

(OPEN ACCESS)

The effect of *Juniperus excelsa* M. Bieb on soil physical, chemical and biological characteristics in the Irano-Turanian region

**Mashaallah Chonchepour¹, Mohammad Matinizadeh², Mohammad Bayranvand^{*3},
Elham Nouri⁴, Tahereh Alizadeh⁵, Ahmad Pourmirzaei⁶,
Fatemeh Darijani⁷, Mohammad Reza Kudori⁸**

1. Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Kerman, Iran. E-mail: mghonchepour1@gmail.com
2. Forest Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. E-mail: 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. E-mail: m.bayranvand@gmail.com
4. Forest Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. E-mail: nouri@rifr-ac.ir
5. Forest Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. E-mail: talizadeh@rifr-ac.ir
6. Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Kerman, Iran. E-mail: ah_poormirzaei@yahoo.com
7. Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Kerman, Iran. E-mail: darijanifateme2022@gmail.com
8. Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Kerman, Iran. E-mail: mr_kudori@yahoo.com

Article Info	ABSTRACT
Article type: Full Length Research Paper	Background and Objectives: Following excessive exploitation of natural areas, particularly forests, soil fertility has declined, and the sustainability of production systems has been compromised. Consequently, understanding forest soil conditions and investigating the effects of various activities on soil characteristics play a crucial role in sustainable forest management. This study aimed to evaluate the physical, chemical, and biological characteristics of soil in the habitat of <i>Juniperus excelsa</i> M. Bieb. in the Galouchar region of Rabar, Kerman Province, Iran.
Article history: Received: 04.12.2025 Revised: 05.10.2025 Accepted: 05.13.2025	
Keywords: Juniper forest community, Kerman Province, Microbial biomass carbon, Nitrification potential, Soil chemical	Materials and Methods: Soil sampling was conducted using a selective method in <i>J. excelsa</i> forest habitats and a control area (without vegetation cover). Twenty-five <i>J. excelsa</i> trees with similar trunk diameters and canopy cover were selected. Soil samples were collected from a depth of 0 to 25 cm, and every five samples from beneath adjacent trees were mixed to form a composite sample for laboratory analysis. To minimize the influence of confounding environmental factors, all selected trees and sampling points were ensured to have relatively uniform conditions in terms of altitude, slope, and aspect. After transportation to the laboratory, the samples were prepared and analyzed using standard methods to determine: physical properties: soil texture chemical properties: pH, electrical conductivity (EC), calcium carbonate equivalent (CCE), organic carbon (OC), total nitrogen (TN), available phosphorus (P), available potassium (K), exchangeable calcium (Ca), and exchangeable magnesium

(Mg). Micronutrients: Iron (Fe), zinc (Zn), copper (Cu), manganese (Mn), and sodium (Na), Biological properties: basal respiration (SMR), substrate-induced respiration (SIR), microbial biomass carbon (MBC), and potential nitrification (PN). The data obtained from soil samples beneath tree canopies were statistically compared with those from the control area using an independent t-test.

Results: The results indicated that beneath the *Juniper* tree canopy, the silt percentage increased significantly, while no significant differences were observed in other soil texture components. Soil chemical properties, including pH, EC, OC, TN, Ca and K, were significantly higher under the *Juniper* canopy compared to the control area. In contrast, phosphorus (P), and magnesium (Mg) did not exhibit significant differences. Among micronutrients, all elements except copper (Cu) showed a significant increase in soils beneath the *Juniper* canopy. Furthermore, soil biological indicators, SMR, SIR, MBC, and PN, were significantly enhanced under the *Juniper* canopy, confirming the positive influence of this species on soil microbial activity.

Conclusion: The findings demonstrate that *J. excelsa* significantly improves soil chemical and biological properties, including enhanced microbial respiration, microbial biomass carbon, and nitrification potential beneath its canopy. This improvement is attributed to the accumulation of organic matter and favorable microclimatic conditions created by the tree canopy. Given these results, we recommend considering *J. excelsa* in afforestation and habitat restoration programs to preserve and enhance soil fertility and health in mountainous regions with nutrient-poor soils.

Cite this article: Chonchepour, Mashaallah, Matinizadeh, Mohammad, Bayranvand, Mohammad, Nouri, Elham, Alizadeh, Tahereh, Pourmirzaei, Ahmad, Darijani, Fatemeh, Kudori, Mohammad Reza. 2025. The effect of *Juniperus excelsa* M. Bieb on soil physical, chemical and biological characteristics in the Irano-Turanian region. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 32 (1), 1-18.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jwfst.2025.23522.2104

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

اثر گونه درختی ارس (*Juniperus excelsa* M. Bieb) بر مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک در ناحیه ایران-تورانی

ماشاله غنچه‌پور^۱، محمد متینی‌زاده^۲، محمد بیرانوند^{۳*}، الهام نوری^۴، طاهره علیزاده^۵،
احمد پورمیرزایی^۶، فاطمه دریجانی^۷، محمدرضا کدوری^۸

۱. محقق غیر هیأت علمی، 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@gmail.com
۲. دانشیار، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: matini@rifr-ac.ir
۳. نویسنده مسئول، استادیار 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@gmail.com
۴. محقق غیر هیأت علمی، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: nouri@rifr-ac.ir
۵. محقق غیر هیأت علمی، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: talizadeh@rifr-ac.ir
۶. محقق غیر هیأت علمی 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_poormirzai@yahoo.com
۷. محقق هیأت علمی بخش تحقیقات جنگل و مرتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران. رایانامه: darijanifatemeh2022@gmail.com
۸. محقق غیر هیأت علمی بخش تحقیقات جنگل و مرتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران. رایانامه: mr_kudori@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی-پژوهشی	سابقه و هدف: در پی بهره‌برداری‌های بی‌رویه از عرصه‌های طبیعی، به‌ویژه جنگل‌ها، حاصلخیزی خاک کاهش یافته و پایداری تولید با اختلال مواجه شده است. ازاین‌رو، آگاهی از وضعیت خاک‌های جنگلی و بررسی اثرات فعالیت‌های مختلف بر ویژگی‌های خاک، نقشی حیاتی در مدیریت جنگل ایفا می‌کند. این پژوهش با هدف ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک در رویشگاه گونه درختی ارس (<i>Juniperus excelsa</i> M. Bieb) در منطقه گلوچار رابر استان کرمان انجام شد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۲۳ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۲۳	
واژه‌های کلیدی: استان کرمان، پتانسیل نیتریفیکاسیون، جامعه جنگلی ارس، زی‌توده میکروبی کربن، شیمی خاک	مواد و روش‌ها: نمونه‌برداری خاک به روش انتخابی از رویشگاه‌های جنگلی ارس و منطقه شاهد (فاقد پوشش گیاهی) انجام شد. بدین‌منظور، ۲۵ پایه از گونه ارس با قطر تنه و تاج پوشش مشابه انتخاب گردید. نمونه‌های خاک از عمق صفر تا ۲۵ سانتی‌متری برداشت شد و سپس هر پنج نمونه خاک در زیر درختان مجاور هم مخلوط شدند و یک نمونه ترکیبی برای انجام آزمایش‌های خاک حاصل شد. در راستای کاهش اثر عوامل محیطی مداخله‌گر، تلاش شد تا

تمامی درختان و نقاط نمونه‌برداری انتخاب شده از نظر ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت جغرافیایی در شرایط نسبتاً یکسانی قرار داشته باشند. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه، جهت سنجش ویژگی‌های فیزیکی (بافت خاک)، شیمیایی (واکنش خاک، هدایت الکتریکی، کربنات کلسیم، کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل جذب، پتاسیم قابل جذب، کلسیم قابل جذب و منیزیم قابل جذب)، مشخصه‌های ریزمغذی (آهن، روی، مس، منگنز و سدیم) و زیستی (تنفس میکروبی پایه و برانگیخته، زی توده میکروبی کربن، پتانسیل نیتریفیکاسیون) با استفاده از روش‌های استاندارد آماده‌سازی و اندازه‌گیری شدند. در ادامه، داده‌های به‌دست‌آمده از نمونه‌های خاک زیر تاج درختان با داده‌های مربوط به منطقه شاهد (فاقد پوشش گیاهی) با استفاده از آزمون t مستقل مورد مقایسه آماری قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که زیر تاج درخت ارس، درصد سیلت خاک افزایش معناداری داشته، اما تفاوت آماری معنی‌داری در سایر اجزای بافت خاک مشاهده نگردید. همچنین، مقادیر ویژگی‌های شیمیایی خاک مانند اسیدیته، هدایت الکتریکی، کربن آلی، نیتروژن کل و پتاسیم قابل جذب زیر تاج ارس نسبت به منطقه شاهد به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافته است، درحالی‌که کربنات کلسیم، فسفر قابل جذب و منیزیم قابل جذب تفاوت آماری معنی‌داری را نشان ندادند. عناصر ریزمغذی (به‌جز مس) خاک زیر تاج ارس نسبت به منطقه شاهد به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافته است. علاوه بر این، شاخص‌های زیستی خاک مانند تنفس پایه میکروبی، تنفس برانگیخته میکروبی، زی توده میکروبی کربن و پتانسیل نیتریفیکاسیون نیز زیر تاج ارس افزایش معناداری نشان داد که بیانگر تأثیر مثبت این گونه درختی بر فعالیت میکروبی خاک است.

