^{c}	شاهد Control
Loam	42.47±6.52 ^{b}	40.22±6.43 ^{b}	17.31±3.10 ^{b}	1.35±0.14^{c}	33.44±0.11 ^{a}	پستهٔ وحشی *P.atlantica*
Silt- loam	51.64±7.11 ^{a}	36.36±5.15 ^{a}	12.10±2.13 ^{ab}	1.43±0.13^{b}	27.21±0.22 ^{b}	تنگرس *P. lycioides*

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک، در سطح احتمال خطای ۵ درصد تفاوت معنی‌دار آماری ندارند.

In each column, means that share the same letter are not significantly different at the 5% probability level.

ویژگی‌های شیمیایی خاک

نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تاج‌پوشش پستهٔ وحشی و تنگرس بر ویژگی‌های اندازه‌گیری‌شدهٔ شیمیایی به غیر از اسیدیته، منیزیم، روی و منگنز در سطح خطای کمتر از ۱ و ۵ درصد معنی‌دار است (جدول ۴).

فسفر قابل دسترس، کلسیم، آهن و مس در نمونه‌های خاک زیر تاج‌پوشش درختان بنه و تنگرس به‌طور معنی‌داری بیشتر از خاک‌های برداشت‌شده از بیرون تاج (شاهد) است. ولی از نظر واکنش منیزیم، روی و منگنز اختلاف معنی‌داری بین خاک شاهد و خاک‌های زیر تاج‌پوشش مشاهده نشد. بیشترین مقدار کربن آلی (۱/۳۱ درصد)، نیتروژن کل (۰/۲۴ درصد)، فسفر قابل دسترس (۶/۳۰ درصد)، منیزیم (۲/۲۴ میلی اکی‌والان بر لیتر)، آهن (۱/۴۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، روی (۰/۹۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و منگنز (۷/۱۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در زیر تاج‌پوشش درختان پستهٔ وحشی و بیشترین مقدار هدایت الکتریکی (۱/۱۱ دسی‌زیمنس بر متر)، پتاسیم قابل دسترس (۴۰۹/۵۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، کلسیم (۷/۱۱ میلی اکی‌والان بر لیتر) در زیر تاج درختان تنگرس به دست آمد (جدول ۵).

ویژگی‌های زیستی خاک

نتایج تجزیهٔ واریانس نشان داد که اثر تیمار خاک شاهد (بیرون تاج) و خاک نمونه‌برداری‌شده از زیر تاج‌پوشش پستهٔ وحشی و تنگرس بر ویژگی‌های زیستی اندازه‌گیری‌شده در سطح خطای کمتر از ۱ و ۵ درصد معنی‌دار است (جدول ۶).

بیشترین مقدار تنفس پایه با ۳/۱۶ میلی‌گرم دی‌اکسید کربن در گرم خاک خشک در روز، در خاک زیر تاج‌پوشش پستهٔ وحشی به دست آمد که به‌طور معنی‌داری به‌ترتیب از تنفس پایهٔ خاک تنگرس (۲/۳۲ میلی‌گرم دی‌اکسید کربن در گرم خاک خشک در روز) و شاهد (۲/۰۸ میلی‌گرم دی‌اکسید کربن در گرم خاک خشک در روز) بیشتر است (شکل ۲). مقدار تنفس برانگیخته در زیر خاک پستهٔ وحشی و تنگرس به‌ترتیب ۶۱/۶۵ و ۴۵/۷۸ میلی‌گرم دی‌اکسید کربن در ۱۰۰ گرم خاک خشک در ساعت به دست آمد که از شاهد (۲۶/۸۶ میلی‌گرم دی‌اکسید کربن در ۱۰۰ گرم خاک خشک در ساعت) بیشتر است (شکل ۳).

مقدار زیست‌تودهٔ میکروبی کربن در زیر تاج پستهٔ وحشی و تنگرس به‌ترتیب با ۳/۳۷ و ۳/۱۴ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم خاک خشک مشاهده شد. تفاوت معنی از این نظر بین پستهٔ وحشی و تنگرس مشاهده نشد، ولی این مقادیر از شاهد (۱/۹۱ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم خاک خشک) بیشتر بودند (شکل ۴). بیشترین مقدار پتانسیل نیتریفیکاسیون در زیر تاج بنه و تنگرس به‌ترتیب با ۳۱۰/۷۸ و ۲۲۰/۸۰ میکروگرم نیتروژن در ۱ گرم خاک خشک در پنج ساعت به دست آمد که در مقایسه با شاهد (۱۷۸/۶۴ میکروگرم نیتروژن در ۱۰۰ گرم خاک خشک در پنج ساعت) بیشتر بود (شکل ۵).

جدول ۴- تجزیهٔ واریانس ویژگی‌های شیمیایی خاک‌های تحت بررسی

Table 4. Analysis of variance for the chemical characteristics of the studied soils

منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	هدایت الکتریکی Ec	واکنش pH	کربنات کلسیم Calcium carbonate	کربن آلی Orgaic carbon	نیتروژن کل Total nitrogen	فسفر Phophorus	پتاسیم Potassium	منیزیم Magnesium	کلسیم Calcium	آهن Iron	روی Zinc	مس Cupper	منگنز Manganese
		میانگین مربعات mean squares												
تیمار Treatment	2	0.11*	0.033ns	47.55**	2.11*	0.048**	14.23*	2347.89**	1.809ns	60.55*	0.39*	0.059ns	0.089*	20.28ns
خطا Error	12	0.019	0.011	32.11	0.055	0.004	10.09	5507.13	0.333	4.34	0.011	4.52	0.002	4.21
ضریب تغییرات Coefficient of variation	-	10.13	16.50	12.34	11.14	9.09	11.20	10.07	8.43	8.72	10.14	12.20	10.04	13.12

**، * و ns به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ معنی‌داری در سطح خطای کمتر از یک و پنج درصد و معنی‌دار نبودن است.

