



University of Tehran

Variability of soil chemical and biological properties in *Prunus scoparia* and *Pistacia atlantica* forest habitats in the Irano-Turanian floristic region

Mashaallah Ghonchepour¹ | Mohammad Matinizadeh² |
 Mohammad Bayranvand^{3*} | Hooman Ravanbakhsh⁴ | Elham Nouri⁵ |
 Ahmad Pourmirzaei⁶ | Fatemeh Darijani⁷

1. Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Kerman, Iran. Email: mghonchepour1@areeo.ac.ir
2. Forest Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. Email: matini@rifr-ac.ir
3. Corresponding Author, Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Kerman, Iran. Email: m.bayranvand@areeo.ac.ir
4. Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. Email: h.ravanbakhsh@rifr-ac.ir
5. Forest Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. Email: nouri@rifr-ac.ir
6. Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Kerman, Iran. Email: ahpourmirzaie@areeo.ac.ir
7. Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Kerman, Iran. Email: f.darijani@areeo.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:

Research Article

Article History:

Received: 30 July 2025

Revised: 31 August 2025

Accepted: 18 September 2025

Published online: 22 November 2025

Keywords:

Arid climate,
 Baft County,
 Forest habitat,
 Soil organic matter,
 Soil microbial respiration.

ABSTRACT

Irano-Turanian forests are undergoing severe degradation and soil fertility decline due to overexploitation. This study assessed the variability of soil chemical and biological properties in *Pistacia atlantica* and *Prunus scoparia* habitats to develop strategies for sustainable conservation and restoration. A total of 45 soil samples were collected from a depth of 0–15 cm in wild *P. atlantica* and *P. scoparia* stands and adjacent control areas (without forest cover). Soil properties, including pH, CaCO₃, soil organic carbon (SOC), total nitrogen (TN), phosphorus (P), potassium (K), exchangeable calcium (Ca), magnesium (Mg), sodium (Na), and micronutrients (Fe, Zn, Cu, Mn), were analyzed along with biological parameters such as basal and substrate-induced microbial respiration (BR and SIR), microbial biomass carbon (MBC), and nitrification potential (NP). Data were evaluated using ANOVA and Tukey's HSD test. Results showed significant increases in CaCO₃, SOC, K, Na, and Mn under tree cover, with K notably higher under *P. atlantica*. BR, SIR, and NP were also significantly enhanced in forested areas. PCA confirmed distinct improvements in soil fertility and microbial activity in tree-covered sites. Overall, both species improved soil chemical and biological properties, but *P. atlantica* performed better in enhancing available K and promoting microbial activity (BR, SIR, NP), making it more suitable for restoration programs in Kerman Province. These findings underscore the potential of native tree species in stabilizing ecosystems and restoring soil fertility.

Cite this article: Ghonchepour, M., Matinizadeh, M., Bayranvand, M., Ravanbakhsh, H., Nouri, E., Pourmirzaei, A., Darijani, F. (2025). Variability of soil chemical and biological properties in *Prunus scoparia* and *Pistacia atlantica* forest habitats in the Irano-Turanian floristic region. *Journal of Forest and Wood Products*, 78 (3), 273-286. DOI: <http://doi.org/10.22059/jfwf.2025.399655.1362>



© The Author(s) **Publisher:** University of Tehran Press.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jfwf.2025.399655.1362>



دانشگاه تهران

نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب

شاپا الکترونیکی: ۲۳۸۳-۰۵۳۰

سایت نشریه: <https://jfwf.ut.ac.ir>

تغییرپذیری ویژگی‌های شیمیایی و زیستی خاک در رویشگاه‌های جنگلی بادام وحشی و بنه در ناحیه ریشی ایران-تورانی

ماشاله غنچه‌پور^۱ | محمد متینی‌زاده^۲ | محمد بیرانوند^{۳*} | هومن روانبخش^۴ | الهام نوری^۵ | احمد پورمیرزایی^۶ | فاطمه دریجانی^۷۱. بخش تحقیقات جنگل و مرتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران. رایانامه: mghonchepour1@areeo.ac.ir۲. مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: matini@rifr-ac.ir۳. نویسنده مسئول، بخش تحقیقات جنگل و مرتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران. رایانامه: m.bayranvand@areeo.ac.ir۴. مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: h.ravanbakhsh@rifr-ac.ir۵. مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: nouri@rifr-ac.ir۶. بخش تحقیقات جنگل و مرتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران. رایانامه: ah.pourmirzaie@areeo.ac.ir۷. بخش تحقیقات جنگل و مرتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران. رایانامه: f.darijani@areeo.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۰۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۷

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۹/۰۱

کلیدواژه:

اقلیم گرم و خشک،

تنفس میکروبی خاک،

رویشگاه جنگلی،

شهرستان بافت،

مواد آلی خاک.

جنگل‌های ایرانی-تورانی با کاهش حاصلخیزی و تخریب خاک روبه‌رو هستند. این پژوهش با هدف ارزیابی تغییرپذیری ویژگی‌های شیمیایی و زیستی خاک در رویشگاه‌های بنه (*Pistacia atlantica* Desf.) و بادام وحشی (*Prunus scoparia* C.K.Schneid.(Spach)) انجام شد تا راهکارهایی برای حفاظت و احیای پایدار این مناطق ارائه دهد. در این مطالعه، ۴۵ نمونه خاک از عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متر از رویشگاه‌های بنه-بادام وحشی و مناطق شاهد (بدون پوشش جنگلی) جمع‌آوری شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک (شامل بافت، pH، کربنات کلسیم، کربن آلی، نیترژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، سدیم، آهن، روی، مس و منگنز) و نیز ویژگی‌های زیستی خاک (نظیر تنفس میکروبی پایه و برانگیخته، زیست‌توده میکروبی کربن و پتانسیل نیتریفیکاسیون) مورد سنجش قرار گرفتند. در نهایت، داده‌ها با استفاده از تحلیل واریانس و آزمون توکی به‌صورت آماری مقایسه شدند. زیر تاج پوشش درختان، کربنات کلسیم، مواد آلی، کربن آلی، پتاسیم قابل جذب، سدیم و منگنز به‌طور معنی‌داری افزایش یافتند. به‌ویژه، پتاسیم قابل جذب زیر گونه بنه به‌طور چشمگیری بالاتر بود. همچنین، تنفس میکروبی پایه و برانگیخته و پتانسیل نیتریفیکاسیون در این مناطق افزایش معنی‌داری نشان دادند. تحلیل PCA نیز بهبود پارامترهای خاک و فعالیت میکروبی را در رویشگاه‌های درختی تأیید کرد. یافته‌ها نشان داد بنه و بادام وحشی ویژگی‌های شیمیایی و زیستی خاک را بهبود می‌بخشند. درخت بنه در افزایش پتاسیم قابل جذب و فعالیت‌های زیستی خاک (تنفس برانگیخته و نیتریفیکاسیون) عملکرد بهتری داشت، بنابراین گزینه مناسب‌تری برای حفاظت و احیای جنگل‌ها در کرمان محسوب می‌شود. این رویکرد به پایداری بوم‌سازگان و حاصلخیزی خاک کمک می‌کند.

استناد: غنچه‌پور؛ ماشاله، متینی‌زاده؛ محمد، بیرانوند؛ محمد، روانبخش؛ هومن، نوری؛ الهام، پورمیرزایی؛ احمد، دریجانی؛ فاطمه (۱۴۰۴). تغییرپذیری ویژگی‌های شیمیایی و زیستی خاک در رویشگاه‌های جنگلی بادام وحشی و بنه در ناحیه ریشی ایران-تورانی. نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب، ۷۸ (۳)، ۲۷۳-۲۸۶.