نتیجه‌گیری: در مجموع، یافته‌های این پژوهش نمایانگر تأثیر مثبت و معنی‌دار گونه درختی ارس بر بهبود شاخص‌های شیمیایی و زیستی خاک، از جمله افزایش قابل‌توجه تنفس میکروبی پایه و برانگیخته، زی توده میکروبی کربن و پتانسیل نیتریفیکاسیون در زیر تاج درختان است. این امر بیانگر تحریک قوی فعالیت میکروبی ناشی از تجمع مواد آلی و بهبود شرایط میکروکلیمی در مجاورت تاج پوشش این گونه می‌باشد. بر اساس نتایج حاصله، پیشنهاد می‌گردد در راستای حفظ و ارتقاء حاصلخیزی و سلامت خاک در مناطق کوهستانی با خاک‌های فقیر، به‌کارگیری گونه ارس در برنامه‌های جنگل‌کاری و احیاء رویشگاه‌ها مدنظر قرار گیرد.

استناد: غنچه‌پور، ماشاله، متینی‌زاده، محمد، بیرانوند، محمد، نوری، الهام، علیزاده، طاهره، پورمیرزایی، احمد، دریجانی، فاطمه، کدوری، محمدرضا (۱۴۰۴). اثر گونه درختی ارس (*Juniperus excelsa* M. Bieb) بر مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک در ناحیه ایران-تورانی. نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، ۳۲ (۱)، ۱-۱۸.

DOI: 10.22069/jwfst.2025.23522.2104



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

ناحیه رویشی ایرانی-تورانی، با پوشش گسترده‌ای از فلات مرکزی ایران و وسعت ۴/۰۳۲/۷۴۷ هکتار از جنگل‌های کشور، یکی از مهم‌ترین مناطق زیستی ایران محسوب می‌شود. این ناحیه، با تنوع اقلیمی و توپوگرافی، به دو بخش کوهستانی سردسیر و جلگه‌ای گرم و خشک تقسیم می‌شود (۱). علی‌رغم پراکنش کم پوشش گیاهی، این منطقه از تنوع زیستی قابل توجهی برخوردار است، به طوری که ۶۹ درصد فلور ایران در آن جای گرفته است (۲). گونه‌های اصلی منطقه کوهستانی شامل بنه، بادام و ارس و گونه‌های اصلی منطقه جلگه‌ای شامل گز، تاغ، قیچ و اسکنبیل است. جنگل‌های کوهستانی ایران-تورانی که با گونه غالب ارس مشخص می‌شوند، در طول زمان دستخوش تغییرات گسترده‌ای شده‌اند و امروزه، به دلیل عوامل انسانی و محیطی، نشانه‌های کمی از جوامع یکپارچه را نشان می‌دهند (۳). با این وجود، رویشگاه‌های سالم و پویایی از این گونه وجود دارند که نیازمند حفاظت هستند (۴، ۵).

در ایران، از بین سوزنی‌برگان، جنس ارس با پنج گونه، بیش‌ترین تنوع را دارد. گونه *Juniperus excelsa* M. Bieb در ارتفاعات بالا، حتی در مرز جنگل و مرتع، رشد می‌کند و در شرایط سخت، با تغییرات مورفولوژیکی، به بقای خود ادامه می‌دهد (۶). گونه درختی ارس، به عنوان یکی از گونه‌های شاخص مناطق کوهستانی، نقش حیاتی در پایداری اکوسیستم‌های این ناحیه ایفا می‌کند (۷). این گونه، با سازگاری بالا به شرایط سخت محیطی، توانایی حفظ خاک‌های فقیر و شکننده را دارد و از فرسایش خاک جلوگیری می‌کند (۱، ۸). در اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک کوهستانی، درختان پراکنده ارس با ایجاد سایه، حفظ رطوبت و افزایش مواد آلی خاک، می‌توانند نقش مهمی در بهبود

کیفیت خاک ایفا می‌کنند (۴، ۹، ۱۰). درختان با تغییر ویژگی‌های خاک از طریق تولید بقایای گیاهی، تجمع مواد آلی، حفظ رطوبت و تغییر نسبت کربن به نیتروژن و عناصر ریزمغذی بر فعالیت میکروبی خاک تأثیر می‌گذارند (۱۱، ۱۲، ۱۳). این درختان با تعدیل ریزاقلیم و افزایش فعالیت‌های زیستی خاک، شرایط مناسبی را برای رشد سایر گیاهان و میکروارگانیسم‌ها فراهم می‌کنند (۱، ۱۴).

با این حال، گونه ارس، به‌ویژه در مناطق نیمه‌خشک، با تهدیداتی از جمله بهره‌برداری بیش‌ازحد، چرای دام و آتش‌سوزی مواجه است که نرخ تجدیدحیات آن را کاهش داده و بقای آن را تهدید می‌کند (۹). درک اثرات گونه‌های درختی بر پویایی‌های زیستی خاک، به‌ویژه فعالیت‌های میکروبی حساس به تغییرات محیطی، برای مدیریت بهینه و حفاظت از این گونه‌ها حیاتی است، زیرا واکنش سریع میکروارگانیسم‌های خاک ناشی از ویژگی‌هایی مانند اندازه کوچک، متابولیسم بالا، چرخه عمر کوتاه و تعاملات پیچیده آن‌ها است (۱۱). این خواص مستقیماً با تعداد و فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک (مانند زی‌توده میکروبی و تنفس) یا غیرمستقیم با تجزیه مواد آلی و آزادسازی مواد معدنی مرتبط هستند (۱۵). فعالیت میکروبی خاک در این فرآیندها بسیار مهم است. شاخص‌هایی مانند تنفس میکروبی، میزان دی‌اکسیدکربن خروجی و ذی‌توده میکروبی به تغییرات محیطی حساس بوده و اثرات فعالیت‌های انسانی و تخریب خاک را نشان می‌دهند (۶، ۱۶). در بررسی دیگری گزارش شده است که پوشش درختی ارس، با افزایش مواد آلی و ایجاد تغییرات فیزیکوشیمیایی در خاک، تأثیر قابل‌توجهی بر ویژگی‌های آن دارد (۱۷). این تغییرات، فعالیت‌های میکروبی خاک را افزایش داده و به پایداری اکوسیستم کمک می‌کند (۵، ۱۱).

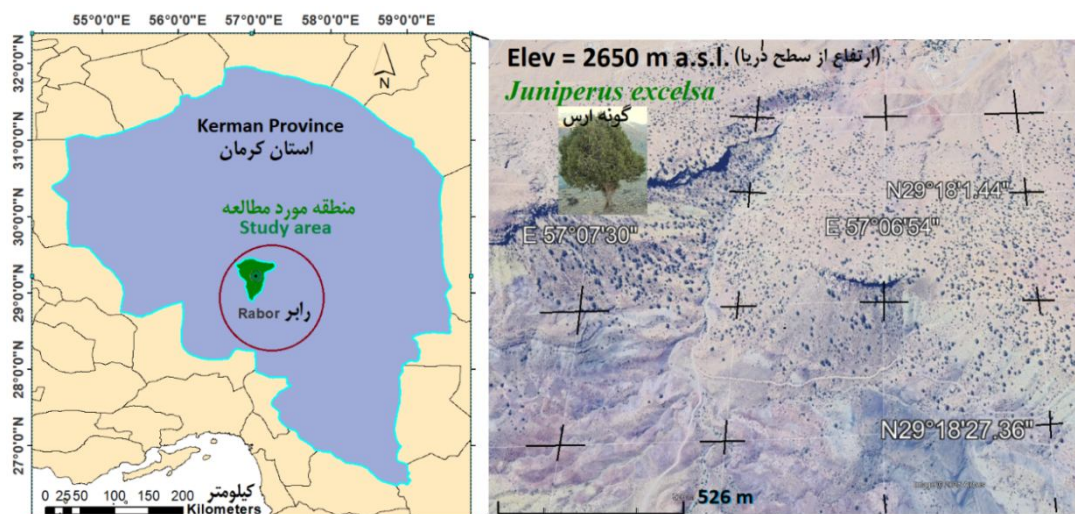
با توجه به اهمیت اکولوژیکی گونه ارس در ناحیه رویشی ایران-تورانی، پژوهش حاضر به بررسی اثرات این گونه بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک می‌پردازد. هدف از این مطالعه، درک عمیق‌تر نقش ارس در بهبود کیفیت خاک و ارائه راهکارهایی برای حفظ و احیای رویشگاه‌های آن است (۱۰، ۱۴، ۱۸). در راستای این هدف، این پژوهش به‌طور خاص به بررسی تأثیر گونه ارس بر مشخصه‌های شیمیایی و زیستی خاک می‌پردازد و تلاش می‌کند تا ارتباطات موجود بین این گونه گیاهی و ویژگی‌های خاک را روشن سازد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و روش نمونه‌برداری: این پروژه در ذخیره‌گاه جنگلی ارس گلوچار شهرستان رابر در استان کرمان اجرا شد. شهرستان رابر، در دامنه جنوبی کوه شاه قرار دارد و سرچشمه رودخانه هلیل‌رود است. این ذخیره‌گاه جنگلی به مساحت ۲۴۰۰ هکتار با درختانی بالغ بر ۵۰۰ سال قدمت در منطقه گلوچار واقع شده است. آب‌وهوای شهر رابر به دلیل قرار گرفتن در دامنه کوه‌های مرتفع و نیز ارتفاع بالا از سطح دریا معتدل و کوهستانی است. شهرستان رابر تابستان‌های کوتاه و خنک و زمستان‌های سردی دارد. بر اساس اطلاعات اداره کل هواشناسی استان کرمان، میانگین دمای سالیانه ۱۵/۳۹ درجه سانتی‌گراد، میانگین بارندگی سالیانه ۲۲۳/۶ میلی‌متر و ارتفاع آن از سطح دریا منطقه مورد مطالعه ۲/۳۴۳ متر است. رابر دارای پوشش گیاهی متنوعی از جمله جنگل‌های بنه، بادام‌کوهی، ارس، کیکم، کهور و ارچن است. ذخیره‌گاه جنگلی ارس در منطقه گلوچار شهرستان

