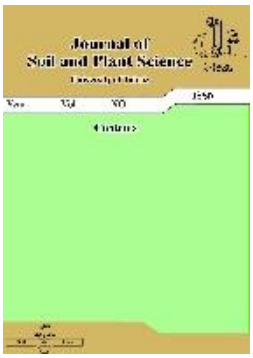
J Soil Plant Sci, 2025, 35(4): 77-89.

https://doi.org/10.22034/sps.2026.71114.1031

Journal of Soil and Plant Science

E-ISSN: 3092-6106
https://sps.tabrizu.ac.ir



Research Article

Changes in Some Physical and Chemical Properties of Soil under the Canopy of Wild Pistachio (*Pistacia atlantica* Desf) Plant (Case Study: Farak, Tafresh, Markazi Province)

Amir Moradinejad[1]✉, **Mohammad Matinizadeh**[2]

1-Corresponding Author, Research and Education Center for Agriculture and Natural Resources of Markazi Province, Agricultural Research, Education, and Extension Organization (AREEO), Arak, Iran.
E-mail: amir_24619@yahoo.com
2-National Forest and Rangeland Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. E-mail: mohamadmatinizadeh@yahoo.com

Received: January 06, 2026	**Revised:** January 27, 2026
Accepted: January 27, 2026	**Published:** February 03, 2026

Extended Abstract

Background and Objectives

Soil, as one of the pillars of ecosystems, plays a major role in the creation, change, and diversity of forest species. On the other hand, plant growth also plays an important role on changes in physical, chemical, and biological properties of soils. Soil, one of the most important components of the forest ecosystem, plays a decisive role in the cycle of materials, fertility, and sustainability of ecosystems. At the same time, vegetation, especially tree species, can affect soil properties through biological and chemical processes such as leaf litter, root secretions, and selective absorption of elements. In the arid and semi-arid regions of Iran, the forests of the Irano-Turanian region, despite climatic limitations, have the presence of species such as the sedge, which have high ecological stability. The species of *Pistacia atlantica* Desf, with an area of about 2.4 million hectares in Iran, plays an important role in soil stabilization, carbon storage, and biodiversity conservation. However, there is limited information on the impact of this native species on soil properties-especially at the level of physical and chemical parameters. Some studies have shown that in arid regions, tree species have a greater impact on soil biological indices, while changes in physical and chemical properties are less pronounced. In recent years, there has been increasing attention to the role of native tree species in soil changes, especially in arid and semi-arid ecosystems. These studies show that vegetation is not only affected by soil, but also plays an active role in ecosystem formation by changing soil properties, nutrient cycling, and microbial activity. To monitor changes in soil, it is necessary to conduct periodic measurements in fixed sample plots of tree species.

Materials and Methods

In this project, the soil samples were collected from a one-hectare sample plot in Markazi province of the protected habitat of the Irano-Turanian species of the *Pistacia atlantica* Desf. This study was conducted to investigate the effect of the *Pistacia atlantica* Desf on the physical and chemical properties of the soil in the Farak habitat, Tafresh, Markazi province, Iran. In a one-hectare sample plot, 15 soil samples were taken from below of the canopy of the *Pistacia atlantica* Desf trees and 15 samples from outside the canopy (control) at a depth of 0–15 cm and were combined into 5 composite samples. The soil physical and chemical analyses were performed including texture, bulk density, pH, electrical conductivity (EC), calcium carbonate

equivalent, organic carbon, total nitrogen, and available- phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sodium, iron, manganese, copper, and zinc.

Results

The results of variance analysis showed that the *Pistacia atlantica* Desf plant had significant effects only on available- phosphorus ($p<0.01$), zinc ($p<0.01$), magnesium ($p<0.01$), calcium ($p<0.05$), and sodium ($p<0.05$). While other parameters including texture, bulk density, pH, EC, organic carbon, total nitrogen, calcium carbonate equivalent, and available- potassium, iron, copper, and manganese did not show any statistically significant differences. These findings indicated that the *Pistacia atlantica* Desf tree has a limited effect on the physical and chemical properties of the soil in the studied time-space period and is mainly effective on the selective absorption of some mineral elements.