DOI: <https://10.22059/jfwf.2025.399655.1362>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

<https://doi.org/10.22059/jfwf.2025.399655.1362>

۱. مقدمه

ناحیه ایران-تورانی با اقلیم خشک، بخش اعظم مساحت کشور را پوشش می‌دهد و زیستگاه مهمی برای گونه‌های مقاوم به خشکی نظیر بنه (*Pistacia atlantica* Desf.) و بادام وحشی (*Prunus scoparia* (Spach) C.K.Schneid.) است که نقش‌های اکولوژیک و اقتصادی کلیدی دارند [۱، ۲]. جوامع جنگلی بنه-بادام، که وسیع‌ترین تیپ جنگلی منطقه در ارتفاعات ۱۸۰۰-۱۳۰۰ متری محسوب می‌شوند، علاوه بر اهمیت اکولوژیک، از طریق تولید محصولاتی نظیر پسته وحشی و بادام، ارزش اقتصادی بالایی دارند [۱]. بنه، با وجود سازگاری بالا به خشکی، در زادآوری طبیعی به‌دلیل عواملی مانند دوپایه بودن و برداشت بی‌رویه با اختلال مواجه است، بنابراین حفاظت و احیای آن ضروری است [۳]. همچنین، بادام وحشی به‌عنوان گونه‌ای پیشگام و مقاوم، در کنترل فرسایش خاک نقش حیاتی ایفا می‌کند و از نظر دارویی و غذایی نیز اهمیت دارد [۴]. با توجه به پتانسیل بالای هر دو گونه در احیای جنگل‌های خشک، بررسی تأثیر آنها بر ویژگی‌های شیمیایی و میکروبی خاک برای توسعه راهبردهای مدیریتی پایدار، حیاتی است. خاک‌های جنگلی به‌عنوان بزرگترین مخزن کربن، نقش محوری در چرخه کربن و پویایی عناصر غذایی ایفا می‌کنند [۵، ۶]. گونه‌های درختی با تأثیرگذاری از طریق اختلاف در حجم و ترکیب لاشبرگ تولیدی به‌طور قابل توجهی بر خواص خاک و چرخه مواد مغذی اثر می‌گذارند [۷]. با این حال، ماهیت دقیق مخازن و گردش مواد مغذی در مناطق مختلف و زیر گونه‌های درختی گوناگون هنوز کاملاً شناخته شده نیست [۷]. در این میان، گونه‌های درختی مناطق خشک و نیمه‌خشک از طریق کیفیت و کمیت مواد آلی ناشی از ریزش لاشبرگ، تأثیر به‌سزایی بر خصوصیات شیمیایی و زیستی خاک دارند [۸، ۹].

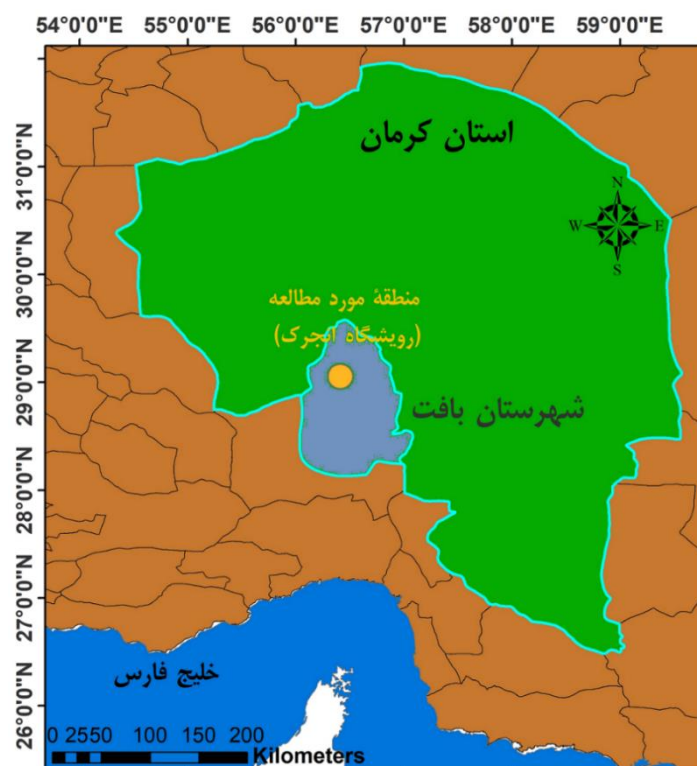
ویژگی‌های زیستی خاک، به‌عنوان حساس‌ترین و پویاترین شاخص‌های کیفیت خاک، به‌سرعت به تغییرات محیطی و پوشش گیاهی پاسخ می‌دهند [۱۰، ۱۱]. این ویژگی‌ها شامل تنفس میکروبی، تنفس ناشی از سوستر، زیست‌توده میکروبی و پتانسیل نیتریفیکاسیون است که تحت تأثیر مستقیم پوشش گیاهی قرار می‌گیرند [۹، ۱۰]. درختان از طریق مکانیسم‌های مختلفی مانند سایه‌اندازی تاج‌پوشش، ریشه‌دوانی و تولید لاشبرگ با ویژگی‌های شیمیایی خاص، بر عملکرد و فعالیت جامعه میکروبی خاک تأثیر می‌گذارند [۷]. میکروارگانیسم‌های خاک با تولید آنزیم‌های تخصصی، نقش محوری در چرخه‌های بیوژئوشیمیایی (به‌ویژه چرخه کربن و نیتروژن)، معدنی‌سازی مواد آلی و بهبود حاصلخیزی خاک ایفا می‌کنند [۱۱]. این فرآیندها نه‌تنها در تشکیل و تکامل خاک مؤثرند، بلکه با کنترل ذخیره و گردش کربن آلی، نقش تعیین‌کننده‌ای در سلامت و پایداری بوم سازگان‌های خاکی دارند [۷، ۹]. مواد آلی خاک با منشأ گیاهی و جانوری نیز به‌عنوان منبع تغذیه میکروارگانیسم‌ها، این چرخه‌های حیاتی را تسهیل می‌کنند [۵]. پژوهشی که در جنگل کندرق خلخال، استان اردبیل، انجام شده است، نشان می‌دهد که ویژگی‌های زیستی خاک، از جمله فعالیت میکروبی، زیست‌توده میکروبی و پتانسیل نیتریفیکاسیون، در زیر تاج درختان پسته وحشی و تنگرس به‌طور چشمگیری افزایش یافته است [۱۲]. این افزایش فعالیت میکروبی به‌دلیل انباشت مواد آلی است که در مقایسه با خاک‌های خارج از تاج رخ داده است. در واقع، این درختان با فراهم کردن محیطی غنی از مواد آلی، به‌عنوان نقاط حاصلخیز عمل می‌کنند که پویایی فعالیت میکروبی خاک در آنها به‌شدت افزایش می‌یابد [۱۲]. این یافته‌ها تأکید می‌کنند که گونه‌های درختی بومی مانند پسته وحشی و تنگرس، نقش حیاتی در بهبود کیفیت و حاصلخیزی خاک و حفظ سلامت بوم سازگان‌های جنگلی ایفا می‌کنند. بنابراین، ارزیابی شاخص‌های میکروبی خاک می‌تواند ابزاری کارآمد و حساس برای پایش سلامت و حاصلخیزی خاک در پروژه‌های جنگلکاری و مدیریت پایدار بوم سازگان‌های جنگلی باشد.

با توجه به تخریب گسترده رویشگاه‌های جنگلی بنه و بادام وحشی در ناحیه ایران-تورانی تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی، لزوم اتخاذ راهکارهای علمی برای احیاء و حفاظت این بوم سازگان‌های ارزشمند بیش از پیش احساس می‌شود. به‌همین دلیل، شناخت اکولوژی این گونه‌ها برای تدوین برنامه‌های مدیریتی مؤثر، امری ضروری است. این مطالعه با هدف ارزیابی ویژگی‌های شیمیایی و زیستی خاک در زیر تاج این گونه‌های شاخص و مقایسه آن با مناطق فاقد پوشش جنگلی طراحی شده است. بررسی پارامترهای کیفی خاک، شامل خصوصیات شیمیایی (مانند محتوای مواد آلی، نیتروژن، کربن آلی و دیگر عناصر غذایی) و شاخص‌های زیستی (مانند زیست‌توده و تنفس میکروبی)، می‌تواند نقش اکولوژیک این گونه‌ها را در بهبود کیفیت خاک و عملکرد بوم سازگان روشن سازد. نتایج این پژوهش می‌تواند مبنای علمی مناسبی برای تدوین راهبردهای مدیریتی پایدار در جهت حفظ و احیای این توده‌های جنگلی در شرایط تغییر اقلیم فراهم کند.

۲. روش‌شناسی پژوهش

۲-۱. منطقه مورد مطالعه و روش نمونه‌برداری

این مطالعه در رویشگاه‌های جنگلی بنه و بادام وحشی منطقه انجرک شهرستان بافت، استان کرمان، با ارتفاع ۲۳۰۰ متر از سطح دریا انجام شد (شکل ۱). این منطقه دارای اقلیم معتدل کوهستانی تا سرد با میانگین دمای سالیانه ۱۶/۴۵ درجه سانتی‌گراد و بارندگی ۲۱۸/۲۳ میلی‌متر است. پوشش گیاهی شامل جنگل‌های بنه، بادام‌کوهی و دیگر گونه‌ها، به‌همراه مراتع درمنه و گون می‌باشد. خاک رویشگاه‌های بنه و بادام در این منطقه عمدتاً از نوع لیتوسول (انتی‌سول) کم‌عمق تا نیمه‌عمیق است. این منطقه به‌دلیل تراکم بالای درختان تحت حفاظت است. زادآوری بنه محدود است ولی بادام وحشی زادآوری امیدبخشی دارد [۱۳].