رابر، واقع در فاصله ۲۳ کیلومتری شهر رابر، مهم‌ترین رویشگاه درختان ارس در استان کرمان است. این منطقه به دلیل تراکم بالای درختان ارس، توسط اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان و شهرستان رابر محافظت می‌شود. زادآوری و رشد نهال‌های ارس در این منطقه به دلیل این حفاظت، بسیار امیدوارکننده است و با ادامه این روند، آینده‌ای پایدار برای این جنگل پیش‌بینی می‌شود.

با پایش میدانی، نمونه‌برداری خاک به روش انتخابی از رویشگاه‌های جنگلی ارس و منطقه شاهد (فاقد پوشش گیاهی) انجام شد. بدین منظور، ۲۵ پایه از گونه ارس با قطر تنه و تاج پوشش مشابه انتخاب گردید (۱۸). نمونه‌های خاک از عمق ۰ تا ۲۵ سانتی‌متری برداشت شد و سپس هر پنج نمونه خاک در زیر درختان مجاور هم مخلوط شدند و یک نمونه ترکیبی برای انجام آزمایش‌های خاک حاصل شد. نمونه‌های خاک در زیر تاج پوشش درختان ارس با فاصله یکسان از تنه (در فاصله میان تنه تا لبه انتهایی تاج) و در جهت شرق درخت و در منطقه شاهد (تاج درخت دیگری و پوشش گیاهی در آن وجود نداشته باشد) انجام شد (۱۸). در راستای کاهش اثر عوامل محیطی مداخله‌گر، تلاش شد تا تمامی درختان و نقاط نمونه‌برداری انتخاب‌شده از نظر ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت جغرافیایی در شرایط نسبتاً یکسانی قرار داشته باشند. نمونه‌های خاک در منطقه الک شد و بخشی از نمونه‌های خاک برای ثابت ماندن فعالیت میکروبی آن و سنجش ویژگی‌های میکروبی خاک، در داخل یونولیت با حفظ شرایط سرد به آزمایشگاه منتقل شدند.



شکل ۱- رویشگاه گونه درختی ارس در استان کرمان، شهرستان راهر (سایت گلوچار).

Figure 1. Habitat of the Juniper tree species in Kerman Province, Rabar County (Galouchar site).

روش، ابتدا عصاره اشباع خاک تهیه شد. سپس، هدایت الکتریکی این عصاره مستقیماً با دستگاه هدایت‌سنج که قبلاً کالیبره شده بود، قرائت گردید. نتیجه به صورت دسی‌زیمنس بر متر (dS/m) گزارش شد (۲۰).

کربن آلی خاک با روش اکسایش تر والکی-بالک اندازه‌گیری شد. در این روش، نمونه خاک با محلول دی‌کرومات پتاسیم و اسیدسولفوریک غلیظ اکسید شد. سپس، مقدار دی‌کرومات پتاسیم مصرف‌شده با تیتراسیون با محلول فروس سولفات آمونیوم تعیین گردید و مقدار کربن آلی خاک محاسبه شد (۲۱). نیتروژن کل خاک با روش کج‌لدال تعیین شد. در این روش، نیتروژن آلی خاک تحت حرارت با اسید سولفوریک و کاتالیزور به آمونیوم سولفات تبدیل و سپس آمونیاک آزاد شده تقطیر و با تیتراسیون اسیدی اندازه‌گیری شد (۲۲). فسفر قابل جذب خاک با روش اولسن و اسپکتروفتومتری اندازه‌گیری شد. بدین‌منظور، فسفر خاک با بی‌کربنات سدیم استخراج و سپس با واکنش رنگی مولیبدات، مقدار آن توسط اسپکتروفتومتر تعیین گردید (۲۳). برای اندازه‌گیری عناصر پتاسیم، کلسیم، سدیم، منیزیم، منگنز، آهن و روی قابل جذب،

روش آماده‌سازی نمونه‌ها، تجزیه آزمایشگاهی خاک: نمونه‌های خاک پس از حذف کلوخه‌ها و بقایای گیاهی، از الک دو میلی‌متری عبور داده و به دو زیرنمونه تقسیم شدند. زیرنمونه اول برای اندازه‌گیری فعالیت میکروبی در دمای منفی ۲۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری و زیرنمونه دوم برای تعیین اجزای بافت و ویژگی‌های شیمیایی خاک در معرض هوای آزاد خشک شد. آزمایش‌های فیزیکی خاک شامل تعیین درصد اجزای بافت خاک با روش هیدرومتری بایکاس انجام شد. آزمایش‌های شیمیایی خاک با استفاده از روش‌های متداول آزمایشگاهی سنجیده شد. واکنش خاک (pH) با استفاده از pH متر در نسبت ۱:۲/۵ (خاک به آب) سنجیده شد. برای تعیین کربنات کلسیم معادل (آهک خاک) به روش تیتراسیون برگشتی، مقدار مشخصی از نمونه خاک وزن شد و با مقدار اسید کلریدریک استاندارد واکنش داد؛ سپس، مقدار اسید باقی‌مانده با استفاده از یک باز استاندارد تیتراسیون شد و از این طریق، مقدار کربنات کلسیم موجود در نمونه خاک محاسبه و به صورت درصد وزنی گزارش گردید (۱۹). هدایت الکتریکی عصاره اشباع با استفاده از هدایت‌سنج اندازه‌گیری شد. در این

نمونه‌های خاک با محلول استات آمونیوم استخراج و سپس غلظت این عناصر در عصاره با استفاده از دستگاه جذب اتمی تعیین گردید (۱۹).

برای اندازه‌گیری تنفس میکروبی پایه، نمونه خاک مرطوب در ظرف در بسته انکوبه و دی‌اکسید کربن تولید شده در یک بازه زمانی مشخص (به روش خشتی‌سازی با سود NaOH و تیتراسیون با اسید کلریدریک) اندازه‌گیری شد (۱۹). در مقابل، برای تنفس میکروبی برانگیخته، نمونه خاک با محلول گلوکز مخلوط شده و دی‌اکسید کربن تولید شده در یک بازه زمانی کوتاه اندازه‌گیری شد. زی‌توده میکروبی کربن خاک با استفاده از روش استخراج کربن میکروبی، به‌ویژه روش کشت بی‌هوازی (Fumigation-extraction)، اندازه‌گیری شد. در این فرآیند، نمونه‌های خاک خشک جمع‌آوری و با بخار کلروفرم فومینه شدند تا میکروارگانیسم‌ها آزاد گردند. سپس، کربن میکروبی با محلول کربنات کلسیم استخراج و با روش‌های کربن‌سنجی تعیین مقدار شد. در نهایت، بایومس میکروبی کربن خاک با مقایسه کربن استخراج شده با کربن کل خاک محاسبه گردید (۲۴). به‌طور خلاصه، پتانسیل نیتریفیکاسیون در ۵ گرم خاک مرطوب با استفاده از سویسترای سولفات آمونیوم در دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. نمونه‌های کنترل در دمای منفی ۲۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. پس از ۵ ساعت انکوباسیون و افزودن معرف رنگی، جذب در ۵۲۰ نانومتر ثبت شد. این روش شامل مخلوط کردن سولفات آمونیوم با خاک، انکوباسیون در شرایط کنترل‌شده، اندازه‌گیری آمونیوم و نیترات و محاسبه نرخ نیتریفیکاسیون از تغییرات نیترات است (۲۵).