Conclusion

These findings indicated that the *Pistacia atlantica* Desf tree in arid ecosystems acts more as a selective consumer of mineral elements than as an overall modifier of soil quality. Therefore, for a comprehensive assessment of the effect of tree species in arid areas, in addition to chemical parameters, biological indicators of the soil should also be considered. In most cases, the *Pistacia atlantica* Desf tree decreased the percentage of organic carbon and total nitrogen, electrical conductivity, and available phosphorus as well as the percentage of soil sand and silt particles, while this tree increased the percentage of clay, and available-potassium, iron, and manganese and had no significant effect on the soil pH. By having physical and chemical parameters of the soil, as a knowledge-based approach with accessibility and flexibility, more information can be provided to experts and operators for decision-making on improving soil fertility and managing *Pistacia atlantica* Desf tree nutrition.

Keywords: Available nutrient, Irano-Turanian region, Soil organic matter, Soil quality, Soil texture.

Author Contributions

A. Moradinejad and M. Matinizadeh conceived and planned the experiments. A. Moradinejad analyzed data and wrote the first manuscript. All authors contributed to the interpretation of the results. All authors provided critical feedback and helped shape the research, analysis and manuscript.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank the research council of the Soil and Water Research Institute, Iran for the financial support of this research.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

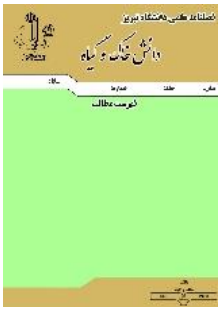
The author declares no conflict of interest.

Cite this article: Moradinejad, A. & Matinizadeh, M. (2025). Changes in Some physical and chemical properties of soil under the canopy of wild pistachio (*Pistacia atlantica* Desf) plant (Case study: Farak, Tafresh, Markazi province). *Journal of Soil and Plant Science*, 35(4), 77-89.
https://doi.org/10.22034/sps.2026.71114.1031

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

Copyright © 2025 The Authors.
Publisher: The University of Tabriz

OPEN ACCESS JOURNALS



نشریه دانش خاک و گیاه، جلد ۳۵، شماره ۴

صفحه‌های ۷۷ تا ۸۹، زمستان ۱۴۰۴

https://doi.org/10.22034/sps.2026.71114.1031

E-ISSN: 3092-6106

https://sps.tabrizu.ac.ir

مقاله پژوهشی

تغییرات برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در زیر تاج پوشش گیاه بنه (مطالعه موردی: فرک، تفرش، استان مرکزی)

امیر مرادی‌نژاد[۱]✉، محمد متینی‌زاده[۲]

۱- نویسنده مسئول، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اراک، ایران. رایانامه: amir_24619@yahoo.com

۲- مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
رایانامه: mohamadmatinizadeh@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۱۶	**تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۴/۱۱/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۰۷	**تاریخ انتشار:** ۱۴۰۴/۱۱/۱۴

چکیده

خاک به‌عنوان یکی از ارکان زیست‌بوم در ایجاد، تغییر و تنوع گونه‌های جنگلی نقش عمده‌ای دارد. از طرف دیگر، رشد گیاه نیز در تغییر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک‌ها نقش مهمی دارد. برای پایش تغییرات ایجادشده در خاک، لازم است که در قطعه نمونه‌های ثابت از گونه‌های درختی، سنجش‌های دوره‌ای انجام شود. بنابراین، این پژوهش، در خاک‌های رویشگاه حفاظت شده بنه (*Pistacia atlantica* Desf) از گونه‌های ناحیه ایرانو-تورانی در فرک، تفرش، استان مرکزی، ایران انجام شد. هدف این پژوهش، بررسی تغییرات برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در زیر تاج پوشش گیاه بنه در رویشگاه فرک، تفرش، استان مرکزی بود. در یک قطعه نمونه یک هکتاری، ۱۵ نمونه خاک از زیر تاج گونه بنه و ۱۵ نمونه از خارج از تاج (شاهد) از عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متری برداشت و به‌صورت ۵ نمونه مرکب درآمد. سپس، در نمونه‌های خاک، pH، قابلیت هدایت الکتریکی (EC)، بافت، جرم مخصوص ظاهری، کلسیم کربنات معادل، درصد کربن آلی، نیتروژن کل، غلظت فسفر، پتاسیم، سدیم، کلسیم، منیزیم، آهن، منگنز، مس و روی قابل‌جذب گیاه اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که تأثیر درخت بنه بر غلظت فسفر، روی، منیزیم، کلسیم و سدیم قابل‌جذب گیاه در خاک معنادار بود اما بر pH، EC، کلسیم کربنات معادل، بافت، جرم مخصوص ظاهری، کربن آلی، نیتروژن کل و غلظت پتاسیم، آهن، مس و منگنز قابل‌جذب گیاه در خاک معنادار نبود. غلظت فسفر و روی قابل‌جذب در زیر تاج پوشش درخت بنه کاهش یافت اما غلظت کلسیم، منیزیم و سدیم قابل‌استخراج افزایش یافت. این یافته‌ها نشان داد که درخت بنه بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در زیر تاج پوشش آن اثر محدودی داشت و عمدتاً در جذب انتخابی برخی عناصر معدنی مؤثر بود.