شکل ۱. رویشگاه گونه‌های بنه و بادام کوهی در استان کرمان شهرستان بافت (رویشگاه انجرک)

۲-۲. آماده‌سازی نمونه‌ها، تجزیه آزمایشگاهی مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک

به‌منظور انجام این پژوهش، در مجموع ۴۵ نمونه خاک از عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متر، به‌صورت انتخابی از رویشگاه‌های بنه-بادام وحشی و منطقه شاهد (بدون پوشش جنگلی) در اوایل فصل بهار سال ۱۴۰۱ برداشت شد. در انتخاب نقاط نمونه‌برداری، سعی بر آن بود که پارامترهایی نظیر ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت جغرافیایی تا حد امکان یکسان باشد. همچنین، برای نمونه‌برداری زیر تاج درختان، درختانی با قطر تنه و تاج‌پوشش مشابه انتخاب شدند. فرآیند نمونه‌برداری به این شکل بود که از هر سه نقطه اولیه مجاور، یک نمونه مرکب تهیه و جهت سنجش‌های آزمایشگاهی به آزمایشگاه منتقل شد. نمونه‌های خاک بلافاصله پس از جمع‌آوری، به دو بخش تقسیم شدند: بخشی برای سنجش ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و ریزمغذی‌ها خاک که پس از خشک شدن با هوا و عبور از الک دو میلی‌متری، در دمای محیط نگهداری شدند و بخش دیگر برای ارزیابی ویژگی‌های زیستی خاک در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد حفظ و به آزمایشگاه انتقال یافتند.

آزمایش‌های فیزیکی خاک شامل تعیین درصد اجزای بافت خاک با روش هیدرومتري باکاس انجام شد. آزمایش‌های شیمیایی خاک شامل اندازه‌گیری واکنش خاک با pH متر (نسبت ۱:۲.۵)، کربنات کلسیم (آهک خاک) معادل به روش تیتراسیون برگشتی، کربن آلی با روش اکسایش تر والکی-بلک، نیتروژن کل با روش کج‌لدال و فسفر قابل جذب با روش اولسن تو سط

اسپکتروفتومتری اندازه‌گیری شد. همچنین، پتاسیم قابل جذب، سدیم، کلسیم قابل جذب، منیزیم قابل جذب، منگنز، آهن و روی نیز با روش استات آمونیوم استخراج و سپس با دستگاه‌های مناسب اندازه‌گیری شدند. پتاسیم و سدیم با استفاده از دستگاه فلیم فوتومتر و سایر عناصر (کلسیم، منیزیم، منگنز، آهن و روی) توسط دستگاه جذب اتمی تعیین شدند [۱۴].

برای ارزیابی ویژگی‌های زیستی خاک، تنفس میکروبی پایه با انکوباسیون نمونه خاک مرطوب و اندازه‌گیری CO_2 آزاد شده با تیتراسیون سود اندازه‌گیری شد. تنفس میکروبی برانگیخته نیز با افزودن گلوکز و سنجش CO_2 در بازه زمانی کوتاه محاسبه گردید. زیست‌توده کربن میکروبی با استفاده از روش تدخین-استخراج با کلروفرم تعیین شد. در این روش، پس از تیمار نمونه با کلروفرم برای لیز کردن سلول‌های میکروبی، کربن آزاد شده با محلول سولفات پتاسیم (۰/۵ مولار) استخراج گردید. سپس میزان کربن استخراجی با روش رنگ‌سنجی والکلی-بلک اندازه‌گیری شد [۱۵]. در نهایت، پتانسیل نیتریفیکاسیون با انکوباسیون خاک مرطوب با سولفات آمونیوم و اندازه‌گیری نترات تولیدی در ۵ ساعت در دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد ارزیابی شد [۱۶].

۲-۳. روش آماری

برای ارزیابی نرمال بودن توزیع داده‌ها، از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف استفاده شد و آزمون لون نیز برای بررسی همگنی واریانس بین گروه‌ها به کار گرفته شد. داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی تجزیه و تحلیل شدند. به منظور بررسی تأثیر گونه‌های درختی بر ویژگی‌های خاک و مقایسه آن با خاک منطقه بدون پوشش درختی، آنالیز واریانس (ANOVA) انجام شد. آزمون توکی نیز برای مقایسات زوجی میانگین‌ها در سطوح معنی‌داری ۰/۰۵ و ۰/۰۱ به کار گرفته شد. در نهایت، آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) برای بررسی همبستگی میان متغیرهای اندازه‌گیری شده و شناسایی مؤلفه‌های اصلی مؤثر بر تغییرات مشاهده شده انجام شد. تمام تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار R نسخه ۳٫۶٫۳ صورت پذیرفت.

۳. یافته‌های پژوهش

بر اساس نتایج تجزیه واریانس یک طرفه (ANOVA)، اثر تاج‌پوشش گونه‌های بادام وحشی و بنه بر مشخصه‌های فیزیکی (بافت) خاک معنی‌دار نبود ($P > 0/05$) (جدول ۱، شکل ۲). با این حال، این گونه‌ها تأثیر آماری معنی‌داری بر غلظت برخی از عناصر شیمیایی خاک، از جمله ماده آلی، کربن آلی، پتاسیم قابل جذب، سدیم و منگنز نشان دادند ($P < 0/05$) (جدول ۱، شکل ۲). آزمون مقایسه میانگین نشان داد که محتوای کربن آلی خاک در زیر تاج‌پوشش هر دو گونه درختی به طور معنی‌داری بالاتر از منطقه شاهد (فاقد پوشش درختی) بود ($P < 0/01$)، به طوری که میانگین کربن آلی تحت پوشش گونه بادام وحشی، ۷۵ و گونه بنه، ۶۷ درصد از مقدار مشاهده شده در شاهد، بیشتر بود (شکل ۲ ج). همچنین، نتایج نشان داد که محتوای پتاسیم قابل جذب خاک تحت پوشش گونه بنه به طور معنی‌داری افزایش یافته است ($P < 0/01$)، به طوری که میزان پتاسیم قابل جذب در خاک (۵۰۹/۲ میلی گرم بر کیلوگرم) زیر تاج پوشش گونه بنه ۴۰ درصد بیشتر از مقدار اندازه‌گیری شده در منطقه شاهد (۳۰۳/۴ میلی گرم بر کیلوگرم) بود (شکل ۲ ذ). اگرچه نیتروژن و فسفر خاک نیز زیر تاج پوشش درختان بیشتر بود، اما این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار نبود (شکل ۲ ح). علاوه بر این، نتایج حاصل از تجزیه واریانس یک طرفه بر روی سایر ویژگی‌های شیمیایی خاک، از جمله سدیم و عناصر کم‌مصرف (نظیر آهن، روی، مس و منگنز)، نشان داد که گونه‌های درختی بادام وحشی و بنه تنها تأثیر معنی‌داری بر غلظت سدیم ($P < 0/05$) و منگنز خاک ($P < 0/01$) داشته‌اند (جدول ۱، شکل ۳). میانگین غلظت سدیم خاک تحت پوشش هر دو گونه درختی به طور معنی‌داری بالاتر از منطقه شاهد بود، به طوری که میانگین غلظت سدیم خاک زیر تاج پوشش گونه بادام وحشی (۲/۹۲ میلی گرم بر کیلوگرم) و گونه بنه (۳/۲۸ میلی گرم بر کیلوگرم) به ترتیب ۶۸ و ۷۱ درصد بیشتر از مقدار اندازه‌گیری شده در شاهد (۰/۹۴ میلی گرم بر کیلوگرم) بود (شکل ۳ ت). همچنین، بیشترین غلظت منگنز خاک با مقادیر ۲/۸۶ و ۰/۹۹۶ میلی گرم بر کیلوگرم به ترتیب در زیر تاج‌پوشش گونه‌های بنه و بادام وحشی اندازه‌گیری شد که به ترتیب ۷۷ و ۳۵ درصد افزایش معنی‌دار در مقایسه با تیمار شاهد نشان دادند (شکل ۳ ث). تحلیل واریانس یک طرفه، تفاوت‌های معنی‌داری را در ویژگی‌های زیستی خاک بین رویشگاه‌های بادام وحشی، بنه و گروه شاهد نشان داد (جدول ۱، شکل ۴). بالاترین میزان تنفس پایه میکروبی خاک زیر تاج