روش آماری: در این مطالعه، به‌منظور بررسی نرمال بودن داده‌ها، از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف استفاده شد. هم‌چنین، برای بررسی همگنی واریانس، از آزمون لون بهره گرفته شد. به‌منظور مقایسه میانگین

و معنی‌داری آن مشخصه‌های خاک در زیر تاج گونه درختی ارس و منطقه شاهد، از آزمون T مستقل (Independent Samples T-test) استفاده گردید. تمامی تجزیه‌وتحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار R (نسخه ۳,۳,۶) انجام شد. علاوه بر این، به‌منظور انجام آنالیز چندمتغیره و تعیین ارتباط بین مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک، تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA Ranking) با استفاده از نرم‌افزار PC-ORD 5 انجام شد.

نتایج و بحث

درختان جنگلی با انتقال مواد آلی به خاک از طریق ریزش برگ‌ها و ترشحات و پوسیدگی ریشه‌ها، تغییرات فیزیکی و شیمیایی در خاک ایجاد می‌کنند (۱۳). این تغییرات، همراه با سایر عوامل اکولوژیکی، در تعیین‌کننده الگوی توزیع پوشش گیاهی در اکوسیستم‌های خاکی مؤثر هستند (۱۴، ۲۶). مطالعه حاضر نشان داد که درختان ارس نقش مهمی در افزایش حاصلخیزی خاک از طریق بهبود ویژگی‌های شیمیایی آن در مناطق کوهستانی دارند. همسو با نتایج این پژوهش، رستمی‌کیا و همکاران (۲۰۲۴) در استان البرز بیان کردند که گونه درختی ارس تأثیر مثبتی بر مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک داشته است. نتایج نشان داد که درختان ارس تأثیر قابل‌توجهی بر بافت خاک ندارند، به‌جز افزایش درصد سیلت در زیر تاج آن‌ها (شکل ۲). افزایش درصد سیلت در زیر درختان ارس می‌تواند ناشی از تجمع بقایای گیاهی و کاهش فرسایش خاک باشد (۲۷). در مطالعه‌ای مشابه داغستانی و همکاران (۲۰۱۷)، بافت خاک در زیر درختان ارس را لوم شنی و در مناطق بدون پوشش شنی لومی گزارش کرده‌اند. مطالعات متینی‌زاده و همکاران (۲۰۱۰) و رستمی‌کیا و همکاران (۲۰۲۴) تنوع بافتی از لوم رسی تا لوم شنی در مناطق رویش ارس نشان دادند. رستمی‌کیا و همکاران (۲۰۲۴)

به‌طور خاص بافت زیر درختان ارس را لومی شنی و در مناطق فاقد پوشش ارس را شنی لومی گزارش کردند. این تنوع بافتی حاکی از توانایی رویش گونه ارس در انواع مختلف خاک‌ها است (۳). زنگی‌آبادی و همکاران (۲۰۱۲) نیز اشاره کردند که ارس معمولاً در خاک‌های لومی شنی با بافت سبک که امکان توسعه عمیق ریشه را فراهم می‌کنند، رشد می‌کند و این ویژگی به سازگاری آن با مناطق خشک و نیمه‌خشک کمک می‌کند.

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که ویژگی‌های شیمیایی خاک زیر تاج درختان ارس و منطقه شاهد، به‌جز کربنات کلسیم، فسفر قابل جذب و منیزیم قابل جذب، دارای تفاوت آماری معنی‌داری می‌باشد (شکل ۲). مقادیر ویژگی‌های شیمیایی خاک، از جمله واکنش خاک، اسیدیته هدایت الکتریکی، کربن آلی، نیتروژن کل، پتاسیم قابل جذب و کلسیم قابل جذب، در زیر تاج درختان ارس به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیش‌تر از منطقه شاهد است (شکل ۲). در راستای نتایج این پژوهش، واکنش خاک اغلب رویشگاه‌های ارس مورد بررسی در ایران، در محدوده قلیایی (۷/۳۲ تا ۸/۳) گزارش شده است. شواهد علمی نشان می‌دهد که درختان ارس در محیط‌های قلیایی ضعیف و آهکی عملکرد رویشی بهتری دارند (۳، ۶، ۱۱). میزان آهک خاک تحت تأثیر سنگ بستر منطقه قرار دارد و پس از استقرار درختان، تغییرات اندکی را نشان می‌دهد که این موضوع در نتایج پژوهش حاضر نیز تأیید شده است. با توجه به سرشت اکولوژیک گونه ارس و آهک‌دوست بودن آن، این عامل در زمره عوامل محدودکننده رویش گونه ارس نیست (۹). یکی از عوامل اصلی قلیایی بودن واکنش خاک در زیر تاج درختان ارس، غنای آهک در این رویشگاه‌ها است، به‌طوری‌که گونه ارس سازگاری بیش‌تری با محیط‌های آهکی از خود نشان می‌دهد (۳).

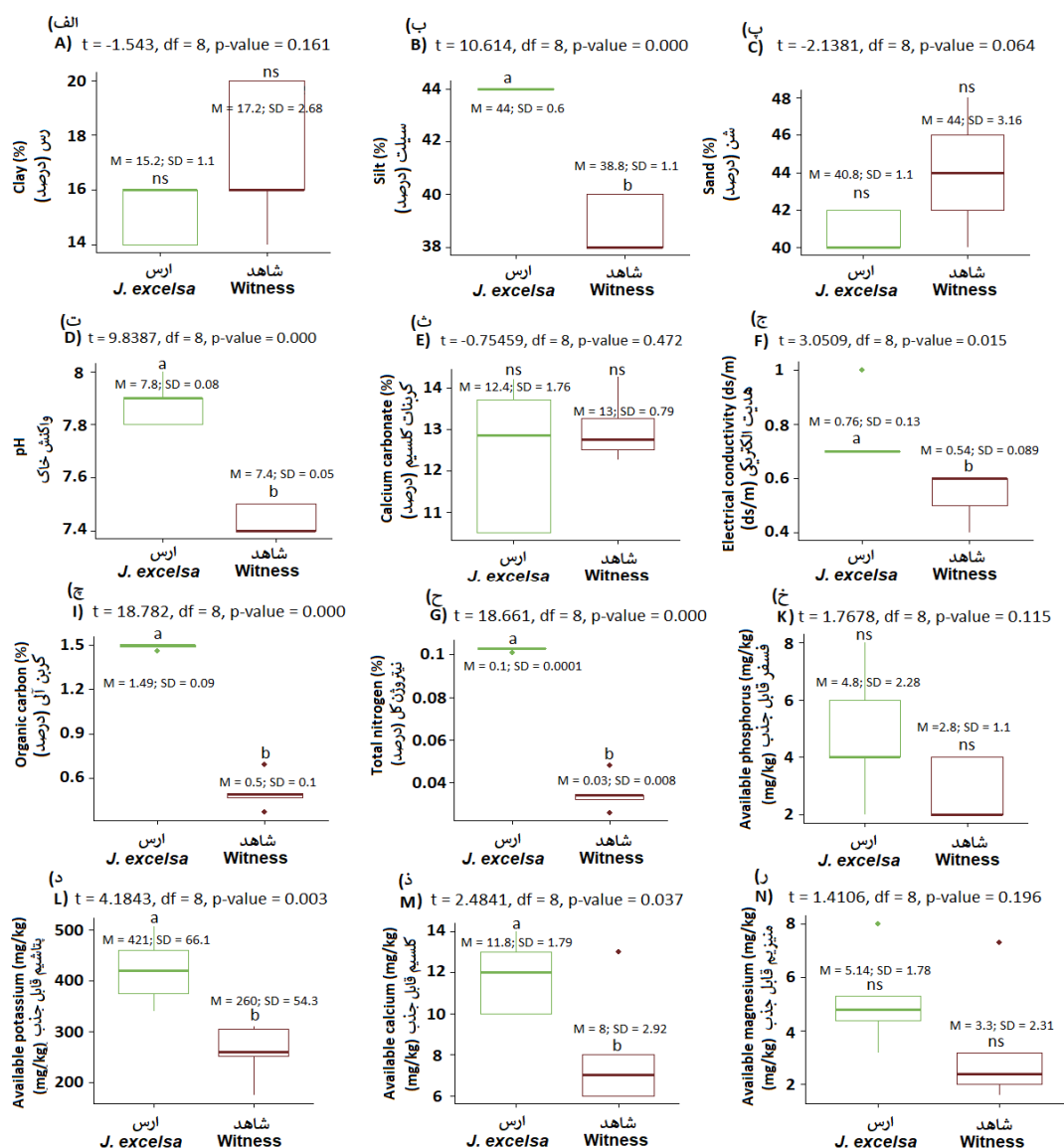
همسو با نتایج پژوهش حاضر، پریماکا و همکاران (۲۰۲۴) بیان داشتند که pH و عناصر کمپاب در زیر درختان ارس ویرجینیایی (*Juniperus virginiana*) افزایش می‌یابند. مشابه مطالعه حاضر، هدایت الکتریکی خاک زیر تاج درختان در مقایسه با خاک فاقد پوشش گیاهی، مقادیر بالاتری را نشان داد. یون‌های خاک عمدتاً از طریق فرآیندهای هوازدهی شیمیایی مواد معدنی خاک، تجزیه بقایای گیاهی و آزادسازی یون‌ها از آن‌ها تأمین می‌شوند؛ بنابراین، افزایش هدایت الکتریکی را می‌توان به عواملی نظیر تجمع برگ‌های خشک، رطوبت کافی (که شرایط مطلوبی را برای فعالیت میکروبی فراهم می‌کند) و تجزیه بقایای گیاهی نسبت داد (۱۱). در همین راستا، زکی (۱۳۹۲) گزارش داد که شوری خاک در این مناطق (هدایت الکتریکی ۰/۳۵ تا ۲/۰۵ دسی‌زیمنس بر متر) مانعی برای استقرار درختان ارس محسوب نمی‌شود، این ویژگی با توجه به کوهستانی بودن منطقه دور از انتظار نیست (۹). شرایط خاک غیرشور و قلیایی ضعیف ممکن است به سازگاری و رشد ارس در محیط‌های سخت کمک کند (۱۷).