واژه‌های کلیدی: بافت خاک، عنصر غذایی قابل‌جذب، کیفیت خاک، ماده آلی خاک، ناحیه ایرانو-تورانی.

استناد به این مقاله: مرادی‌نژاد، ا. و متینی‌زاده، م. (۱۴۰۴). تغییرات برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در زیر تاج پوشش گیاه بنه (مطالعه موردی: فرک، تفرش، استان مرکزی). *نشریه دانش خاک و گیاه*، ۳۵(۴)، ۸۹-۷۷.
https://doi.org/10.22034/sps.2026.71114.1031

مقدمه

خاک به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اجزای زیست‌بوم جنگلی، نقش تعیین‌کننده‌ای در چرخه مواد، باروری و پایداری زیست‌بوم دارد. در عین حال، پوشش گیاهی، به‌ویژه گونه‌های درختی، از طریق فرایندهای زیستی و شیمیایی مانند ریزش لاشبرگ‌ها، تراوه‌های ریشه و جذب انتخابی عناصر، می‌تواند بر ویژگی‌های خاک تأثیرگذار باشد (Matinkiah et al., 2015). در نواحی خشک و نیمه‌خشک ایران، جنگل‌های ناحیه ایرانو-تورانی با وجود محدودیت‌های اقلیمی، گونه‌هایی چون بنه را دارند که پایداری اکولوژیکی بالایی دارند. گونه بنه با گستره‌ای حدود ۲/۴ میلیون هکتار در ایران، نقش مهمی در تثبیت خاک، ذخیره‌سازی کربن و حفاظت از تنوع زیستی ایفا می‌کند (FRWMO, 2019). با این وجود، اطلاعات محدودی در مورد تأثیر این گونه بومی بر ویژگی‌های خاک، به‌ویژه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی وجود دارد.

برخی مطالعات نشان داده‌اند که در مناطق خشک، گونه‌های درختی بیشتر بر شاخص‌های زیستی خاک تأثیر می‌گذارند، در حالی که تغییرات ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی کمتر است (Khanmohammadi & Matinizadeh, 2023). در سال‌های اخیر، توجه فزاینده‌ای به نقش گونه‌های درختی بومی در تغییرات خاک‌زایی، به‌ویژه در زیست‌بوم خشک و نیمه‌خشک، انجام شده است. این تحقیقات نشان می‌دهند که پوشش گیاهی نه‌تنها تحت تأثیر خاک قرار می‌گیرد، بلکه خود نیز با تغییر در ویژگی‌های خاک، چرخه عناصر غذایی و فعالیت میکروبی، نقش فعالی در شکل‌گیری زیست‌بوم ایفا می‌کند (Chen *et al.*, 2021).