**, * and ns significant at 1 and 5% respectively, ns: non-significant.

جدول ۵- میانگین ± اشتباه معیار ویژگی‌های شیمیایی اندازه‌گیری‌شده در خاک شاهد (خارج تاج‌پوشش) و زیر تاج‌پوشش درختان پستهٔ وحشی و تنگرس

Table 5. Mean ± standard error of chemical properties measured in control soil (outside the canopy) and under the canopies of wild pistachio and mountain almond trees

تیمار Treatment	هدایت الکتریکی Ec (dsm^{-1})	واکنش pH	کربنات کلسیم معادل Calcium Carbonate (%)	کربن آلی Orgaic carbon (%)	نیتروژن کل Total nitrogen (%)	فسفر قابل دسترس Phophorus (mg kg^{-1})	پتاسیم قابل دسترس Potassium (mg kg^{-1})	منیزیم Magnesium	کلسیم Calcium	آهن Iron	روی Zinc	مس Cupper	منگنز Manganese
شاهد Control	0.78±0.06[c]	7.80±0.98[a]	11.21±2.06[a]	0.89±0.27[c]	0.14±0.05[c]	3.95±0.54[c]	211.40±22.25[c]	1.809[ns]	60.55*	0.39*	0.059[ns]	0.089*	20.28[ns]
پستهٔ وحشی *P.atlantica*	1.03±2.90[ab]	7.51±0.88[a]	5.89±2.23[c]	1.31±0.18[a]	0.24±0.09[a]	6.30±0.24[a]	309.19±28.18[b]	0.333	4.34	0.011	4.52	0.002	4.21
تنگرس *P. lycioides*	1.11±0.77[a]	7.74±0.57[a]	8.26±0.28[b]	1.26±0.14[b]	0.19±0.06[b]	5.26±0.82[b]	409.55±31.11[a]	8.43	8.72	10.14	12.20	10.04	13.12

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک، در سطح احتمال خطای پنج درصد تفاوت معنی‌دار آماری ندارند.

In each column, means that share the same letter are not significantly different at the 5% probability level

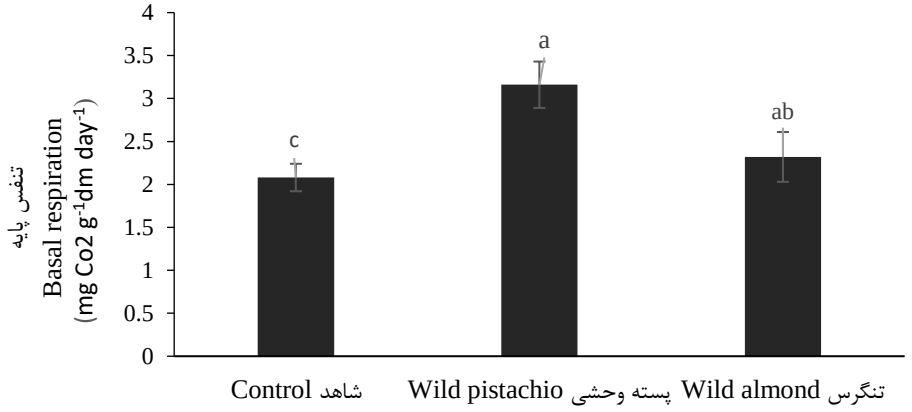
جدول ۶- تجزیهٔ واریانس ویژگی‌های زیستی خاک‌های تحت بررسی

Table 5. Analysis of variance for the biological characteristics of the studied soils

منبع تغییرات Sources of variation	درجهٔ آزادی df	میانگین مربعات mean squares: تنفس پایه Basal respiration	تنفس برانگیخته Substrate-induced respiration	کربن زیست‌تودهٔ میکروبی Microbial biomass carbon	پتانسیل نیتریفیکاسیون Nitrification potential
تیمار Treatment	2	0.11**	105.34*	5.41**	1280.42**
خطا Error	12	0.122	3.56	0.111	1589.65
ضریب تغییرات Coefficient of variation	-	11.11	9.70	10.71	14.44

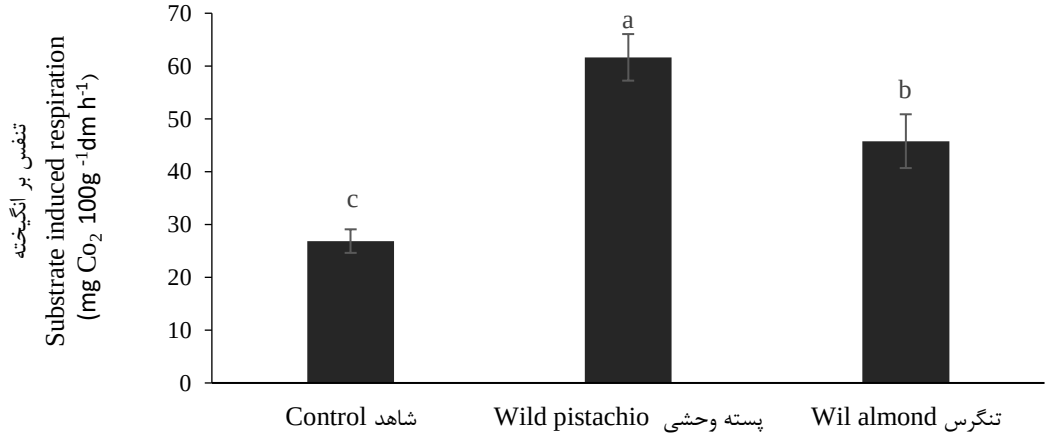
** و * به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ معنی‌داری در سطح خطای کمتر از ۱ و ۵ درصد است.