کربن آلی نقش به‌سزایی در تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، حاصلخیزی، تغذیه گیاه و فعالیت میکروبی خاک ایفا می‌کند (۱۸). نتایج این پژوهش نشان داد که میزان کربن آلی در زیر تاج درختان به‌طور قابل توجهی بالاتر از خاک فاقد پوشش گیاهی است (شکل ۲). درصد کربن آلی اندازه‌گیری شده در رویشگاه‌های مورد مطالعه بین ۰/۵ تا ۱/۴۹ متغیر بود که با نتایج مطالعات پیشین همخوانی دارد (رستمی‌کیا و همکاران، ۲۰۲۴: ۰/۹ تا ۲/۳؛ متینی‌زاده و همکاران، ۲۰۱۰: ۱/۱۹ تا ۲/۰۲). هم‌چنین، رستمی‌کیا و همکاران (۲۰۲۴) گزارش کردند که درختان ارس، در مقایسه با مناطق فاقد پوشش گیاهی، میزان کربن آلی خاک را به‌طور میانگین ۷۶ درصد افزایش می‌دهند. در راستای این یافته‌ها، بیرانوند و همکاران

(۲۰۱۹) نیز افزایش چشمگیر کربن آلی را در زیر تاج درختان کهور ایرانی در مقایسه با مناطق باز گزارش کردند. مناطق دارای پوشش درختی، به دلیل جذب و انتقال کربن و نیتروژن جوی به خاک از طریق بقایای گیاهی، ذخایر بیش‌تری از این عناصر را نسبت به مناطق بدون پوشش دارند. چوبی بودن اندام‌های گیاهی (مشابه گونه ارس) و ریشه درختان، نیز نقش مهمی در افزایش کربن آلی خاک ایفا می‌کند (۱۵). میزان کربن آلی زیر تاج درختان ارس به دلیل سرعت تجزیه پایین برگ‌های آن‌ها (به دلیل نسبت بالای کربن به نیتروژن) و وجود مواد فنلی، لیگنین و صمغ، بالاتر از سایر مناطق بدون پوشش است. این عوامل باعث افزایش بیش‌تر کربن در خاک این مناطق می‌شوند (۱۱). درختان مناطق کوهستانی با انتقال نیتروژن موجود در اندام‌های هوایی به خاک، به‌ویژه از طریق سوزن‌ها، سطوح نیتروژن خاک را افزایش می‌دهند (۲۹). در مطالعه‌ای دیگر، متینی‌زاده و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که فعالیت‌های آنزیمی مرتبط با معدنی شدن نیتروژن خاک در زیر تاج درختان ارس، به‌طور قابل توجهی بیش‌تر از مناطق بدون پوشش گیاهی است. این افزایش فعالیت آنزیمی، یکی از عوامل اصلی افزایش نیتروژن خاک در زیر تاج این گونه در مقایسه با مناطق بدون پوشش گیاهی محسوب می‌شود؛ به عبارت دیگر، حضور درختان ارس با افزایش فعالیت‌های میکروبی و آنزیمی در خاک، به فرآیند معدنی شدن نیتروژن کمک می‌کند. بر اساس اطلاعات ارائه شده توسط بیرانوند و همکاران (۲۰۲۱) درخت کهور ایرانی با افزایش مواد آلی خاک، فعالیت میکروبی را تقویت کرده و در نتیجه نیتروژن خاک را افزایش می‌دهد.

نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که تاج درختان ارس، به‌طور قابل توجهی، غلظت کاتیون‌های خاک، به‌ویژه کلسیم و پتاسیم را افزایش می‌دهد (شکل ۲). این یافته‌ها با مطالعات پیشین (۱۱، ۱۲، ۲۹، ۳۰) که

تأثیر تاج درختان بر شیمی خاک را بررسی کرده‌اند، همخوانی دارد. مطالعات انجام‌شده (۱۱، ۳۰) به‌طور خاص افزایش معنی‌دار غلظت کلسیم و پتاسیم را در خاک زیر تاج درختان ارس در مقایسه با خاک‌های فاقد پوشش نشان داده‌اند. این امر احتمالاً ناشی از تجمع مواد آلی (شامل شاخ و برگ و بقایای ریشه) در زیر تاج درختان است که با تحریک فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک، تسریع تجزیه مواد آلی و در نتیجه آزادسازی کاتیون‌های مذکور را به همراه دارد. این فرآیند، نقش محوری تاج درختان ارس را در تعدیل شیمی خاک و غنی‌سازی آن با کاتیون‌های اساسی نمایان می‌سازد. علاوه بر این، ریزش برگ و شاخه و هم‌چنین پدیده آبشویی تاج از دیگر عوامل مؤثر در افزایش غلظت کاتیون‌ها در خاک زیر تاج درختان ارس محسوب می‌شوند. ریزش اندام‌های هوایی، منبع قابل توجهی از عناصر غذایی مانند کلسیم، منیزیم و پتاسیم است که پس از تجزیه، این عناصر به چرخه خاک باز می‌گردند (۱۱). هم‌چنین، عبور بارش از تاج درختان و شستشوی سطوح برگ و شاخه، به انتقال و تجمع این یون‌ها در خاک زیر تاج کمک می‌کند. این یافته‌ها بر نقش برجسته تاج درختان ارس در گردش عناصر غذایی خاک و بهبود پتانسیل باروری آن تأکید دارند. هم‌چنین مطالعات پریماکا و همکاران (۲۰۲۴) بر روی ارس ویرجینیایی و زنگی‌آبادی و همکاران (۲۰۱۲) نشان می‌دهد که درخت ارس با افزایش مواد آلی، فعالیت میکروبی و بهبود بافت خاک، موجب افزایش معنادار کلسیم، پتاسیم، منیزیم و سدیم در خاک زیر تاج خود می‌شود. ریشه‌های عمیق ارس نیز با جذب عناصر از اعماق و انتقال به سطح در گردش مواد مغذی نقش دارند. جانسون و همکاران (۲۰۱۶) نیز افزایش کاتیون‌های قلیایی، به‌ویژه پتاسیم را تحت پوشش درختی سوزنی‌برگان در مناطق کوهستانی گزارش کرده‌اند. این عناصر (پتاسیم و کلسیم) نقش حیاتی در فیزیولوژی گیاه ایفا می‌کنند.



شکل ۲- نمودار مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک زیر درخت ارس و نمونه‌های شاهد (بدون پوشش گیاهی).

نمودار الف (درصد رس)، ب (درصد سیلت)، پ (درصد شن)، ت (واکنش خاک)، ث (کربنات کلسیم)، ج (هدایت الکتریکی)، چ (کربن آلی)، ح (نیتروژن کل)، خ (فسفر قابل جذب)، د (پتاسیم قابل جذب)، ذ (کلسیم قابل جذب) و ر (منیزیم قابل جذب). حروف کوچک انگلیسی نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح آماری ۵ درصد بر اساس آزمون T مستقل است.