مطالعه زرافشار و همکاران (Zarafshar *et al.*, 2021) در جنگل‌های زاگرس نشان داد که توده‌های آمیخته درختی (مانند بلوط و بنه) در مقایسه با توده‌های خالص، دارای تنفس میکروبی خاک بالاتری هستند. این پدیده عمدتاً ناشی از تنوع بیشتر لاشبرگ و تفاوت در کیفیت مواد آلی ورودی به خاک است. این یافته‌ها حاکی از آن است که حتی در زیست‌بوم‌های خشک، تنوع گونه‌ای در آشکوب درختی می‌تواند بر فعالیت‌های زیستی خاک تأثیر مثبت بگذارد، هرچند تأثیر آن بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مانند pH یا بافت خاک محدود باشد. در همین راستا، کوچ و احسانی (Kooch & Ehsani, 2020) در مطالعه‌ای در البرز مرکزی نشان دادند که جنگل‌های طبیعی پهن‌برگ در مقایسه با جنگل‌کاری‌های سوزنی‌برگ و اراضی مرتعی، دارای بالاترین میزان زیست‌توده میکروبی نیتروژن و کمترین تنفس میکروبی هستند. این نتایج بیانگر آن است که ساختار و ترکیب توده جنگلی نقش تعیین‌کننده‌ای در وضعیت زیستی خاک دارد، ولی تأثیر چندانی بر ویژگی‌های فیزیکی مانند جرم مخصوص ظاهری یا بافت خاک نمی‌گذارد.

در سطح بین‌المللی، وانگ و همکاران (Wang *et al.*, 2021) در چین نشان دادند که تبدیل جنگل‌های طبیعی به جنگل‌های دست‌کاشت موجب کاهش قابل‌توجه کربن آلی، نیتروژن کل، زیست‌توده باکتریایی و کربن زیست‌توده میکروبی می‌شود. این تغییرات عمدتاً ناشی از اختلال در ساختار خاک و کاهش تنوع و کمیت لاشبرگ است. اگرچه این مطالعه در زیست‌بوم‌های مرطوب انجام شده، اما نتایج آن برای مناطق خشک ناحیه ایرانو-تورانی نیز قابل‌تعمیم است، به‌ویژه در شرایطی که درخت بنه به‌عنوان گونه‌ای مقاوم به خشکی، نقش حفاظتی در برابر فرسایش و تخریب خاک ایفا می‌کند. از سوی دیگر، بشیری و همکاران (Bashiri *et al.*, 2022) در بررسی جامع جنگل‌های زاگرس اشاره کردند که بلوط‌های ایرانی، مازو و ویول بیش از ۳ میلیون هکتار از این ناحیه را پوشش می‌دهند و نقش کلیدی در حفظ خاک و ذخیره‌سازی کربن دارند. همچنین، این مطالعه تأکید کرد که گونه‌هایی مانند بنه، با وجود پراکنش گسترده، به‌دلیل فعالیت‌های انسانی مانند چرای بی‌رویه و تغییر کاربری در معرض تخریب قرار دارند. بنابراین، پایش بلندمدت خاک زیر تاج این گونه‌ها نه‌تنها برای درک تعامل گیاه–خاک، بلکه برای برنامه‌ریزی‌های حفاظتی ضروری است.

خان‌محمدی و متینی‌زاده (Khanmohammadi & Matinizadeh, 2023) در رویشگاه سمیرم نشان دادند که خاک زیر تاج بنه و بادام کوهی دارای pH مشابه، اما کربن آلی، پتاسیم و قابلیت هدایت الکتریکی بالاتری نسبت به خاک شاهد بود. با این وجود در مطالعه ایشان، فسفر، آهن و مس در خاک شاهد بیشتر بود که نشان‌دهنده جذب انتخابی این عناصر به‌وسیله درختان است. همچنین، اسفندیاری و همکاران (Esfandiari *et al.*, 2023) در جنگل‌های راش شمال ایران نشان دادند که شاخص‌های زیستی خاک مانند تنفس پایه، تنفس برانگیخته و کربن زیست‌توده میکروبی بسیار حساس‌تر از ویژگی‌های شیمیایی مانند pH یا کربن آلی به تغییرات مدیریتی هستند. این موضوع تأکید می‌کند که در ارزیابی کیفیت خاک جنگل‌های خشک، نادیده گرفتن شاخص‌های زیستی می‌تواند منجر به قضاوت نادرست درباره سلامت زیست‌بوم شود.