** and * significant at 1 and 5% respectively.



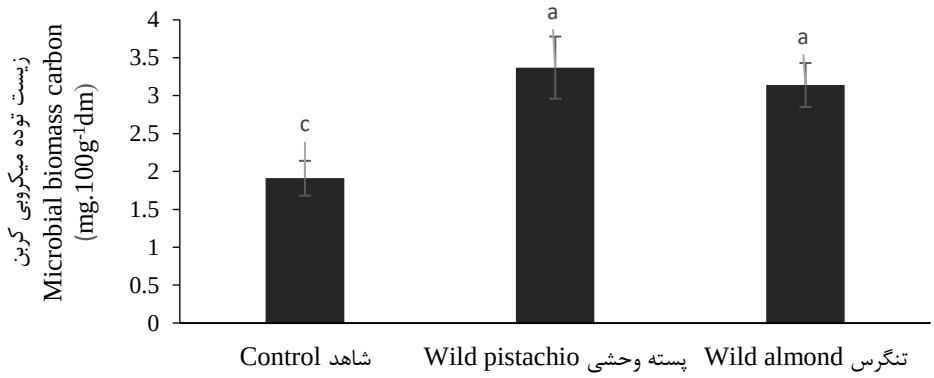
شکل ۲- میانگین± اشتباه معیار مقادیر تنفس پایهٔ خاک در زیر تاج‌پوشش پستهٔ وحشی، تنگرس و شاهد. میانگین‌های دارای حروف یکسان، اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری در سطح احتمال خطای ۵ درصد با یکدیگر ندارند.

Figure 2. Mean ± standard error of basal respiration under the canopy of wild pistachio, wild almond and control. Means sharing the same letter are not significantly different at the 5% probability level.



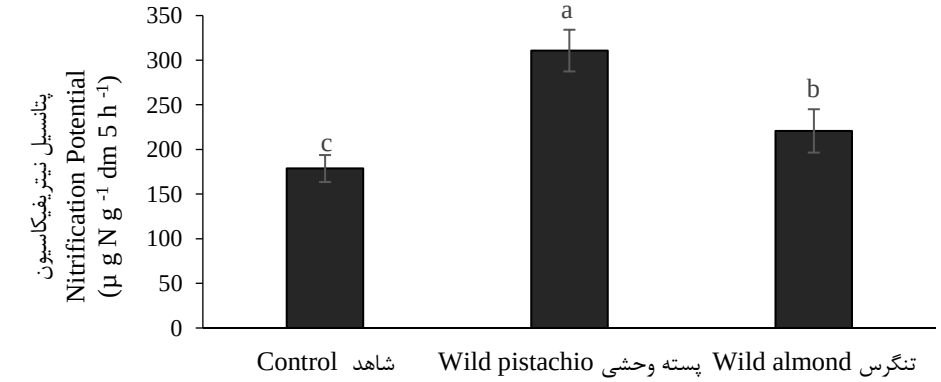
شکل ۳- میانگین± اشتباه معیار تنفس برانگیخته خاک در زیر تاج‌پوشش پستهٔ وحشی، تنگرس و شاهد. میانگین‌های دارای حروف یکسان، اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری در سطح احتمال خطای ۵ درصد با یکدیگر ندارند.

Figure 3. Mean ± standard error of substrate-induced respiration under the canopy of wild pistachio, wild almond and control. Means sharing the same letter are not significantly different at the 5% probability level.



شکل ۴- میانگین± اشتباه معیار مقادیر تنفس میکروبی کربن خاک در زیر تاج‌پوشش پستهٔ وحشی، تنگرس و شاهد. میانگین‌های دارای حروف یکسان، اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری در سطح احتمال خطای ۵ درصد با یکدیگر ندارند.

Figure 4. Mean ± standard error of microbial biomass carbon under the canopy of wild pistachio, wild almond and control. Means sharing the same letter are not significantly different at the 5% probability level.



شکل ۵- میانگین± اشتباه معیار مقادیر پتانسیل نیتریفیکاسیون خاک در زیر تاج‌پوشش پستهٔ وحشی، تنگرس و شاهد. میانگین‌های دارای حروف یکسان، اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری در سطح احتمال خطای ۵ درصد با یکدیگر ندارند.

Figure 5. Mean ± standard error of nitrification potential under the canopy of wild pistachio, wild almond and control. Means sharing the same letter are not significantly different at the 5% probability level.

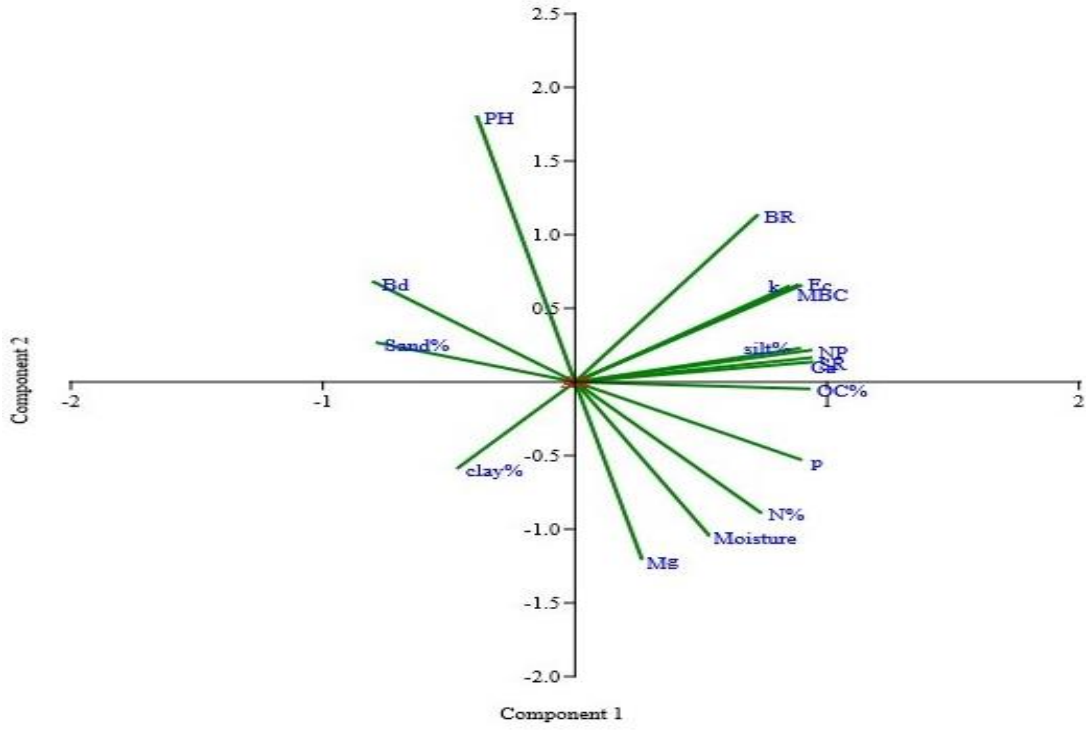
تجزیه‌وتحلیل مؤلفه‌های اصلی (P.C.A)