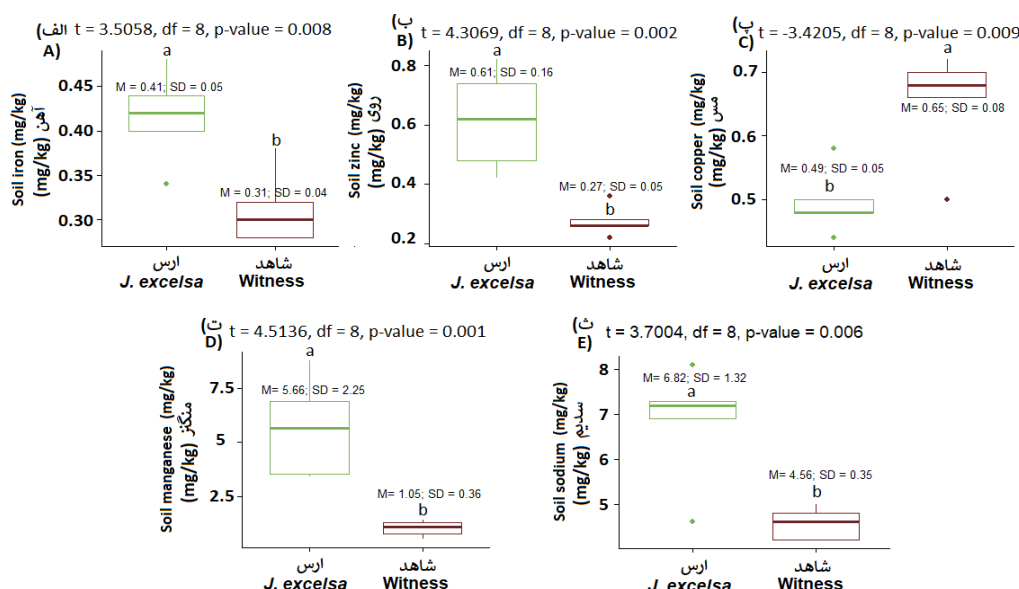
Figure 2. Diagram of the physical and chemical characteristics of the soil under the Juniper tree and control samples (without vegetation). Diagram A (clay percentage), B (silt percentage), C (sand percentage), D (acidity), E (calcium carbonate), F (electrical conductivity), I (organic carbon), G (total nitrogen), K (available phosphorus), L (available potassium), M (available calcium), and N (available magnesium). Lowercase English letters indicate significance at the 5% statistical level based on the independent T-test.

گونه ارس به‌مراتب بیش‌تر از منطقه شاهد سنجش شده است (شکل ۳). این یافته‌ها با نتایج مطالعات پیشین که اثرات حضور تاج درختان بر تجمع ریزمغذی‌ها در خاک را مورد بررسی قرار داده‌اند، همسو است

نتایج تجزیه واریانس بیانگر تفاوت آماری معنی‌دار بین عناصر ریزمغذی خاک به‌جز میزان مس در زیر تاج گونه ارس در مقایسه با منطقه شاهد آن‌ها است (شکل ۳). عناصر آهن، روی، منگنز و سدیم خاک در زیر تاج

یافتند و باعث افزایش عناصر میکرو در خاک می‌شود. این یافته‌ها نشان می‌دهد که تاج درختان ارس نقش مهمی در شکل‌دهی پروفایل ریزمغذی‌های خاک، به‌ویژه برای آهن، روی و منگنز، ایفا می‌کند. افزایش آهن، روی و منگنز در خاک زیر تاج ارس را می‌توان به ریزش برگ‌ها و شاخه‌ها و عبور آب باران از تاج درختان نسبت داد. ریزش برگ‌ها و شاخه‌های درختان ارس غنی از مواد مغذی از جمله آهن، روی و منگنز است که با تجزیه این مواد، در خاک آزاد می‌شوند (۱۲). علاوه بر این، عبور آب باران از تاج درختان ارس نیز می‌تواند به افزایش این ریزمغذی‌ها در خاک کمک کند، زیرا بارش باران هنگام عبور از تاج درختان، یون‌ها را از برگ‌ها و شاخه‌ها شسته و به خاک منتقل می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که درختان ارس می‌توانند به‌عنوان منبع آهن، روی و منگنز عمل کنند که ریزمغذی‌های ضروری برای رشد گیاهان هستند و برای بررسی کاربردهای بالقوه این یافته‌ها در جنگلداری و مدیریت اکوسیستم مورد نیاز است (۱۱).

(۱۱، ۱۲). در همین راستا، مطالعه ژوسین و همکاران (۲۰۲۳) بر روی گونه *Juniperus communis* L. نشان داد که غلظت عناصر ریزمغذی ضروری از جمله آهن، روی، منگنز و سدیم در سوزن‌های این‌گونه در سطوح کافی و مورد نیاز برای رشد گیاه قرار داشته و از حد سمیت تجاوز نمی‌کند. با در نظر گرفتن این شواهد، می‌توان استدلال کرد که ریزش سوزن‌های گونه‌های مختلف ارس به‌مرور زمان منجر به انتقال و تجمع عناصر ریزمغذی در خاک زیر تاج می‌شود. این فرآیند، در مقایسه با مناطق فاقد پوشش گیاهی، به غنی‌سازی خاک از این عناصر کمک کرده و در نتیجه، غلظت عناصری نظیر آهن، روی و منگنز را در خاک زیر درختان ارس افزایش می‌دهد. مطابق با نتایج پژوهش حاضر در مطالعه‌ای دیگر عناصر غذایی میکرو در آب باران حاصل از تاج بارش درختان ارس ویرجینیایی نشان داد که مس به‌طور قابل‌توجهی در زیر درختان کاهش یافت، درحالی‌که منگنز، بور و کلر در مقایسه با بارش محیطی به‌طور قابل‌توجهی افزایش



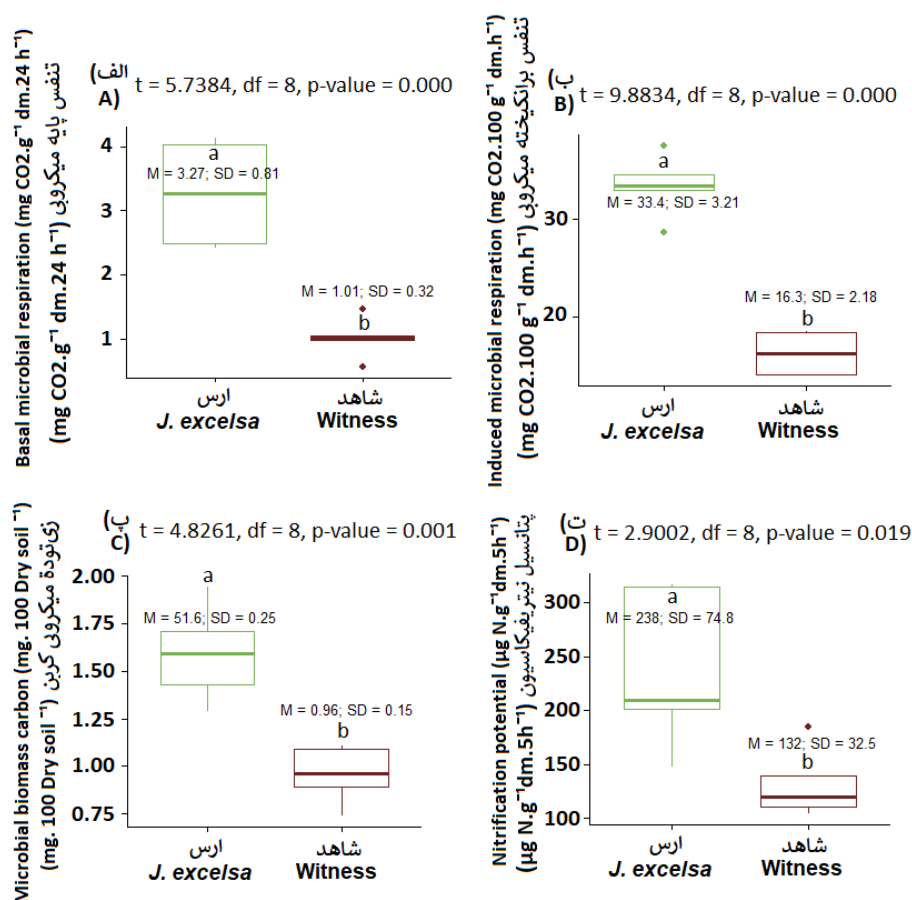
شکل ۳- نمودار ریزمغذی خاک زیر درخت ارس و نمونه‌های شاهد (بدون پوشش گیاهی). نمودار الف (آهن خاک)، ب (روی خاک)، پ (مس خاک)، ت (منگنز خاک) و ث (سدیم خاک).

حروف کوچک انگلیسی نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح آماری ۵ درصد بر اساس آزمون T مستقل است.

Figure 3. Diagram of soil micronutrient elements under the Juniper tree and control samples (without vegetation). Diagram A (soil iron), B (soil zinc), C (soil copper), D (soil manganese), and E (soil sodium). Lowercase English letters indicate significance at the 5% statistical level based on the independent T-test.