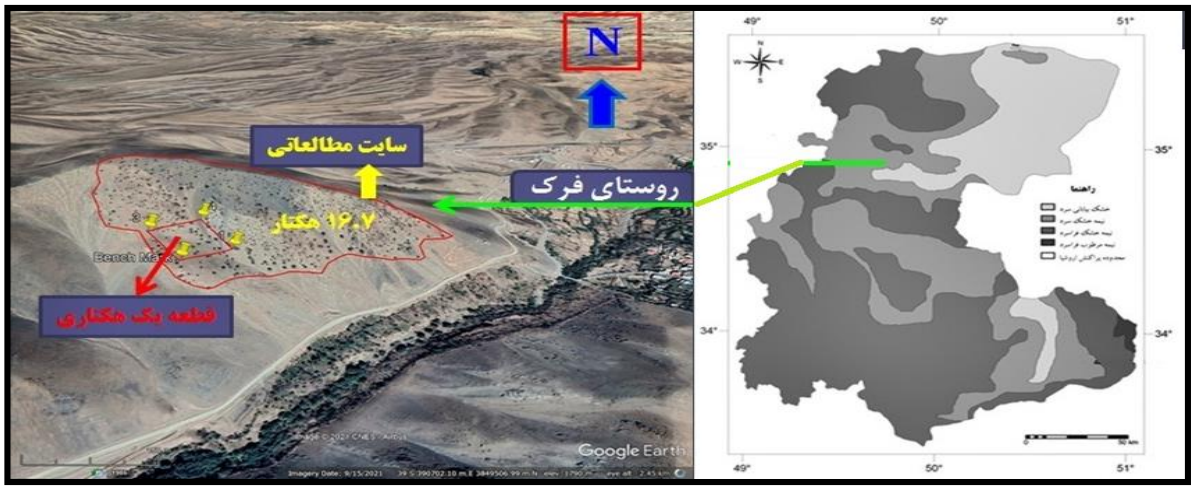
مرادی‌نژاد و همکاران (Moradinejad *et al.*, 2024) اثر بنه بر برخی ویژگی‌های زیستی خاک توده‌های جنگلی ناحیه ایرانو–تورانی بررسی کردند. در این پژوهش، شاخص‌های تنفس میکروبی پایه، تنفس میکروبی برانگیخته، پتانسیل نیترات‌سازی، کربن زیست‌توده میکروبی و کسر متابولیک تحت تأثیر بنه ارزیابی شد. آنان نتیجه گرفتند که اثر رشد درخت بنه بر تنفس برانگیخته، کربن زیست‌توده میکروبی و پتانسیل نیترات‌سازی در سطح احتمال یک درصد و کسر متابولیک در سطح احتمال ۵ درصد معنادار بود. همچنین، مقدار میانگین تنفس برانگیخته، پتانسیل نیترات‌سازی و کسر متابولیک در نمونه خاک زیر درخت بنه بالاتر از بیرون درخت بود.

در مجموع، مطالعات پس از سال ۲۰۲۰ همگی بر این نکته تأکید دارند که تأثیر گونه‌های درختی مانند بنه بر خاک بیشتر در سطح فرایندهای زیستی و جذب عناصر معدنی قابل‌مشاهده است، در حالی که تغییرات در ویژگی‌های فیزیکی (مانند بافت یا جرم مخصوص) یا شیمیایی (مانند pH یا EC) در بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت دیده نمی‌شود. هدف از این پژوهش، بررسی دقیق اثر رشد درخت بنه بر مجموعه‌ای از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در مقایسه با خاک بدون پوشش (شاهد) بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد بررسی در دامنه‌های شرقی کوهستان فرک، استان مرکزی، قرار دارد. این منطقه در مختصات جغرافیایی ۴۷ درجه و ۴۹ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۴۹ دقیقه طول شرقی و ۱۶ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۱۸ درجه و ۳۴ دقیقه عرض شمالی، و در مجاورت جاده آسفالته تفرش–جفتان واقع شده است. رویشگاه فرک تنها گستره طبیعی گونه بنه در استان مرکزی محسوب می‌شود. این منطقه با میانگین شیب ۷۵ درصد و میانگین ارتفاع ۱۹۵۳ متر از سطح دریاهای آزاد، از ویژگی‌های توپوگرافی برجسته‌ای برخوردار است. از نظر اقلیمی، براساس روش آمبرژه، آب‌وهوای منطقه نیمه‌خشک سرد طبقه‌بندی می‌شود. میانگین بارندگی سالانه ۲۹۰/۳ میلی‌متر، میانگین دمای سالانه ۱۰/۶۴ درجه سلسیوس و میانگین رطوبت نسبی ماهانه حدود ۵۰/۵ درصد است. همچنین، میانگین ماهانه تبخیر – تعرق پتانسیل ۱۲۳/۵۸ میلی‌متر و میانگین سرعت باد ۱/۴۴ متر بر ثانیه گزارش شده است. دوره خشکی منطقه نیز حدود ۱۲۵ روز طول کشیده و از اواخر اردیبهشت تا پایان مهر ماه ادامه دارد (Zahedipour *et al.*, 2009). موقعیت جغرافیایی ذخیره‌گاه جنگلی فرک در شکل (۱) نشان داده شده است.