تجزیه‌وتحلیل مؤلفه‌های اصلی ویژگی‌های خاک در قطعات نمونهٔ برداشت‌شدهٔ پستهٔ وحشی نشان داد که ۴۴/۰۲ درصد واریانس تغییرات مربوط به محور اول و ۲۷/۱۱ درصد واریانس مربوط به محور دوم است. نتایج نشان داد که تنفس پایه، پتاسیم، شوری خاک، درصد سیلت، زیست‌تودهٔ میکروبی کربن و پتانسیل نیتریفیکاسیون با جهت مثبت محور اول و درصد شن، واکنش، وزن مخصوص ظاهری و درصد شن با جهت منفی محور اول بیشترین همبستگی را دارند (جدول ۷ و شکل ۶). تجزیه‌وتحلیل مؤلفه‌های اصلی ویژگی‌های خاک در قطعات نمونهٔ برداشت‌شدهٔ تنگرس نشان داد که ۴۸/۸۸ درصد واریانس تغییرات مربوط به محور اول و ۲۷/۷۲ درصد واریانس مربوط به محور دوم است. نتایج نشان داد که درصد سیلت، رطوبت، شوری، فسفر قابل جذب، درصد کربن آلی، درصد نیتروژن و تنفس برانگیخته در جهت مثبت محور اول و درصد شن، درصد رس، واکنش و وزن مخصوص‌ظاهری با جهت منفی محور اول بیشترین همبستگی را دارند (جدول۷ و شکل ۷).

جدول ۷- ضرایب مؤلفه‌های اصلی و مقدار ویژهٔ مشخصه‌های خاک در قطعات نمونهٔ پستهٔ وحشی و تنگرس

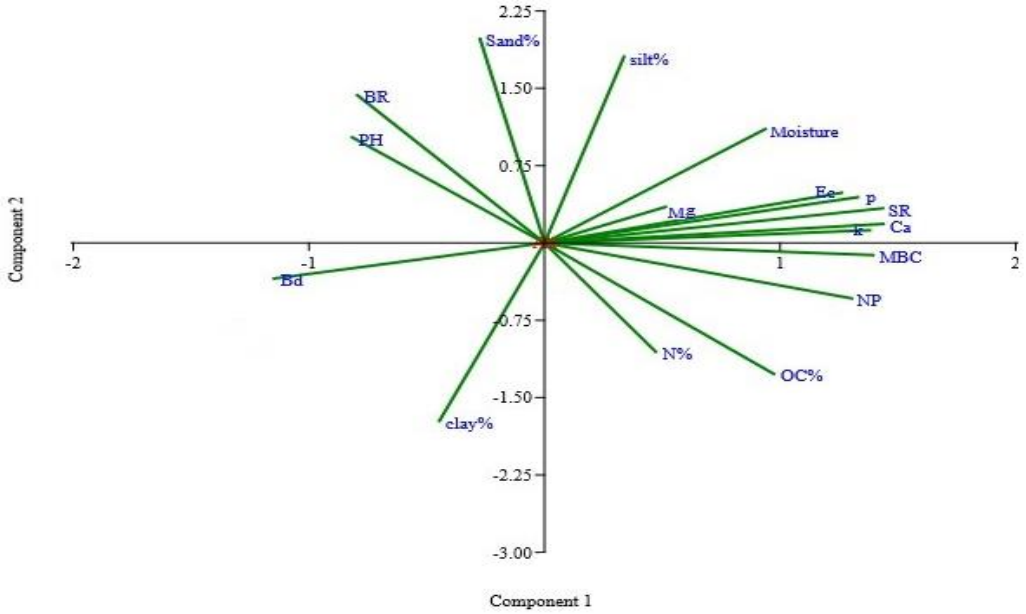
Table 7. Principal component coefficients and eigenvalues of soil characteristics in wild pistachio and wild almond sample plots

تنگرس *P.lyciodes*		پستهٔ وحشی *P.atlantica*			
محور دوم PC2	محور اول PC1	محور دوم PC2	محور اول PC1	واحد Unit	متغیر Variable
0.113	0.294	0.202	0.272	ds/m	Ec
0.231	-0.191	0.558	-0.121	-	pH
-0.080	-0.268	0.210	-0.247	g/cm^3	Bd
0.285	0.291	-0.322	0.164	%	Moisture
0.462	-0.064	0.082	-0.243	%	Sand
0.421	0.079	0.070	0.276	%	Silt
-0.403	-0.104	-0.181	-0.144	%	Clay
-0.294	0.227	-0.014	0.287	%	OC
-0.246	0.110	-0.275	0.228	%	N
0.103	0.310	-0.163	0.277	mg/kg	P
0.029	0.342	0.201	0.262	mg/kg	K
0.043	0.325	0.051	0.278	mg/kg	Ca
0.081	0.119	-0.332	0.082	mg/kg	Mg
0.334	-0.185	0.350	0.224	mg. Co_2 g^{-1} of dry day^{-1}	BR
0.078	0.335	0.042	0.291	mg. co_2 100 g^{-1} dry soil h^{-1}	IR
-0.027	0.325	0.204	0.273	mg. 100 g^{-1} dry soil	MBC
-0.125	0.304	0.067	0.290	µ N g^{-1} dry soil $5h^{-1}$	NP
2.16	4.90	1.98	3.19	-	Eigen value
27.72	48.88	27.11	44.02	%	Variance



شکل ۶- نمودار رسته‌بندی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و زیستی خاک در قطعات نمونهٔ پستهٔ وحشی

Figure 6. Ordination of physical, chemical and biological properties of soil in wild pistachio sample plots



شکل ۷- نمودار رسته‌بندی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک در قطعات نمونهٔ تنگرس

Figure 7. Ordination of physical, chemical and biological properties of soil in wild almond sample plots

بحث

بررسی مشخصه‌های خصوصیات فیزیکی خاک نشان داد که چگالی ظاهری در زیر تاج‌پوشش هر دو گونه پستهٔ وحشی و تنگرس به‌طور معنی‌داری کمتر از شاهد (بیرون تاج) بود. دلیل این موضوع ممکن است تجمع لاشبرگ و بقایای گیاهی در زیر تاج‌پوشش درختان باشد که سبب افزایش خلل و فرج ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند تخلخل و بهبود ساختمان خاک می‌شود (EL-Keblawy & Abdulfatah, 2014).