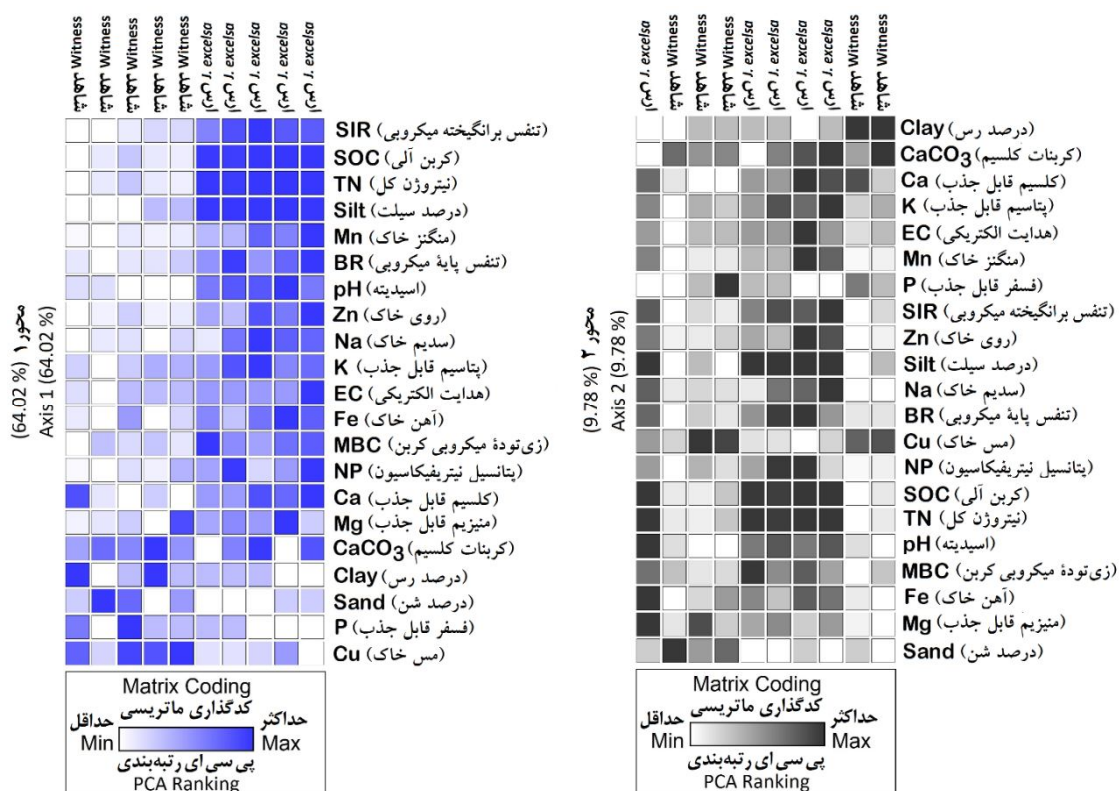
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که شاخص‌های زیستی خاک شامل تنفس میکروبی پایه و برانگیخته، زی توده میکروبی کربن و پتانسیل نیتریفیکاسیون در زیر تاج درخت ارس در مقایسه با منطقه شاهد، تفاوت آماری معنی داری داشت (شکل ۴) که بیانگر تأثیر مثبت این گونه درختی بر افزایش فعالیت‌های میکروبی خاک است. بررسی همبستگی و رتبه‌بندی این شاخص‌ها در قالب مؤلفه‌های اصلی (شکل ۵) نشان داد که گونه ارس با شاخص‌های زیستی و شیمیایی خاک مانند کربن، نیتروژن و عناصر ریزمغذی همبستگی بالایی دارد، درحالی‌که کلسیم، منیزیم، درصد آهک و بافت خاک (شن و رس) تفاوت چندانی بین زیر تاج و منطقه شاهد نشان ندادند. افزایش مواد آلی زیر تاج درختان ارس منجر به افزایش چشمگیر فعالیت میکروبی، کربن آلی، تنفس پایه و زی توده میکروبی در مقایسه با مناطق فاقد پوشش گیاهی می‌گردد (۶). کربن آلی بیش‌تر، با تحریک فعالیت میکروبی مرتبط با چرخه کربن، نرخ تنفس پایه را افزایش می‌دهد (۱۱). تنفس میکروبی پایه و برانگیخته، به‌عنوان شاخص فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک، به‌شدت تحت‌تأثیر ویژگی‌های خاک و پوشش درختی بوده و همبستگی مثبت و بالایی با کربن و نیتروژن نشان می‌دهد (۱۴). در پژوهشی، بیرانوند و همکاران (۲۰۲۱) نیز نشان داد که تنفس میکروبی پایه و برانگیخته زیر تاج درخت کهور ایرانی به‌طور قابل توجهی بیش‌تر از بیرون تاج آن است و افزایش نیتروژن خاک را به‌عنوان یکی از

دلایل اصلی آن ذکر کردند، زیرا نیتروژن با تحریک فعالیت میکروب‌ها، منجر به افزایش تنفس در خاک زیر تاج درختان می‌شود. افزایش نیتروژن و pH قلیایی ضعیف در زیر تاج ارس نیز موجب بهبود شاخص‌های میکروبی و کیفیت خاک شده است (۳۲). در این مطالعه، بین شاخص‌های زیستی زیر تاج درختان ارس و شاخص‌های شیمیایی مانند کربن، نیتروژن و عناصر ریزمغذی همبستگی بالایی مشاهده شد. یافته‌های این پژوهش به‌وضوح بیانگر آن است که حضور گونه درختی ارس به‌طور قابل توجهی ویژگی‌های زیستی خاک را بهبود بخشیده و فعالیت‌های میکروبی کلیدی مرتبط با چرخه مواد مغذی را ارتقا می‌دهد و می‌تواند پیامدهای مهمی در راستای مدیریت پایدار این اکوسیستم‌ها به همراه داشته باشد (۱۱). افزایش تنفس میکروبی پایه و زی توده میکروبی کربن زیر تاج ارس می‌تواند ناشی از افزایش منابع کربن آلی قابل دسترس از طریق ریزش بقایای گیاهی و ایجاد شرایط میکروکلیمی مطلوب‌تر (حفظ رطوبت و کاهش نوسانات دما) باشد (۱۸). به‌طور مشابه، افزایش تنفس میکروبی برانگیخته و زی توده میکروبی کربن نیز با فراهمی بیش‌تر منابع کربن و شرایط محیطی مساعدتر مرتبط است (۱۴). نهایتاً، افزایش پتانسیل نیتریفیکاسیون در خاک زیر تاج ارس احتمالاً به دلیل افزایش فراهمی آمونیوم ناشی از تجزیه مواد آلی غنی از نیتروژن است که می‌تواند بر فراهمی نیتروژن برای گیاهان و انتشار گازهای نیتروژن‌دار از خاک تأثیر بگذارد (۲۸).



شکل ۴- نمودار مشخصه‌های زیستی خاک شامل تنفس پایه میکروبی (الف)، تنفس برانگیخته میکروبی (ب)، زی توده میکروبی کربن (پ)، پتانسیل نیتریفیکاسیون (ت) زیر تاج گونه درختی ارس و منطقه شاهد آن‌ها. حروف کوچک انگلیسی نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح آماری ۵ درصد بر اساس آزمون T مستقل است.

Figure 4. Diagram of soil biological characteristics, including basal microbial respiration (A), induced microbial respiration (B), microbial biomass carbon (C), and nitrification potential (D) under the canopy of the *Juniper* tree species and their control samples. Lowercase English letters indicate significance at the 5% statistical level based on the independent T-test.



شکل ۵- بررسی روابط بین مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک با استفاده از تحلیل پی‌سی‌ای رتبه‌بندی (PCA Ranking). Clay (درصد رس)، Silt (درصد سیلت)، Sand (درصد شن)، pH (اسیدیته)، CaCO_3 (کربنات کلسیم)، EC (هدایت الکتریکی)، SOC (کربن آلی)، TN (نیتروژن کل)، P (فسفر قابل جذب)، K (پتاسیم قابل جذب)، Ca (کلسیم قابل جذب) و Mg (منیزیم قابل جذب)، Fe (آهن خاک)، Zn (روی خاک)، Cu (مس خاک)، Mn (منگنز خاک)، Na (سدیم خاک)، BR (تنفس پایه میکروبی)، SIR (تنفس برانگیخته میکروبی)، MBC (زی‌توده میکروبی کربن) و NP (پتانسیل نیتریفیکاسیون).

Figure 5. Investigation of the relationships between soil physical, chemical, and biological characteristics using PCA Ranking analysis. Clay (Clay%), Silt (Silt%), Sand (Sand%), pH (Soil pH), CaCO_3 (Calcium carbonate equivalent), EC (Electrical conductivity), SOC (Soil organic carbon), TN (Total nitrogen), P (Available phosphorus), K (Available potassium), Ca (Available calcium), Mg (Available magnesium), Fe (Available iron), Zn (Available zinc), Cu (Available copper), Mn (Available manganese), Na (Available sodium), BR (Basal microbial respiration), SIR (Substrate-induced respiration), MBC (Microbial biomass carbon), NP (Nitrification potential).