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

روش‌شناسی پژوهش

این مطالعه در قالب یک طرح پایش خاک در رویشگاه بنه در استان مرکزی انجام شد. برای ارزیابی اثر رشد گیاهان بنه بر ویژگی‌های خاک، یک قطعه نمونه بنه به مساحت یک هکتار (۱۰۰ × ۱۰۰ متر مربع) در این رویشگاه انتخاب گردید. در مرحله اول، اطلاعات فیزیوگرافی منطقه شامل مختصات جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت دامنه ثبت شد. نمونه‌برداری خاک برای اهداف آزمایشگاهی از لایه سطحی (۱۵-۰ سانتی‌متر) انجام شد، زیرا این لایه بیشترین فعالیت زیستی را دارد. نمونه‌برداری به‌صورت سیستماتیک-تصادفی در دو تیمار زیر تاج پوشش بنه و خارج از تاج (شاهد) با پوشش مرتعی طراحی گردید. در هر تیمار، ۱۵ نمونه خاک از عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری، در جهت شرقی درختان (بین تنه و لبه خارجی تاج) جمع‌آوری شد. نمونه‌ها به‌صورت سه‌تایی ترکیب و پنج نمونه ترکیبی (کامپوزیت) برای هر تیمار تهیه گردید. با این کار، در مجموع ۱۰ نمونه ترکیبی (۵ نمونه زیر تاج و ۵ نمونه شاهد) برای تجزیه آزمایشگاهی آماده شدند.

پس از جمع‌آوری، نمونه‌ها برای تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی، به آزمایشگاه انتقال یافتند. بافت خاک به روش هیدرومتری (Gee & Or, 2002)، کلسیم کربنات معادل به‌روش خنثی‌سازی با اسید و تیترکردن با سود (Allison & Moodie, 1965)، pH خاک با دستگاه pHمتر (Thomas, 1996)، قابلیت هدایت الکتریکی (EC) عصاره اشباع خاک با دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی (Rhoades, 1996)، کربن آلی خاک به روش اکسایش‌تر (Nelson & Sommers, 1996)، نیتروژن کل (TN) با روش کجلدال (Jones, 2001)، فسفر با عصاره‌گیر اولسن (Kuo, 1996)، پتاسیم، سدیم، کلسیم و منیزیم با عصاره‌گیر آمونیوم استات (Jones, 2001) و مس، منگنز، آهن و روی با عصاره‌گیر DTPA (Lindsay & Norvell, 1987) استخراج شدند. فسفر با دستگاه اسپکتروفتومتر، پتاسیم و سدیم با دستگاه فلیم فتومتر و کلسیم، منیزیم، آهن، روی، مس و منگنز با دستگاه جذب اتمی تعیین شدند (Jones, 2001). آزمون t نمونه‌های جفت‌شده برای مقایسه میانگین دو نمونه و تجزیه واریانس ویژگی‌های مختلف نمونه خاک‌های زیر تاج پوشش بنه و شاهد (خارج از تاج پوشش) به‌کمک نرم‌افزار SAS انجام شد.