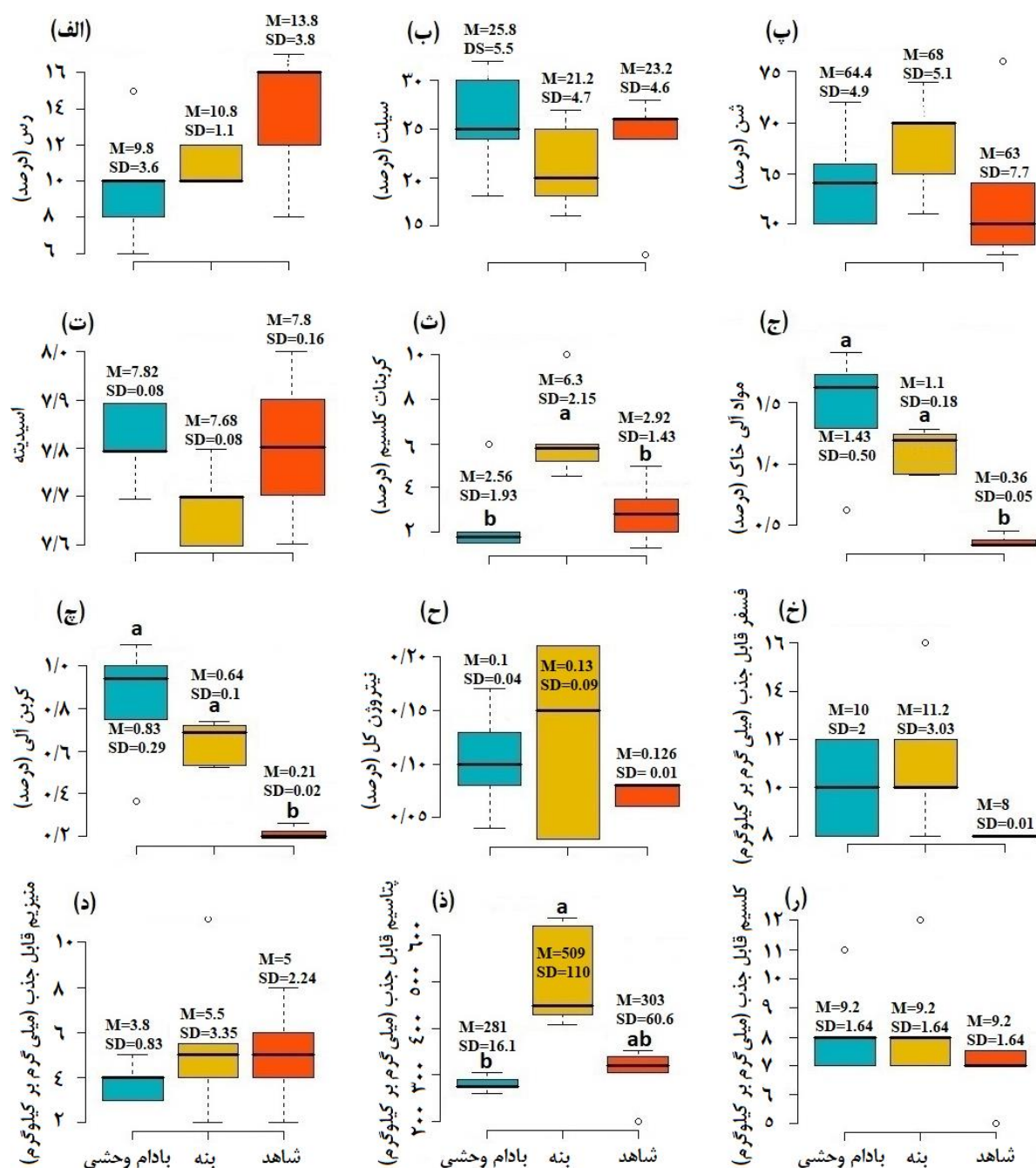
پوشش گونه بادام وحشی (۳/۲۹ میلی گرم دی اکسید کربن در گرم خاک خشک در روز) به دست آمد که به طور معنی داری به ترتیب از تنفس پایه خاک زیر تاج پوشش گونه بنه (۲/۵۱ میلی گرم دی اکسید کربن در گرم خاک خشک در روز) و گروه شاهد (۱/۷۵ میلی گرم دی اکسید کربن در گرم خاک خشک در روز) بیشتر است (جدول ۱، شکل ۴ الف). مقدار تنفس برانگیخته میکروبی زیر تاج پوشش گونه بنه و بادام وحشی، به ترتیب ۵۶ و ۵۵/۲ میلی گرم دی اکسید کربن در ۱۰۰ گرم خاک خشک در ساعت سنجش شد و به طور معنی داری بالاتر از گروه شاهد با مقدار ۱۷/۶ میلی گرم دی اکسید کربن در ۱۰۰ گرم خاک خشک در ساعت بود (شکل ۴ ب). این نتایج نشان دهنده پتانسیل بالای تجزیه مواد آلی و فعالیت میکروبی بیشتر در خاک زیر تاج پوشش بنه و بادام وحشی است. زیست توده میکروبی کربن تفاوت معنی داری بین گونه های درختی و گروه شاهد نشان نداد (جدول ۱). مقدار زیست توده میکروبی کربن زیر تاج پوشش بادام وحشی، بنه و گروه شاهد به ترتیب با ۲/۳۱، ۲/۲۵ و ۲/۰۴ میلی گرم در ۱۰۰ گرم خاک خشک مشاهده شد (شکل ۴ پ). بیشترین مقدار پتانسیل نیتریفیکاسیون زیر تاج پوشش گونه بنه (۳۳۳ میکروگرم نیتروژن در ۱ گرم خاک خشک در ۵ ساعت) و سپس بادام وحشی (۲۳۳ میکروگرم نیتروژن در ۱ گرم خاک خشک در ۵ ساعت) مشاهده شد و به طور معنی داری بالاتر از گروه شاهد (۲۰۶ میکروگرم نیتروژن در ۱ گرم خاک خشک در ۵ ساعت) بود (شکل ۴ ت).

جدول ۱. تجزیه واریانس مشخصه های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک تحت پوشش درختان بادام وحشی، بنه و نمونه های شاهد

مشخصه ها	منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	معنی داری
درصد رس	بین گروه ها	۴۳/۳۳۳	۲	۲۱/۶۶۷	۲/۴۴۴	۰/۱۲۹
	درون گروه ها	۱۰۶/۴	۱۲	۸/۸۶۷		
	کل	۱۴۹/۷۳۳	۱۴			
درصد سیلت	بین گروه ها	۵۳/۲	۲	۲۶/۶	۰/۸۵۷	۰/۴۴۹
	درون گروه ها	۳۷۲/۴	۱۲	۳۱/۰۳۳		
	کل	۴۲۵/۶	۱۴			
درصد شن	بین گروه ها	۶۶/۵۳۳	۲	۳۳/۲۶۷	۰/۹۰۵	۰/۴۳۱
	درون گروه ها	۴۴۱/۲	۱۲	۳۶/۷۶۷		
	کل	۵۰۷/۷۳۳	۱۴			
اسیدیته	بین گروه ها	۰/۰۵۷	۲	۰/۰۲۹	۲/۲۰۵	۰/۱۵۳
	درون گروه ها	۰/۱۵۶	۱۲	۰/۰۱۳		
	کل	۰/۲۱۳	۱۴			
درصد آهک	بین گروه ها	۴۲/۵۶۹	۲	۲۱/۲۸۵	۶/۱۴	۰/۰۱۵
	درون گروه ها	۴۱/۶	۱۲	۳/۴۶۷		
	کل	۸۴/۱۶۹	۱۴			
مواد آلی خاک	بین گروه ها	۲/۹۷۲	۲	۱/۴۸۶	۱۵/۳۲۵	۰/۰۰۰
	درون گروه ها	۱/۱۶۳	۱۲	۰/۰۹۷		
	کل	۴/۱۳۵	۱۴			
کربن آلی	بین گروه ها	۱/۰۰۲	۲	۰/۵۰۱	۱۵/۴۱۲	۰/۰۰۰
	درون گروه ها	۱/۳۹	۱۲	۰/۰۳۳		
	کل	۱/۳۹۲	۱۴			
نیتروژن کل	بین گروه ها	۰/۰۰۷	۲	۰/۰۰۴	۱/۰۲۱	۰/۳۸۹
	درون گروه ها	۰/۰۴۳	۱۲	۰/۰۰۴		
	کل	۰/۰۵۱	۱۴			