براساس یافته‌های این پژوهش، مقدار رطوبت در زیر تاج پستهٔ وحشی و تنگرس به‌ترتیب ۶۸/۲ و ۳۶/۹ درصد در مقایسه با شاهد بیشتر بود. محققان زیادی، تأثیر تاج‌پوشش در افزایش رطوبت خاک زیر تاج درختان را گزارش کرده‌اند که با یافته‌های ما مطابقت دارد (Bazgir et al., 2020; Alizade et al., 2022; Khanmohammadi & Matinizadeh, 2023; Zarafshar et al., 2023). تاج‌پوشش مانع تابش مستقیم نور خورشید به سطح خاک و در نتیجه کاهش درجهٔ حرارت و افزایش رطوبت آن می‌شود (Yang et al., 2022). درختان جنگلی در هنگام بارندگی از طریق جریان ساقاب و تاج بارش، موجب افزایش رطوبت در زیر درختان می‌شوند (Alvarez et al., 2021).

مشخصه‌های خاک‌های جنگلی از نظر مکانی از درختی به درخت دیگر متغیر است. این تغییرات خصوصیات خاک، تحت تأثیر پراکنش ریزدانه‌های مختلف خاک در زیر هر درخت به‌عنوان کانون اصلی تغییرات قرار می‌گیرد (De Boever et al., 2015). در خصوص تأثیر تاج درخت بر بافت خاک تشکیل‌دهنده در زیر و بیرون تاج درختان مشخص شد که درصد شن در زیر تاج‌پوشش تنگرس و درصد رس در زیر تاج پستهٔ وحشی به‌طور معنی‌داری بیشتر است. به‌دلیل شیبدار بودن منطقهٔ پژوهش و وجود رواناب، فرسایش آبی ذرات شن در زیر تاج درختان تجمع می‌یابد که موجب افزایش درصد شن در زیر تاج درختان می‌شود. همسو با یافته‌های این پژوهش، رستمی زاد و همکاران (۲۰۱۸) نیز نشان دادند که درصد رس در خاک زیر تاج درختان بنه نسبت به خارج آن از ۳۷ درصد به ۴۵ درصد افزایش یافت (Rostamizad et al., 2018). بررسی تأثیر تاج‌پوشش درختان بادام وحشی (*A. arabica*) بر بافت خاک نیز نشان داد که درصد شن در زیر تاج بادام وحشی بیشتر است (Rezaeinejad et al., 2020). در

این زمینه می‌توان اظهار داشت که پایه‌های پستهٔ وحشی برای رشد، خاک حاوی رس بیشتر را ترجیح می‌دهند، درحالی که جنس بادام کوهی در خاک‌های شنی یا رسِ کمتر بهتر استقرار پیدا می‌کند (Aponte et al., 2011; Khanmohammadi & Matinizade, 2023).

مقایسهٔ مقدار هدایت الکتریکی در زیر تاج‌پوشش و شاهد نشان داد که هدایت الکتریکی در خاک زیر تاج‌پوشش پستهٔ وحشی و تنگرس به‌ترتیب ۴۲/۳ و ۳۶/۸ درصد بیشتر از بیرون تاج است. در این زمینه می‌توان اظهار داشت که وجود رطوبت و تجمع لاشبرگ در ناحیهٔ زیر تاج درختان سبب تسریع در تجزیهٔ لاشبرگ و آزاد شدن یون‌های مثبت و در نتیجه، افزایش هدایت الکتریکی خاک می‌شود (Stefanowicz et al., 2021). افزایش چشمگیر هدایت الکتریکی در زیر تاج درختان پستهٔ وحشی در مقایسه با تنگرس، ممکن است به‌دلیل تفاوت در ترکیبات شیمیایی موجود در لاشبرگ بنه به‌ویژه بیشتر بودن غلظت کلسیم در برگ‌های این گونه توجیه‌پذیر باشد (Surucu et al., 2020).

در پژوهش حاضر، اثرات تاج تک‌درختان پستهٔ وحشی و تنگرس با وجود تفاوت بسیار ناچیز اختلاف معنی‌داری در میزان اسیدیتهٔ زیر و بیرون تاج مشاهده نشد. مطابق یافته‌های ما بررسی تاثیر تاج درختان بنه در منطقهٔ سروآباد کردستان نشان داد از نظر اسیدیته خاک تفاوت معنی‌داری بین داخل و بیرون تاج مشاهده نشد (Rostsmizad et al., 2018). برخلاف یافته‌های پژوهش حاضر، اسیدیتهٔ خاک در زیر تاج درختچه‌های بادام وحشی وامچک (*Amygdalus arabica*) در مقایسه با بیرون تاج اختلاف معنی‌داری نشان داد (Rezaeinejad et al., 2020).

نتایج نشان داد که درصد کربنات کلسیم در زیر تاج هر دو گونه، بسیار کمتر از بیرون تاج است و همبستگی منفی و معنی‌داری با درصد کربن آلی، تنفس پایه و کربن زیست‌تودهٔ میکروبی دارد. می‌توان گفت فراهم بودن رطوبت بیشتر در خاک زیر تاج و دی‌اکسید کربن ناشی از فعالیت‌های زیستی سبب شده است که کربنات کلسیم حل شود و در سطح خاک کاهش یابد.