نتایج و بحث

جدول ۱ محدوده تغییرات و آماره‌های توصیفی صفات را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج این جدول، خاک منطقه مورد مطالعه دارای pH خنثی تا کمی قلیایی است به‌طوری‌که pH در بازه ۷/۳۵ تا ۷/۸۱ قرار دارد که برای رشد

اغلب گونه‌های گیاهی مناسب ارزیابی می‌شود. مقدار هدایت الکتریکی کم (EC کمتر از ۰/۱ دسی‌زیمنس برمتر) نشان‌دهنده شوری ناچیز خاک و نبود محدودیت شوری برای گیاهان است. از نظر بافت، خاک دارای درصد بالاتری از شن نسبت به رس و سیلت بوده و در مجموع در محدوده بافت‌های سبک تا متوسط قرار می‌گیرد که موجب تهویه مناسب و نفوذپذیری مطلوب آب می‌شود. مقدار جرم مخصوص ظاهری کم (میانگین ۱/۳۷ گرم برسانتی‌مترمکعب) بیانگر تخلخل مناسب خاک است. درصد آهک نسبتاً متوسط، ویژگی خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک را نشان می‌دهد. مقدار ماده آلی و نیتروژن خاک در سطح متوسط تا کم قرار دارد که بیانگر نیاز بالقوه خاک به مدیریت حاصل‌خیزی است. همچنین، مقادیر عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف نظیر فسفر، پتاسیم، آهن، روی، منگنز و مس در محدوده قابل‌قبول بوده و شرایط تغذیه‌ای مناسبی را برای پوشش گیاهی فراهم می‌کند (Hazelton & Murphy, 2016).

جدول ۱- آماره‌های توصیفی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه.

Std. deviation	Mean	Maximum	Minimum	Variable
۰/۱۳	۷/۶۱	۷/۸۱	۷/۳۵	pH
۰/۰۱۴	۰/۰۶	۰/۰۹	۰/۰۴	EC (dS/m)
۵/۴۱۶	۱۶	۲۲	۶	رس (٪)
۳/۷۲۵	۲۴/۹	۲۸	۱۸	سیلت (٪)
۴/۳۸۳	۵۹/۱	۶۶	۵۰	شن (٪)
۰/۰۲۶	۱/۳۷	۱/۴۰	۱/۳۵	جرم مخصوص ظاهری (g/cm^3)
۲/۰۵۸	۷/۱۰	۱۱/۰۲	۴/۱۴	کلسیم کربنات معادل (٪)
۰/۹۰۰	۱/۹۳	۳/۶۳	۰/۹۹	ماده آلی (٪)
۰/۰۵۶	۰/۱۰۵	۰/۲۱	۰/۰۵۰	نیتروژن کل (٪)
۲/۸۰۷	۸/۹۲	۱۳/۹۵	۵/۵۳	Available P (mg/kg)
۱۱/۲۴۵	۲۲۰	۲۴۱	۱۹۹	Available K (mg/kg)
۰/۶۳۳	۵/۵۶	۶/۷۵	۴/۵۵	Available Fe (mg/kg)
۰/۶۹۷	۱/۸۴	۲/۸۰	۱	Available Zn (mg/kg)
۱/۶۴	۵/۶۷	۷/۴۴	۲/۳۴	Available Mn (mg/kg)
۰/۰۴۷	۰/۹۸۵	۱	۰/۸۵۰	Available Cu (mg/kg)

نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های مختلف نمونه خاک‌های زیر و خارج از تاج پوشش درختان بنه در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج نشان داد که اثر رشد درختان بنه تنها بر غلظت فسفر ($p<۰/۰۱$)، روی ($p<۰/۰۱$)، منیزیم ($p<۰/۰۱$)، کلسیم ($p<۰/۰۵$) و سدیم ($p<۰/۰۵$) قابل‌جذب گیاه در خاک معنادار بود. اثر رشد درختان بنه بر سایر ویژگی‌ها شامل pH، EC، کربن آلی، آهک، بافت خاک، جرم مخصوص ظاهری، نیتروژن کل و مقدار قابل‌جذب پتاسیم، آهن، مس و منگنز، معناداری نبود. نتایج این پژوهش نشان داد که رشد درختان بنه تأثیر محدودی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک داشت و تنها بر پنج ویژگی (فسفر، روی، منیزیم، کلسیم و سدیم) تأثیر آن معنادار بود.