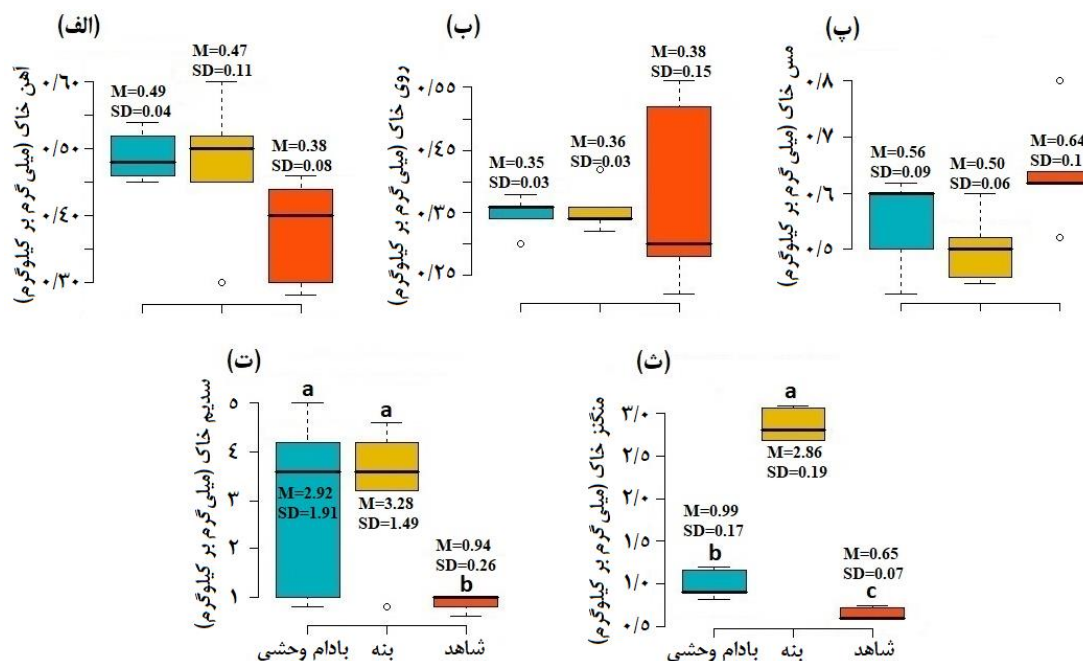
ادامه جدول ۱.

مشخصه‌ها	منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	معنی‌داری
فسفر قابل جذب	بین گروه‌ها	۲۶/۱۳۳	۲	۱۳/۰۶۷	۲/۹۷	۰/۰۸۹
	درون گروه‌ها	۵۲/۸	۱۲	۴/۴		
	کل	۷۸/۹۳۳	۱۴			
منیزیم قابل جذب	بین گروه‌ها	۷/۶۳۳	۲	۳/۸۱۷	۰/۶۷۶	۰/۵۲۷
	درون گروه‌ها	۶۷/۸	۱۲	۵/۶۵		
	کل	۷۵/۴۳۳	۱۴			
پتاسیم قابل جذب	بین گروه‌ها	۱۵۷۸۸۴/۱۳۳	۲	۷۸۹۴۲/۰۶۷	۱۴/۸۵	۰/۰۰۱
	درون گروه‌ها	۶۳۷۹/۲	۱۲	۵۳۱۵/۹۳۳		
	کل	۲۲۱۶۷۵/۳۳۳	۱۴			
کلسیم قابل جذب	بین گروه‌ها	۴/۹	۲	۲/۴۵	۰/۸۱۲	۰/۴۶۷
	درون گروه‌ها	۳۶/۲	۱۲	۳/۰۱۷		
	کل	۴۱/۱	۱۴			
آهن خاک	بین گروه‌ها	۰/۰۳۸	۲	۰/۰۱۹	۲/۷۷۹	۰/۱۰۲
	درون گروه‌ها	۰/۰۸۲	۱۲	۰/۰۰۷		
	کل	۰/۱۲	۱۴			
روی خاک	بین گروه‌ها	۰/۰۰۲	۲	۰/۰۰۱	۰/۱۲۱	۰/۸۸۷
	درون گروه‌ها	۰/۱۰۴	۱۲	۰/۰۰۹		
	کل	۰/۱۰۶	۱۴			
مس خاک	بین گروه‌ها	۰/۰۴۹	۲	۰/۰۲۵	۳/۴۲۲	۰/۰۶۷
	درون گروه‌ها	۰/۰۸۷	۱۲	۰/۰۰۷		
	کل	۰/۱۳۶	۱۴			
سدیم خاک	بین گروه‌ها	۱۵/۸۷۶	۲	۷/۹۳۸	۴/۰۱۴	۰/۰۴۶
	درون گروه‌ها	۲۳/۷۲۸	۱۲	۱/۹۷۷		
	کل	۳۹/۶۰۴	۱۴			
منگنز خاک	بین گروه‌ها	۱۴/۱۴۸	۲	۷/۰۷۴	۲۸۵/۲۳۳	۰/۰۰۰
	درون گروه‌ها	۰/۳۹۸	۱۲	۰/۰۲۵		
	کل	۱۴/۴۴۵	۱۴			
تنفس پایه میکروبی	بین گروه‌ها	۸/۹۲۹	۲	۲/۹۶۵	۷/۵۱	۰/۰۰۸
	درون گروه‌ها	۴/۷۳۷	۱۲	۰/۳۹۵		
	کل	۱۰/۶۶۷	۱۴			
تنفس برانگیخته میکروبی	بین گروه‌ها	۴۸۱۵/۵۲۱	۲	۲۴۰۷/۷۶۱	۳۳/۵۷۱	۰/۰۰۰
	درون گروه‌ها	۸۶۰/۶۵۵	۱۲	۷۱/۷۲۱		
	کل	۵۶۷۶/۱۷۶	۱۴			
زیست‌توده میکروبی کربن	بین گروه‌ها	۰/۱۹۶	۲	۰/۰۹۸	۰/۷۲۱	۰/۵۰۶
	درون گروه‌ها	۱/۶۲۷	۱۲	۰/۱۳۶		
	کل	۱/۸۲۳	۱۴			
پتانسیل نیتریفیکاسیون	بین گروه‌ها	۳۷۳۵۹/۷	۲	۱۸۶۷۹/۸۵	۲۷/۵۹۳	۰/۰۰۰
	درون گروه‌ها	۸۱۲۳/۷۱۶	۱۲	۶۷۶/۹۷۶		
	کل	۴۵۴۸۳/۴۱۶				

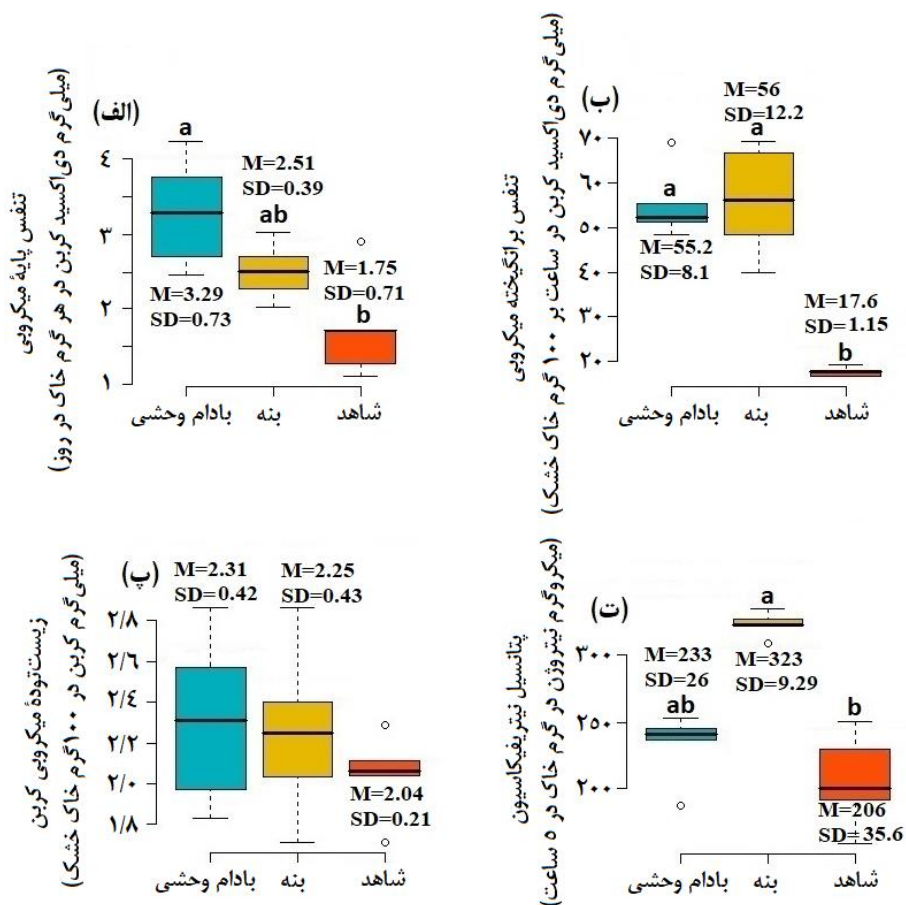


شکل ۲. نمودار مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تحت پوشش درختان بادام وحشی، بنه و نمونه‌های شاهد (بدون پوشش گیاهی). حروف کوچک انگلیسی نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح آماری ۱ و ۵ درصد براساس آزمون توکی است.

تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)، با توضیح ۴۹ درصد از واریانس کل داده‌ها، تفاوت‌های بارزی را در خصوصیات شیمیایی و زیستی خاک بین رویشگاه‌های بنه، بادام وحشی و مناطق شاهد آشکار کرد (جدول ۲، شکل ۵). این تحلیل نشان داد که حضور درختان منجر به افزایش معنی‌دار تنفس میکروبی (پایه و برانگیخته)، کربن آلی، فسفر قابل جذب، سدیم، کلسیم قابل جذب، پتانسیل نیتریفیکاسیون، منگنز و پتاسیم قابل جذب شده است. در مقابل، خاک شاهد دارای درصد رس بالاتری بود. در مجموع، PCA به وضوح تأثیر مثبت بنه و بادام وحشی را در بهبود کیفیت خاک نسبت به مناطق فاقد پوشش درختی تأیید می‌کند (شکل ۵).



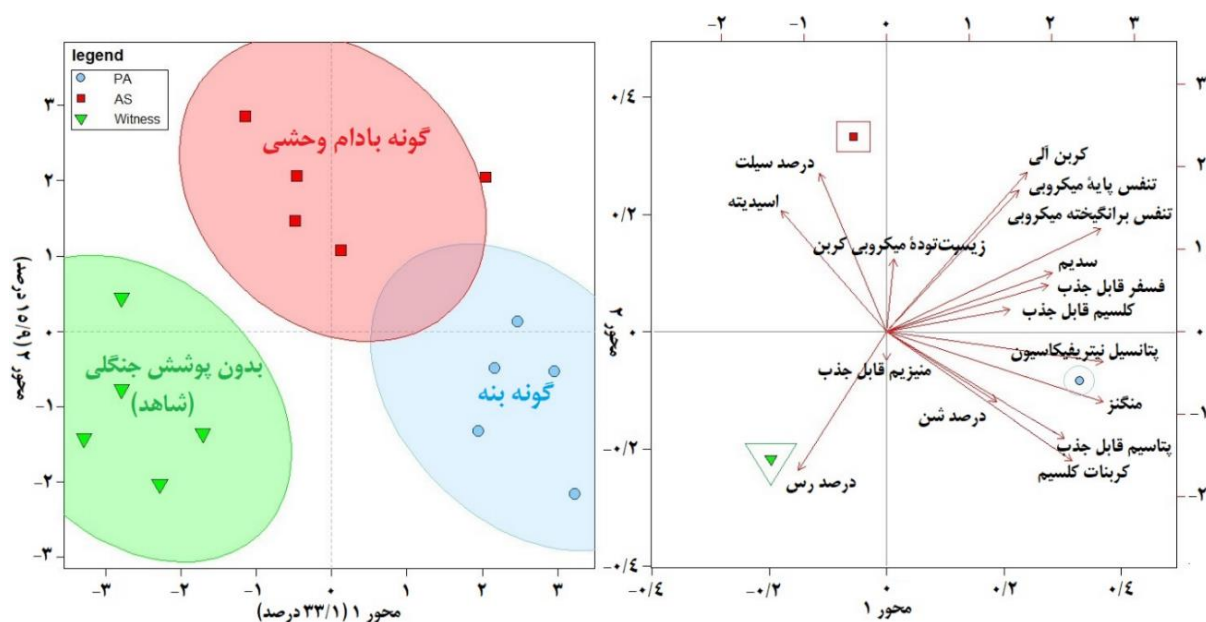
شکل ۳. نمودار عناصر ریزمغذی خاک (شامل آهن، روی، مس و منگنز) و عنصر سدیم تحت پوشش درختان بادام وحشی، بنه و نمونه‌های شاهد (بدون پوشش گیاهی). حروف کوچک انگلیسی نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح آماری ۱ و ۵ درصد براساس آزمون توکی است.



شکل ۴. نمودار مشخصه‌های زیستی خاک تحت پوشش درختان بادام وحشی، بنه و نمونه‌های شاهد (بدون پوشش گیاهی). حروف کوچک انگلیسی نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح آماری ۱ و ۵ درصد براساس آزمون توکی است.

جدول ۲. ضرایب مؤلفه‌های اصلی و مقدار ویژه مشخصه‌های خاک تحت پوشش گونه‌های درختی بادام وحشی، بنه و گروه شاهد

متغیر	محور اول	محور دوم
درصد رس	-۰/۱۵	-۰/۳۴
درصد سیلت	-۰/۱۱	۰/۳۹
درصد شن	۰/۱۹	-۰/۱۷
اسیدیته	-۰/۱۸	۰/۳۰
درصد آهک	۰/۳۱	-۰/۳۲
کربن آلی	۰/۲۴	۰/۳۹
فسفر قابل جذب	۰/۲۷	۰/۱۱
منیزیم قابل جذب	۰/۰۰۵	-۰/۰۷
پتاسیم قابل جذب	۰/۳۰	-۰/۲۶
کلسیم قابل جذب	۰/۲۱	۰/۵۴
سدیم	۰/۲۸	۰/۱۵
منگنز	۰/۳۷	-۰/۱۷
تنفس پایه میکروبی	۰/۲۲	۰/۳۵
تنفس برانگیخته میکروبی	۰/۳۶	۰/۲۵
زیست‌توده میکروبی کربن	۰/۱۲	۰/۱۸
پتانسیل نیتریفیکاسیون	۰/۳۷	-۰/۰۷
مقدار ویژه (Eigen value)	۲/۳۰	۱/۵۹
واریانس	۰/۳۳	۰/۱۵۹



شکل ۵. نمودار تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) برای بررسی همبستگی بین ویژگی‌های شیمیایی و زیستی خاک و تفکیک رویشگاه‌های بنه (PA)،

بادام وحشی (AS) و گروه شاهد (Witness).

نمودار سمت چپ، پراکندگی نمونه‌ها را بر اساس دو مؤلفه اصلی اول و دوم نشان می‌دهد که به ترتیب ۳۳/۱ درصد و ۱۵/۹ درصد از واریانس کل را توضیح می‌دهند.

نواحی بیضوی شکل، گروه‌بندی نمونه‌ها را بر اساس رویشگاه (بنه، بادام وحشی و شاهد) مشخص می‌کنند.

نمودار سمت راست، روابط بین ویژگی‌های خاک و پراکندگی نمونه‌ها را نشان می‌دهد. بردارهای ویژگی‌ها (در نمودار سمت راست) جهت و شدت همبستگی هر ویژگی

با مؤلفه‌های اصلی و ارتباط آنها با گروه‌های نمونه را نشان می‌دهند.

۴. بحث

تحقیقات نشان می‌دهد که گونه‌های درختی بر بهبود ویژگی‌های خاک در مقایسه با مناطق بدون پوشش تأثیر مثبتی دارند، اگرچه این تأثیرات بسته به نوع گونه متفاوت است [۱۷]. ویژگی‌های فیزیکی خاک معمولاً پایدارتر بوده و کمتر تحت تأثیر مدت کوتاه و گونه‌های درختی قرار می‌گیرند. در همین راستا، مطالعه حاضر نیز عدم تأثیر معنی‌دار پوشش بنه و بادام وحشی بر بافت خاک را تأیید می‌کند که با یافته‌های پیشین هم‌سو است [۱۸]. در مناطق خشک، تأثیر درختان بر خصوصیات شیمیایی خاک بارزتر است چرا که آنها از طریق لاشه‌ریزی (برگ و میوه)، سایه‌اندازی، جلوگیری از فرسایش و حفظ رطوبت، به افزایش مواد آلی، بهبود چرخه عناصر غذایی و نیز ارتقاء فعالیت‌های زیستی خاک کمک می‌کنند [۵]. پژوهش حاضر نشان داد که هر دو گونه بنه و بادام وحشی به‌طور معنی‌داری برخی خصوصیات شیمیایی خاک از جمله کربنات کلسیم، مواد آلی، کربن آلی و پتاسیم قابل جذب را بهبود بخشیده‌اند [۴، ۱۸]. به‌طور خاص، بالاترین میزان کربن آلی در خاک زیر تاج پوشش تاج بنه و سپس بادام وحشی مشاهده شد که هر دو به‌طور معنی‌داری از مناطق بدون پوشش بیشتر بودند که با نتایج مطالعات پیشین در مناطق خشک و نیمه‌خشک هم‌سو است [۱۲، ۱۸]. این افزایش کربن آلی (۱/۱ تا ۱/۴ درصد در زیر درختان در مقایسه با ۰/۳۶ درصد در مناطق شاهد)، نشان‌دهنده توانایی درختان در انباشت کربن آلی (ترسیب کربن) و بهبود حاصلخیزی خاک از طریق افزایش بقایای آلی است [۷، ۱۲، ۱۸]. این فرآیند، همچنین به بهبود ظرفیت تبادل کاتیونی، حفظ رطوبت و فعالیت میکروبی خاک کمک می‌کند [۱۹، ۲۰].