کربن آلی خاک از شاخص‌ترین عوامل تأثیرگذار بر کیفیت خاک است. یافته‌های پژوهش نشان داد که میانگین کربن آلی در زیر تاج پستهٔ وحشی و تنگرس در مقایسه با شاهد بیشتر است. محققان زیادی تأثیر مثبت تاج‌پوشش درختان را در افزایش کربن آلی گزارش کرده و دلایل آن را ارتباط بین مقدار تجزیهٔ لاشبرگ و فعالیت ریشه‌ها در پیرامون درخت ذکر کرده‌اند که با یافته‌های ما مطابقت دارد (Tiruneh Asaye, 2017; Rostamizad et al., 2018; Khanmohammadi & Matinizadeh, 2023; Zarafshar et al., 2023). پژوهش‌های قبلی نیز نشان داده است که مقدار کربن آلی خاک با مقدار مادهٔ آلی خاک ارتباط دارد (Gallardo, 2003). می‌توان انتظار داشت که در نواحی داخل تاج به دلایلی مانند افزوده شدن سالیانهٔ لاشبرگ به خاک و وجود شرایط مطلوب رطوبتی و حرارتی، شرایط برای تجزیهٔ مواد آلی توسط ریزجانداران فراهم می‌شود. اندک بودن کربن آلی در بیرون تاج ممکن است به‌دلیل چرای دام و مقدار کم لاشبرگ در خاک باشد.

براساس نتایج تحقیق حاضر، غلظت نیتروژن و فسفر در زیر تاج پستهٔ وحشی بیشتر از تنگرس و شاهد تاج به دست آمد. پژوهش‌های دیگر نیز به نتایج مشابهی رسیده‌اند و اظهار کرده‌اند که غلظت نیتروژن و فسفر مانند کربن آلی همبستگی زیادی با بقایای گیاهی و شرایط مناسب تجزیهٔ آنها دارد و غلظت آنها در زیر تاج بیشتر از بیرون تاج است (Saaed et al., 2020; Khanmohammdi & Matinizadeh, 2023; Zarafshar et al., 2023). براساس یافته‌های این پژوهش، پتاسیم تبادلی در زیر تاج گونه‌های تحت بررسی بیشتر از خارج تاج بود. می‌توان گفت پتاسیم به‌آسانی از سطح برگ‌ها و بافت‌های گیاهی از طریق جریان ساقه‌ای شسته و در خاک زیر تاج‌پوشش

ذخیره می‌شود (Saaed et al., 2020). همچنین افزایش پتاسیم در زیر تاج درختان ممکن است به‌دلیل تجمع و تجزیهٔ لاشبرگ، افزایش فعالیت بیوشیمیایی و آزادسازی یون‌های پتاسیم باشد (De Boever et al., 2015).

نتایج نشان داد تاج درختان تأثیر معنی‌داری در غلظت عناصر منیزیم، روی و منگنز نداشت، اما غلظت کلسیم، آهن و مس قابل دسترس در نمونهٔ خاک‌های برداشت‌شده در زیر تاج درختان پستهٔ وحشی و تنگرس بیش از خارج تاج بود. در این زمینه خان‌محمدی و متینی‌زاده (۲۰۲۳) نیز گزارش دادند که غلظت عناصر کلسیم، روی، منگنز و آهن در خاک‌های برداشت‌شده از زیر تاج‌پوشش درختان بنه و بادام کوهی بیشتر است (Khanmohammdi & Matinizadeh, 2023). از دلایل مهم آن می‌توان به تجمع و تجزیهٔ مواد آلی و در نتیجه افزایش غلظت این عناصر در بوم‌سازگان جنگلی اشاره کرد.

فعالیت جوامع میکروبی خاک تأثیر مهمی در چرخهٔ بیوژئوشیمیایی مواد مغذی به‌ویژه در بوم‌سازگان ناحیهٔ خشک و نیمه‌خشک دارند (Ayangbenro & Babalola, 2021). نتایج ارزیابی ویژگی‌های زیستی خاک تحت تأثیر تاج‌پوشش نشان داد که مقادیر تنفس پایه و تنفس برانگیخته، کربن زیست‌تودهٔ میکروبی و پتانسیل نیتریفیکاسیون در نمونه‌های اندازه‌گیری‌شدهٔ خاک زیر تاج درختان پستهٔ وحشی و تنگرس در مقایسه با خاک شاهد (بیرون تاج) بیشتر است و همبستگی معنی‌داری با درصد کربن آلی، رطوبت، چگالی ظاهری و هدایت الکتریکی دارد. در این زمینه می‌توان اظهار داشت زیاد بودن درصد کربن آلی قابل دسترس و رطوبت در خاک زیر تاج‌پوشش درختان، زمینه را برای فعالیت بیشتر ریزجانداران خاک و تجزیهٔ لاشبرگ و برگشت عناصر غذایی فراهم می‌کند و در نتیجه سبب افزایش سبب تنفس میکروبی و کربن زیست‌توده میکروبی خاک می‌شود. از سوی دیگر اندک بودن رطوبت و کربن آلی در خاک شاهد نسبت به خاک زیر تاج‌پوشش بنه و تنگرس می‌تواند از دلایل احتمالی کمتر بودن فعالیت میکروبی در خاک شاهد باشد (Kiani et al., 2007).