آهک‌پسند این گونه و تجمع یون‌های ناشی از تجزیه مواد آلی زیر تاج پوشش همخوانی دارد. افزایش معنادار کربن آلی و نیتروژن ناشی از ریزش بقایا و فعالیت میکروبی، حاصلخیزی خاک را بهبود بخشیده است. هم‌چنین، افزایش غلظت کاتیون‌های خاک و عناصر ریزمغذی ضروری، نقش تاج درخت در تجمع این عناصر را از طریق چرخه مواد مغذی نشان می‌دهد. به‌علاوه، افزایش قابل توجه شاخص‌های زیستی خاک زیر تاج ارس، بیانگر فعالیت میکروبی

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر نشان داد که حضور گونه درختی ارس در ارتفاعات استان کرمان منجر به بهبود چشمگیر ویژگی‌های شیمیایی و زیستی خاک زیر تاج آن نسبت به مناطق فاقد این پوشش گیاهی شده است. افزایش احتمالی درصد سیلت به‌واسطه تجمع بقایا و کاهش فرسایش، ساختار خاک را ارتقا داده است. از نظر شیمیایی، خاک زیر تاج ارس دارای pH نسبتاً قلیایی و هدایت الکتریکی بیش‌تر است که با ماهیت

نهال‌کاری با گونه ارس، به بهبود کیفیت خاک رویشگاه‌های این گونه اقدام نمایند.

سپاسگزاری

بدین وسیله از زحمات ارزشمند آقایان دکتر مهدی امیرپوررباط و مهندس محمدعلی پاک‌نژاد و سرکار خانم مهندس اعظم سالاری که در انجام این پژوهش، کارهای میدانی و آزمایشگاهی مساعدت مؤثری به این پژوهش نموده‌اند، تشکر و قدردانی می‌نمایم.

قوی‌تر ناشی از افزایش مواد آلی و بهبود شرایط میکروکلیمی است. در مجموع، رویشگاه‌های ارس نقش حیاتی در بهبود کیفیت و حاصلخیزی خاک مناطق کوهستانی با خاک ضعیف ایفا می‌کنند و حفاظت و توسعه آن‌ها راهکاری مؤثر در راستای افزایش سلامت و پایداری این مناطق به شمار می‌رود. براساس یافته‌های این پژوهش، به دستگاه‌های اجرایی مرتبط با منابع طبیعی پیشنهاد می‌گردد که در مناطق با پوشش درختی ضعیف، با اجرای برنامه‌های افزایش

منابع

1. Delijani, N. B., Moshki, A., Matinizadeh, M., Ravanbakhsh, H., & Nouri, E. (2022). The effects of fire and seasonal variations on soil properties in *Juniperus excelsa* M. Bieb. Stands in the Alborz Mountains, Iran. *Journal of Forestry Research*. 33(5), 1471-1479.
2. Moradi, Gh., & Zahedi Amiri, Gh. (2012). Life forms of the plants in the Irano-Tourani region and the situation of this region in the world. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 16(3), 77-91. [Translated in Persian]
3. Zaki, S. A. (2013). Study of *Juniperus excelsa* habitats in relation to land types and soil characteristics in the northern Semnan forest Areas. *Journal of Natural Resources Science and Technology*, 8(1), 127-139. [Translated in Persian]
4. Sarangzai, A. M., Siddiqui, M. F., Ahmed, M., Hussain, M. I., Laghari, S. K., & Ahmed, A. (2015). Relationship between soil properties and natural regeneration pattern of *Juniperus excelsa* forest in Ziarat, Balochistan. *Pakistan Journal of Botany*. 47(3), 905-910.
5. Ravanbakhsh, H., HamzeH'Ee, B., Etemad, V., Marvie Mohadjer, M. R., & Assadi, M. (2016). Phytosociology of *Juniperus excelsa* M. Bieb. Forests in the Alborz mountain range in the north of Iran. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*. 150(5), 987-1000.
6. Matinizadeh, M., Khoshnevis, M., Teimouri, M., & Ghasemi, M. H. (2010). Impact of canopy and seasoning on the activity of soil enzymes in some *Juniper* habitats of Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*. 18(1), 152-162. [Translated in Persian]
7. Tistechok, S., Roman, I., Fedorenko, V., Luzhetskyy, A., & Gromyko, O. (2023). Diversity and bioactive potential of Actinomycota from the rhizosphere soil of *Juniperus excelsa*. *Folia Microbiologica*. 68(4), 645-653.
8. Sadeghi, S. M. M., Alijani, V., Namiranian, M., & Mohammadizadeh, M. (2016). Structural characteristics of *Juniperus excelsa* in the mountainous forests of Alborz south-facing slope (Case study: Atashgah, Karaj). *Iranian Journal of Forest*. 8(1), 35-39. [Translated in Persian]
9. Daghestani, M., Zanganeh, M., & Taheri, M. (2017). Investigation on quantitative characteristics and soil properties of *Juniperus excelsa* M. Bieb stands in Tarom, Zanjan. *Forest Research and Development*. 3(2), 175-190. [Translated in Persian]
10. Gülser, F., Türkoğlu, N., & Çığ, A. (2013). The determination of nutrient contents of native juniper (*Juniperus excelsa* Bieb) leaves related to soil properties in the Van region.

- International Caucasian Forestry Symposium. 23-26 October 2013, Artvin, Turkey.
11. Rostamikia, Y., Matinizadeh, M., & Anbaran, S. M. (2024). Influence of scattered Greek juniper trees on soil properties in semi-arid woodlands in the northwest of Iran. *Journal of Forest Science* (1212-4834), 70(11).
12. Primka, IV, E. J., Chen, S., Wan, L., Du, D., Zhang, H., Will, R., & Zou, C. B. (2024). Juniper (*Juniperus virginiana*) encroachment into grassland results in increased trace-element inputs. *Plant and Soil*. 505(1), 199-208.
13. Gupta, S. K., Panwar, P., Banyal, R., & Ramanan, S. S. (2025). Forest Soils. In Textbook of Forest Science (pp. 165-189). Singapore: Springer Nature Singapore.
14. 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, 107541.
15. Bayranvand, M., Kooch, Y., & Rey, A. (2017). Earthworm population and microbial activity temporal dynamics in a Caspian Hyrcanian mixed forest. *European Journal of Forest Research*. 136, 447-456.
16. Bayranvand, M., Akbarinia, M., Jouzani, G. S., 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(660603), 1-12.
17. Zangiabadi, S., Naseri, F., & Ahmadimoghadam, A. (2012). Investigation on silvicultural properties and soil characteristics of *Juniperus excelsa* M. Bieb in the Southeast of Iran. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science*. 12(3), 269-274.
18. Bayranvand, M., Akbarinia, M., Salehi Jouzani, Gh., & Gharechahi, J. (2021). Evaluation of fungal and enzymatic activities in relation to soil quality along an altitudinal gradient in Hyrcanian forests (Case study: Vaz watershed - Mazandaran province). *Forest and Wood Products*. 74 (2), 183-195. [Translated in Persian]
19. Ghazan Shahy, C. (2006). *Analysis of soil and plants*. Homa Publication, 272p.
20. Rhoades, J. D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. *Methods of soil analysis: Part 3 Chemical methods*. 5, 417-435.
21. Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*. 37(1), 29-38.
22. Bremner, J. M. (1996). Total nitrogen. In *Methods of soil analysis Part 3 chemical methods* (Pp 1085-1121). Soil Science Society of America, Inc.
23. Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S., & Dean, L. A. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. US Department of Agriculture.
24. Anderson, J. P. E., & Domsch, K. H. (1978). A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biology and Biochemistry*. 10(3), 215-221.
25. Schinner, F., Ohlinger, R., Kandeler, E., & Margesin, R. (1996). *Methods in soil biology*. Springer-Verlage Berline Hidelberg, 418p.
26. Nwankwo, C. E. I., Okeke, E. S., Umeoguaju, F. U., Ejeromedoghene, O., Adedipe, D. T., & Ezeorba, T. P. C. (2025). Addressing emerging contaminants in agriculture affecting plant-soil interaction: a review on bio-based and nano-enhanced strategies for soil health and global food security (GFS). *Discover Toxicology*, 2(1), 1-30.
27. Handiso, M. A., Lemma, B., Asfaw, Z., Bromm, T., Mellisse, B. T., & Glaser, B. (2025). Farmers' perceptions of *Terminalia brownii* management in

- agroforestry Parklands and its impact on soil physicochemical properties in the South Ari District, Southern Ethiopia. *Agroforestry Systems*. 99(2), 1-16.
28. Bayranvand, M., Kooch, Y., & Bahmani, M. (2019). Variability analysis of soil carbon and nitrogen storage under *Prosopis cineraria*, *Calotropis procera* & *Ziziphus spinosa* species in the South of Kerman. *Arid Biome Scientific and Research Journal*. 8(2), 92-101. [Translated in Persian]
29. Johnson, B. G., Verburg, P. S., & Arnone, J. A. (2016). Plant species effects on soil nutrients and chemistry in arid ecological zones. *Oecologia*. 182, 299-317.
30. 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.
31. Jocienė, L., Krokaitė, E., Rekašius, T., Vilčinskas, R., Judžentienė, A., Marozas, V., & Kupčinskienė, E. (2023). Ionomic parameters of populations of common juniper (*Juniperus communis* L.) depending on the habitat type. *Plants*. 12(4), p.961.
32. Burton, J., Chen, C., Xu, Z., & Ghadiri, H. (2010). Soil microbial biomass, activity, and community composition in adjacent native and plantation forests of subtropical Australia. *Journal of Soils and Sediments*. 10, 1267-1277.