مطالعه حاضر نشان داد از میان کاتیون‌های خاک، تنها پتاسیم قابل جذب تحت تأثیر معنی‌دار پوشش درختی قرار می‌گیرد، که بر نقش ویژه گونه‌ها در چرخه پتاسیم خاک تأکید دارد [۱۹]. الگوی توزیع پتاسیم قابل جذب به‌ترتیب شامل بنه، بادام وحشی و مناطق بدون پوشش بود. این الگو به عوامل متعددی نسبت داده می‌شود: گونه‌های درختی با ریزش لاشه‌برگ و میوه‌های خود، مواد آلی غنی از پتاسیم را به خاک بازمی‌گردانند که پس از تجزیه توسط میکروارگانیسم‌ها، پتاسیم قابل جذب افزایش می‌یابد [۲۱]. علاوه بر این، درختان مقاوم به خشکی تمایل به جذب و ذخیره پتاسیم در بافت‌های خود دارند که پس از مرگ و تجزیه به خاک بازگردانده می‌شود [۲۲]. برخی گونه‌ها نیز با ترشح اسیدهای آلی و آنزیم‌ها، به حلالیت پتاسیم در کانی‌ها کمک می‌کنند [۲۳]. همچنین، پوشش درختی با کاهش فرسایش و رواناب، از آبشویی پتاسیم جلوگیری کرده و آن را در لایه‌های سطحی حفظ می‌کند [۴]. بنه به‌دلیل تاج و سیستم ریشه‌ای گسترده‌تر، در غنی‌سازی خاک از پتاسیم، عملکرد بهتری نسبت به بادام وحشی نشان داد [۴، ۱۸].

هرچند که مقادیر نیتروژن و فسفر خاک زیر تاج درختان بنه و بادام وحشی از نظر عددی بیشتر از مناطق بدون پوشش بود، این تفاوت از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. این یافته نشان‌دهنده پیچیدگی برهم‌کنش پوشش درختی و چرخه‌های عناصر غذایی در بوم‌سازگان‌های خشک است [۴]. پویایی نیتروژن در این مناطق به‌شدت تحت تأثیر فعالیت میکروبی قرار دارد که به‌دلیل محدودیت رطوبت و دمای بالا کاهش می‌یابد [۲۲]. بنابراین، تأثیر درختان بر افزودن مواد آلی و بهبود سایه ممکن است برای ایجاد تفاوت آماری معنی‌دار در کل نیتروژن خاک کافی نباشد [۱۷]. این نتیجه با یافته‌های مناطق نیمه‌خشک که افزایش چشمگیر نیتروژن خاک را زیر تاج پوشش درختان پسته وحشی و تنگرس گزارش دادند، هم‌سو نیست و این موضوع به شرایط مناسب‌تر برای تجزیه بقایای آلی زیر تاج پوشش درختان به‌عنوان دلیل این افزایش مرتبط می‌باشد. این تفاوت در نتایج، بر اهمیت در نظر گرفتن عوامل اقلیمی و ویژگی‌های خاص هر رویشگاه در تحلیل اثرات پوشش گیاهی بر حاصلخیزی خاک تأکید می‌کند [۱۲]. همچنین، فسفر عنصری کم‌تحرك است که انحلال و دسترسی به آن اغلب کند بوده و تحت تأثیر pH و کانی‌های خاک قرار دارد. در این مطالعه، pH خاک نیز تفاوت معنی‌داری را نشان نداده است. واریانس بالای مقادیر این عناصر، حتی زیر یک نوع پوشش درختی، نیز می‌تواند مانع از رسیدن به تفاوت آماری معنی‌دار شود. با این حال، حتی این افزایش عددی، نشان‌دهنده روندی مثبت و تأثیرگذار این گونه‌ها بر غنای خاک است که در درازمدت و با بلوغ بوم‌سازگان، می‌تواند به تفاوت‌های آماری معنی‌دار تبدیل شود و برای مدیریت پایدار جنگل در این مناطق حیاتی است [۱۸].

یکی دیگر از ویژگی‌های شیمیایی خاک، غلظت عنصر سدیم است که در مناطق تحت پوشش گونه‌های درختی افزایش یافته

است. این افزایش احتمالاً ناشی از چرخه زیستی درختان و بازگرداندن این عنصر به لایه‌های سطحی خاک است. به‌طور خاص، غلظت منگنز در رویشگاه‌های درختی، به‌ویژه زیر تاج درخت بنه، به‌طور چشمگیری بالاتر از مناطق شاهد بود. غلظت بالای منگنز به‌عنوان ریزمغذی برای گیاهان زیر تاج بنه و بادام وحشی نشان‌دهنده نقش مهم این گونه‌ها در انباشت و چرخه این عنصر است که احتمالاً به‌دلیل جذب انتخابی، ترشح ترکیبات آلی، یا بهبود شرایط میکروبی و شیمیایی خاک است [۲۴].

همسو با مطالعات پیشین [۱۸]، این پژوهش نیز تأثیر معنی‌دار گونه‌های بنه و بادام وحشی را بر ویژگی‌های زیستی خاک تأیید می‌کند. تنفس پایه میکروبی در بادام وحشی بالاتر از بنه و شاهد بود، در حالی که تنفس میکروبی برانگیخته (یانشانگر پتانسیل تجزیه مواد آلی) در بنه و سپس بادام وحشی بیشترین میزان را داشت، که هر دو به‌طور معنی‌داری از شاهد بالاتر بودند. این یافته‌ها، پتانسیل بالای میکروبی در تجزیه مواد آلی را زیر تاج پوشش این درختان نشان می‌دهد و با افزایش کربن آلی و بهبود رطوبت و عناصر غذایی زیر تاج پوشش درختان مرتبط است [۶، ۱۰]. پژوهشی مشابه نشان داد که تنفس میکروبی (پایه و برانگیخته) در خاک زیر تاج پوشش درختان پسته وحشی و تنگرس، به‌طور معنی‌داری بالاتر از خاک‌های خارج از تاج است. این افزایش به‌دلیل محتوای بیشتر کربن آلی و رطوبت در این مناطق است که محیطی ایده‌آل برای فعالیت ریزجانداران خاک و تجزیه بقایای گیاهی فراهم می‌کند. در مقابل، کمبود رطوبت و کربن آلی در خاک‌های شاهد، دلیل اصلی کاهش فعالیت میکروبی در این مناطق محسوب می‌شود [۱۲]. برخلاف فعالیت‌های تنفسی، کربن زیست‌توده میکروبی تفاوت معنی‌داری بین گروه‌های مورد مطالعه نشان نداد. این یافته نشان می‌دهد که تفاوت اصلی در فعالیت متابولیکی میکروب‌ها است و حجم یا تعداد کل آنها تفاوت معنی‌داری ندارند. زیست‌توده میکروبی کربن به کل جرم کربن موجود در بدن میکروارگانیسم‌های خاک اطلاق می‌شود و شاخصی کلیدی برای ارزیابی سلامت و حاصلخیزی خاک به‌شمار می‌رود. عدم تفاوت در این شاخص، در حالی که فعالیت‌های تنفسی (مانند تولید دی‌اکسید کربن) متفاوت است، می‌تواند به‌دلیل عواملی نظیر تفاوت در نوع گونه‌های میکروبی، دسترسی به منابع غذایی و تفاوت در شرایط محیطی مانند دما و رطوبت باشد که به‌طور مستقیم بر نرخ متابولیسم میکروب‌ها تأثیر می‌گذارند [۱۷]. در نهایت، بالاترین پتانسیل نیتریفیکاسیون در رویشگاه بنه مشاهده شد که از مناطق تحت پوشش بادام وحشی و شاهد بیشتر بود [۴، ۱۲]. این امر احتمالاً به غلظت بالاتر پتاسیم قابل جذب و منگنز در خاک این رویشگاه مربوط می‌شود. این دو عنصر به‌طور غیرمستقیم بر فرآیند نیتریفیکاسیون تأثیر می‌گذارند. پتاسیم نیز برای رشد و عملکرد باکتری‌های نیتریفیکاسیون‌کننده ضروری است و منگنز با فعال‌سازی آنزیم‌های کلیدی و کاهش سمیت فلزات سنگین، کارایی این میکروب‌ها را افزایش می‌دهد. بنابراین، وجود مقادیر بالاتر این دو عنصر در خاک زیر تاج پوشش درختان بنه احتمالاً به فعالیت بیشتر و در نتیجه، پتانسیل نیتریفیکاسیون بالاتر شده است [۲۴، ۲۵]. در مجموع، این نتایج بر نقش حیاتی بنه و بادام وحشی، به‌ویژه بنه، در بهبود چرخه‌های بیوژئوشیمیایی خاک تأکید دارد.

تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) به‌وضوح تفاوت‌های چشمگیری در خصوصیات شیمیایی و زیستی خاک بین رویشگاه‌های بنه، بادام وحشی و مناطق فاقد پوشش درختی را نشان داد. گروه شاهد، به‌طور مشخص از دو رویشگاه درختی مجزا بود، در حالی که بنه و بادام وحشی، با وجود همپوشانی جزئی، از شاهد متمایز بودند. این جدا سازی عمدتاً بر اساس مقادیر بالاتر تنفس میکروبی برانگیخته و پایه‌ای، مواد آلی خاک، پتانسیل نیتریفیکاسیون، منگنز و پتاسیم در رویشگاه‌های درختی بود که با مطالعات قبلی همخوانی دارد [۴، ۱۷]. به‌طور کلی، PCA، تأثیر مثبت بنه و بادام وحشی را بر بهبود کیفیت خاک و تمایز آن از مناطق بدون پوشش در این ابوم‌سازگان‌ها به‌وضوح تأیید می‌کند.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که تخریب پوشش جنگلی در ناحیه ایران-تورانی به اختلال در عملکرد بوم‌سازگان و ویژگی‌های خاک منجر شده است. بررسی‌ها حاکی از آن است که خاک تحت پوشش گونه‌های بنه و بادام وحشی در مقایسه با مناطق فاقد پوشش جنگلی، از نظر شاخص‌های شیمیایی (مانند کربن آلی و پتاسیم) و فعالیت‌های زیستی (تنفس میکروبی و پتانسیل نیتریفیکاسیون) برتری معنی‌داری دارد. تحلیل مؤلفه‌های اصلی تأیید می‌کند که این تفاوت‌ها عمدتاً ناشی از ورود مواد آلی به خاک در اثر حضور پوشش درختی است. در مقایسه میان دو گونه، بنه در بهبود ویژگی‌های زیستی خاک (تنفس برانگیخته و پتانسیل نیتریفیکاسیون)

عملکرد بهتری از خود نشان داد، درحالی‌که بادام وحشی دارای سطوح بالاتری از تنفس میکروبی پایه بود. با توجه به این یافته‌ها، گونهٔ بنه به‌عنوان گزینهٔ مناسب‌تری برای برنامه‌های حفاظت، احیاء و توسعهٔ جنگلکاری در استان کرمان پیشنهاد می‌شود. این نتایج می‌تواند مبنای علمی ارزشمندی برای مدیریت پایدار این بوم‌سازگان‌های حساس در شرایط تغییر اقلیم فراهم آورد.

۶. منابع

- [1] Moradi, Gh. & Zahedi Amiri, G.h. (2012). Life Forms of the Plants in Irano-Tourani Region and the Situation of This Region in the World. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 16(3), 77-91. (In Persian)
- [2] Sagheb Talebi, K., Sajedi, T., Pourhashemi, M., Talebi, K.S., Sajedi, T. & Pourhashemi, M. (2014). Irano-Turanian Region. *Forests of Iran: A Treasure from the Past, a Hope for the Future*, 67-113.
- [3] Hamzehpour, M., Bordbar, S.K., Joukar, L. & Abbasi, A.R. (2006). The potential of rehabilitation of wild pistacio forests through straight seed sowing & seedling planting. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 14(3), 220-207. (In Persian)
- [4] Saberi, F., Kiani, B., Omidvar, E., Azimzadeh, H., & Esmaeilpour, M. (2023). Evaluating the plantation success by mountain almond (*Amygdalus scoparia* Spach.) and its effect on vegetation and soil in Arjan habitats of Jamal Beyg region, Fars province. *Water and Soil Management and Modelling*, 3(4), 227-240. (In Persian)
- [5] Nottingham, A.T., Meir, P., Velasquez, E. & Turner, B.L. (2020). Soil carbon loss by experimental warming in a tropical forest. *Nature*, 584(7820), 234-237.
- [6] Ndossi, E.M., Becker, J.N., Hemp, A., Dippold, M.A., Kuzyakov, Y. & Razavi, B.S. (2020). Effects of land use and elevation on the functional characteristics of soil enzymes at Mt. Kilimanjaro. *European Journal of Soil Biology*, 97(3), 103167.
- [7] Błońska, E., Lasota, J., Prazuch, W. & Ilek, A. (2025). Vertical variations in enzymatic activity and C: N: P stoichiometry in forest soils under the influence of different tree species. *European Journal of Forest Research*, 144(1), 83-94.
- [8] Zouitane, I., Ferioun, M., Bouamri, K., Derraz, K., Koraichi, S.I., Idbella, M., Lingua, G. & El Ghachtouli, N. (2025). Comparative assessment of physicochemical properties, functional diversity and enzymatic activities in three *Opuntia ficus-indica* soils across diverse climatic regions in Morocco. *Scientific African*, 28, p.e02663.
- [9] Bayranvand, M., Akbarinia, M., Salehi Jouzani, G., Gharechahi, J. & Baldrian, P. (2021). Distribution of soil extracellular enzymatic, microbial, and biological functions in the C and N-cycle pathways along a forest altitudinal gradient. *Frontiers in Microbiology*, 12, p.660603.
- [10] Massaccesi, L., Feudis, M. D., Leccese, A. & Agnelli, A. (2020). Altitude and vegetation affect soil organic carbon, basal respiration and microbial biomass in apennine forest soils. *Forests*, 11(6), 710.
- [11] Walker, T.W., Kaiser, C., Strasser, F., Herbold, C.W., Leblans, N.I., Woebken, D. & Janssens, I.A. (2018). Sigurdsson, B. D., & Richter, A., Microbial temperature sensitivity and biomass change explain soil carbon loss with warming. *Nature Climate Change*, 8(10), 885-9.
- [12] Rostamikia, Y., Matiniazadeh, M., Nouri, E., Alizadeh, T. & Mohtaram Anbaran, S. (2025). 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). *Iranian Journal of Forest*, 17(1), 13-29. (In Persian)
- [13] Matiniazadeh, M. (2021). National Project for Soil Assessment and Monitoring of Iran-Turanian Forest Masses. pp.121 (In Persian)
- [14] Ghazan Shahy, C. (2006). Analysis of soil and plants. Homa Publication, 272 p.
- [15] 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.
- [16] Schinner, F., Ohlinger, R., Kandeler, E. & Margesin, R. (1996). Methods in soil biology. *Springer-Verlage Berline Hidelberg*, 418 p

- [17] Urbanová, M., Šnajdr, J. & Baldrian, P. (2015). Composition of fungal and bacterial communities in forest litter and soil is largely determined by dominant trees. *Soil Biology and Biochem*, 84(4), 53-64.
- [18] Moradinejad, A., Matinizadeh, M. & Alizadeh, T. (2024). Effects of pimento (*Pistacia atlantica* Desf) on some soil biological characteristics of Iran-Turanian forest masses (Case study: Farak Tafareh region). *Journal of Sol Biology*, 12(1), 141-154. (In Persian)
- [19] Razanamalala, K., Razafimbelo, T., Maron, P.A., Ranjard, L., Chemidlin, N., Lelièvre, M., Dequiedt, S., Ramaroson, V.H., Marsden, C., Becquer, T. & Trap, J. (2018). Soil microbial diversity drives the priming effect along climate gradients: a case study in Madagascar. *The ISME journal*, 12(2), 451-62.
- [20] Bayranvand, M., Kooch, Y. & Bahmani, M. (2019). Variability analysis of soil carbon and nitrogen storage under *Prosopis cineraria*, *Calotropis procera* and *Ziziphus spinosa* species in the South of Kerman. *Journal of Arid Biome*, 8(2), 91-101. (In Persian)
- [21] Shukla, M.K., Lal, R., Ebinger, M. & Meyer, C. (2006). Physical and chemical properties of soils under some piñon-juniper-oak canopies in a semi-arid ecosystem in New Mexico. *Journal of Arid Environments*, 66(4), 673-685.
- [22] Bayranvand, M., Matinizadeh, M., Sadeghi, S.M., Alizadeh, T., Nouri, E. & Darroudi, H. (2024). Effect of two species of *Prosopis* (*P. cineraria* and *P. juliflora*) on soil quality in Saharo-Sindian region of Iran (Case study: Sistan and Baluchestan province). *Journal of Forest and Wood Products*, 76(4), 299-311. (In Persian)
- [23] Zarafshar, M., Vincent, G., Korboulewsky, N., & Bazot, S. (2024). The impact of stand composition and tree density on topsoil characteristics and soil microbial activities. *Catena*, 234(5), 107541.
- [24] Xin, X., Jiang, X., Su, J., Yan, X., Ni, J., Faeflen, S.J., Huang, X. & Wright, A.L. (2016). Manganese oxide affects nitrification and ammonia oxidizers in subtropical and temperate acid forest soils. *Catena*, 137(2), 24-30.
- [25] Zheng, Y., Liu, X., Cai, Y., Shao, Q., Zhu, W. & Lin, X. (2022). Combined intensive management of fertilization, tillage, and organic material mulching regulate soil bacterial communities and functional capacities by altering soil potassium and pH in a Moso bamboo forest. *Frontiers in Microbiology*, 13(7), p.944874.