نتیجه‌گیری

براساس نتایج پژوهش حاضر، تاج‌پوشش پستهٔ وحشی و تنگرس در ذخیره‌گاه جنگلی کندرق خلخال، سبب بهبود مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی زیر تاج‌پوشش در مقایسه با بیرون تاج شده است. به‌طوری که درصد رطوبت، هدایت الکتریکی، کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم و آهن قابل دسترس در خاک زیر تاج‌پوشش هر دو گونه از بیرون تاج بیشتر بود. مقادیر تنفس پایه و برانگیخته، کربن زیست‌تودهٔ میکروبی و پتانسیل نیتریفیکاسیون در خاک زیر تاج‌پوشش پستهٔ وحشی بیشتر از تنگرس بود. بنابراین حفاظت تک‌درختان پستهٔ وحشی و تنگرس در جنگل‌های نیمه‌خشک ناحیهٔ ایرانوتورانی برای افزایش کیفیت خاک و نیز تأمین زیستگاه جانوران و گیاهان جنگلی که چرخهٔ حیات آنها به وجود این گونه‌ها بستگی دارد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بنابراین با کاشت نهال‌های این گونه‌ها در عرصه‌های خالی می‌توان به بازیابی کیفیت و عملکرد خاک در توده‌های تخریب‌شده کمک کرد، البته با شناسایی ساختار و ترکیب جامعهٔ میکروبی خاک در زیر تاج‌پوشش این گونه‌ها و تلقیح ریزجانداران ریزوسفری (قارچ‌های میکوریزی و باکتری‌های محرک رشد همزیست با ریشهٔ این گونه‌ها) به نهال‌های پستهٔ وحشی و تنگرس در نهالستان می‌توان درصد زنده‌مانی، استقرار و رشد رویشی آنها در عرصه را نیز افزایش داد.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله تشکر و قدردانی خود را از مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور بابت حمایت مالی از این پژوهش اعلام می‌دارند.

References

Alizadeh, T., Habashi, H., Matinizadeh, M., & Sadeghi, S.M. (2022). 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)

Alvarez, F., Casanoves, F., & Suarez, J.C. (2021). Influence of scattered trees in grazing areas on soil properties in the Piedmont region of the Colombian Amazon. *PLos One, 16,* 1-19. *https://doi.org/10.1371/journal.pone.0261612*

Aponte, C., García, L.V., Perez-Ramos, I.M., Gutierrez, E., & Maranon, T. (2011). Oak trees and soil interactions in Mediterranean forests: A positive feedback model. *Journal of Vegetation Science*, *22*, 856–867. https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2011.01298.x

Asadian, M., Hojjati., M.H., Mohammadzadeh, M., & Nadi, M. (2024). Evaluating the response of ecosystems to land-use change using soil quality indexAlandan forest. *Iranian Journal of Forest*, *15*(1), 17-34. (In Persian).

Attarod, P. (2022). Long-term trends of net primary production and evapotranspiration in Iran's forest vegetation zones. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, *30*(4), 383-388. (In Persian)

Ayangbenro, A.S., & Babalola, O.O. (2021). Reclamation of arid and semi-arid soils: The role of plant growth-promoting archaea and bacteria. *Current Plant Biology*, *25*(4), 22-41. https://doi.org/ 10.1016/j.cpb.2020.100173.

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)

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)

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.

Casals, P., Romero, J., Rusch, G.M., & Ibrahim, M. (2014). Soil organic C and nutrient contents under trees with different functional characteristics in seasonally dry tropical silvo pastures. *Plant Soil*, *374*, 643–659. https://doi.org/10.1007/s11104- 013-1884-9.

De Boever, M., Gabriels, D., Ouessar, M., & Cornelis, W. (2015). Influence of scattered Acacia trees on soil nutrient levels in arid Tunisia. *Journal of Arid Environments*, *122*, 161–168. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2015.07.006.

Ehrenfeld, J.G., Ravit, B., & Elgersma, K. (2005). Feedback in the plant-soil system. *Annual Review of Environment and Resources*, *30*(1), 75-115.

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.

Emami, A. (1996). Description of plant analysis method. Publ. by Soil Water Institute, Tehran, 113p. Gallardo, A. (2003). Effect of tree canopy on the spatial distribution of soil nutrients in a Mediterranean Dehesa. *Pedobiologia*, *47*(2), 117-125.

Ghazanshahi, J. (2006). Soil and Plant Analysis (translation). Ayizh Publications, Tehran, 272p. (In Persian)

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. American Society of Agronomy, *Soil Science of America*, Inc (pp. 404-408). Madison: Wisconsin Press.

Isaac, R.A., & Johnson, W.C. (1975). Collaborative Study of Wet and Dry Ash Techniques for the Elemental Analysis of Plant Tissue by Atomic Absorption Spectrophotometry. *Journal* of *AOAC International, 58*, 436 - 440. https://doi.org/10.1093/jaoac/58.3.436

Kiani, F., Jalalian, A., Pashaei, A., & Khademi, H. (2007). Effect of Deforestation, Grazing exclusion and Rangeland Degradation on Soil Quality Indices in Loess-Derived Landforms of Golestan Province. *Water and Soil Science, 11*(41), 453-464. (In Persian).

Khanmohammadi, Z., & Matinizadeh, M. (2023). 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). *Journal of Soil and Plant Interactions, 14*(2), 93-108. (In Persian)

Manning, A.D., Fischer, J., & Linden Mayer, D.B. (2006). Scattered trees are keystone structures Implications for conservation. *Biological Conservation*, https: //doi.org/10.1016/j. biocon.2006.04.023.

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 Propertie, Madison: Wisconsin Press. 403-430p.

Ortiz, D.C., de Souza, T.A.F., Pech, T.M., Bartz, M.L.C., Baretta, D., Siminski, A., & Niemeyer, J.C. (2022). Soil ecosystem changes by vegetation on old-field sites over five decades in the Brazilian Atlantic forest. *Journal of Forestry Research, 14*(1), 254-265. https://doi.org/10.1007/ s11676-021-01368-y.

Rezaeinejad, R., Khademi, H., Ayoubi, SH., & Jahanbazy Goujani, H. (2020). Changes in Physical and Chemical Soil Properties under the Influence of the Rhizosphere and Canopy of Wild Almond Trees (*Amygdalus arabica* Olive.) with Different Ages. *Journal of Water and Soil Science, 24*(2), 198-208. (In Persian)

Rostamikia, y., Imani, A.A., Fattahi, M., & Sharifi, J. (2010). Site demands quantitative and qualitative characteristics wild pistachio in Khalkhal forest. *Iranian journal of Forest and Poplar Research*, *17*(4), 389-499. (In Persian)

Rostamizad, P., Hosseini, V., & Mohammadi Samani, K. (2018). The effects of wild pistachio (*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)

Saaed, M.W.B., Alshareef, B.B., & Fadel, B.A. (2020). The ability of indigenous legume trees to create islands of fertility in extremely arid & degraded ecosystems: Case Study, Al- Kufra Oasis, Libya. Libyan. *Journal of Environmental Science and Technology*, *2*, 33–47.

Sardans, J., & Penuelas, J. (2013). Plant-soil interactions in Mediterranean forest and shrub lands: Impacts of climatic change. *Plant Soil, 365*, 1-33. https://doi.org/10.1007/s11104- 013-1591-6.

Schinner, F., Ohlinger, R., & Margesin, R. (1996). Methods in Soil Biology. Springer Press, Berlin.

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

Stefanowicz, A.M., Ro zek, K., Stanek, M., Rola, K., & Zubek, S. (2021). Moderate effects of tree species identity on soil microbial communities and soil chemical properties in a common garden experiment. *Forest Ecology and Management*, *482*, 32-43. https: //doi.org/10.1016/j. foreco.2020.118799.

Surucu, A., Acar, I., Demirkiran, A.R., Farooq, S., & Gokmen, V. (2020). Variations in nutrient uptake, yield and nut quality of different pistachio cultivars grafted on *Pistacia khinjuk* rootstock. *Scientia Horticulture*, (Amsterdam), *260*, 21-28. https: //doi.org/10.1016/j. scienta.2019.108913.

Tiruneh Asaye, Z. (2017). Effects of scattered *Acacia tortilis* (Forssk) on soil properties in different land uses in Central Rift Valley of Ethiopia. *Journal of Sustainable Forestry*, *36*, 164–176. https://doi.org/10.1080/10549811.2016.1270835.

Yang, L., Zhang, Q., Ma, Z., Jin, H., Chang, X., Marchenko, S.S., & Spector, V.V. (2022). Seasonal variations in temperature sensitivity of soil respiration in a larch forest in the Northern Daxing'an Mountains in Northeast China. *Journal of Forestry Research*, *33*, 1061–1070. https://doi.org/10.1007/s11676-021-01346-4.

Zarafshar, M., Rousta, M.J., Matinizadeh, M., Sagheb Talbi, K., Alizadeh, T., Nouri, E., & Karl-Friedrich Bader, M. (2023). Scattered wild pistachio trees profoundly modify soil quality in semi-arid woodlands. *Catena*, *224*, 242–252. https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.106983.

Iranian Journal of Forest
Vol. 17, No. 1, Spring 2025
pp. 13-29
Research Article

DOI: 10.22034/ijf.2024.440945.1973
CC BY 4.0

The effect of canopy covers of wild pistachio (*Pistacia atlantica* Desf.) and wild almond (*Prunus lycioides* Spach.) trees on soil properties (case study: Kandaragh forest of Khalkhal, Ardabil Province)

Y. Rostamikia[1]*, M. Matinizadeh[2], E. Nouri[3], T. Alizadeh[3], and S. Mohtaram Anbaran[4]

[1]Assist., Prof., Forests and Rangelands Research Dept. Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ardabil, I.R. Iran.
[2]Associate Prof., Forest Research Dept. Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I. R. Iran.
[3]Researcher, Forest Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, AREEO, Tehran, I. R. Iran.
[4]M.Sc. of Forest science and engineering, Dept. of Forest science and engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, I. R. Iran.

(Received: 3 February 2023; Accepted: 1 August 2024)

Abstract

Introduction: The stability of forest ecosystems in arid and semi-arid regions with sparse vegetation depends on soil quality and fertility. This study was conducted with the aim of investigating the effect of the canopy cover of two species, wild pistachio (*Pistacia atlantica* Desf.) and wild almond (*Prunus lycioides* Spach.), on soil characteristics in the Kandragh Khalkhal Forest Reserve.

Material and Methods: To determine some physical, chemical and biological characteristics of the surface soil under the canopy of wild pistachio and wild almond, 45 soil samples were randomly taken from a depth of 0 to 15 cm in the eastern direction, both under the canopy and outside the canopy (control). Then all three soil samples were well mixed to obtain one composite sample (five soil samples for each species and control). Then physical characteristics (bulk density, moisture percentage, percentage of sand, silt and clay), chemical (pH, electrical conductivity, calcium carbonate, organic carbon, phosphorus, nitrogen, potassium, phosphorus, magnesium, calcium, iron, zinc, copper and manganese), and soil biology parameters (basal and induced respiration, microbial biomass carbon and nitrification potential) were measured.

Results: The bulk density values under the canopy of wild pistachio and wild almond species were significantly lower than those in the control (outside the canopy). The highest soil moisture was observed under the canopy of wild pistachio trees at 33.44%, while the lowest was 19.86% in the control treatment. The highest percentage of organic carbon (1.31%), total nitrogen (0.29%), available phosphorus (6.30%) were recorded under the canopy of wild pistachio trees and the highest values of electrical conductivity (1.11 dS/m), available potassium (409.55 mg/kg), and calcium (7.11 mg/L) were found under the canopy of wild almond trees. In contrast, soil pH, magnesium, zinc and manganese did not show any significant difference between canopy and control treatments. The highest values of basal respiration (3.16 mg Co_2 g^{-1} dry matter day^{-1}), induced respiration (61.65 mg carbon dioxide 100 g^{-1} dry soil h^{-1}), microbial biomass carbon (37. 3 mg 100 g^{-1} dry soil) and nitrification potential (310.78 µg N g^{-1} dry soil 5 h^{-1}) were obtained in the soil under the canopy of wild pistachio. Principal components analysis showed that the first and second components explained 71.13% of the variance in organic carbon (OC%), pH, basal and induced respiration under wild pistachio trees and more than 76.60% of the variance in silt%, moisture%, electrical conductivity, available phosphorus, OC%, total nitrogen and induced respiration under wild almond trees.

Conclusion: Considering the ecological functions of wild pistachio and wild almond in Kandragh-Khalkhal Forest Reserve, the presence of these trees improves soil characteristics and their destruction leads to a significant decrease in soil quality. Therefore, protecting these areas and undertaking reforestation can help improve soil quality in degraded areas.

Keywords: Canopy cover, Kandarag Forest Reserve, Soil biological properties, Wild almond.

*Corresponding author Tel: +98 9141533776 Email: younesrostamikia@gmail.com