طبق جدول ۳، نتایج آزمون t نمونه‌های جفت‌شده برای مقایسه میانگین دو نمونه و تجزیه واریانس ویژگی‌های مختلف نمونه خاک‌های زیر پوشش تاج و شاهد (خارج از پوشش تاج) نشان داد که ویژگی‌های فسفر،

روی و منیزیم قابل‌جذب در سطح احتمال یک درصد و کلسیم و سدیم قابل‌جذب در سطح احتمال پنج درصد با هم تفاوت معنادار داشتند. بقیه ویژگی‌ها مثل نیتروژن کل، پتاسیم، مس، آهن و منگنز ، درصد ماده آلی، درصد آهک، جرم مخصوص ظاهری و قابلیت هدایت الکتریکی در حضور درخت بنه و شاهد (خارج از تاج پوشش درخت) تفاوت معنادار نداشتند. طبق جدول ۳، مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در زیر پوشش تاج بنه مقدار منیزیم، کلسیم و سدیم قابل‌جذب بیشتر از اطراف درخت است. غلظت زیاد یون‌های سدیم و کلرید، علاوه بر افـزایش فشار اسمزی گیاه و اختلال در جذب آب به‌وسیله گیاه، می‌توانند باعث ایجاد محیطی مسموم در اطراف ریشه شوند و از این نظـر هم اثر منفـی بـر رشـد داشـته باشـند (Najafi & Sarhangzadeh, 2012; Saleh *et al.*, 2017).

طبق نتایج مقایسه میانگین‌ها و تجزیه واریانس، تفاوت معناداری در مقدار درصد رس، درصد سیلت و درصد شن در نمونه‌های زیر تاج درخت و خارج از تاج وجود نداشت. عدم تفاوت معنادار در pH، EC، کربن آلی، نیتروژن کل، پتاسیم قابل‌جذب، بافت خاک و جرم مخصوص ظاهری خاک نشان می‌دهد که درخت بنه در کوتاه‌مدت نمی‌تواند ساختار فیزیکی یا ذخیره عمومی مواد آلی خاک را دگرگون کند. این یافته با نتایج Khanmohammadi & Matinizadeh, (2023) و Heidari *et al.*, (2016) هم‌خوانی دارد که تأکید کرده‌اند گونه‌های درختی در مناطق خشک بیشتر بر شاخص‌های زیستی خاک تأثیر می‌گذارند.

کاهش معنادار فسفر و روی قابل‌جذب در زیر پوشش تاج نشان‌دهنده جذب فعال این عناصر به‌وسیله ریشه‌های بنه است. این گونه برای پشتیبانی از فعالیت‌های فیزیولوژیکی (رشد، دفاع از خود)، نیازمند جذب فسفر (عنصر کلیدی در ATP و DNA) و روی (کوفاکتور آنزیمی) است (Matinkhah *et al.*, 2015). افزایش معنادار کلسیم، منیزیم و سدیم قابل‌جذب ممکن است ناشی از تراوه‌های ریشه یا برهم‌زدگی زیستی[1] باشد. با این حال، غلظت سدیم به‌حدی نیست که خطر شوری ایجاد کند. کاهش معنادار فسفر قابل‌جذب گیاه در خاک در شرایط با کشت گیاه نسبت به بدون کشت در سایر بررسی‌ها نیز مشاهده شده است (Najafi & Towfighi, 2006; Najafi & Towfighi, 2012). با این حال، وقتی مقدار فسفر جذب شده به‌وسیله ریشه و شاخساره گیاه به مقدار فسفر باقیمانده در خاک افزوده می‌شود، مقدار زیست‌فراهمی فسفر در خاک کشت شده به‌طور معنادار بیشتر از خاک کشت نشده می‌شود که حاکی از اثر کشت گیاه در افزایش زیست‌فراهمی فسفر است (Najafi & Towfighi, 2006; Najafi & Towfighi, 2012; Najafi & Mardomi, 2013). این افزایش زیست‌فراهمی فسفر در خاک کشت شده به کاهش pH خاک، ترشح اسیدهای آلی مختلف به‌وسیله ریشه، ریختن یاخته‌های مرده ریشه به خاک کشت شده، ریختن برگ‌ها، سایه‌اندازی گیاه که باعث کند شدن سرعت تجزیه مواد آلی در خاک کشت شده می شود (Najafi & Towfighi, 2008; Najafi & Mardomi, 2013;).

در مقایسه با پژوهش‌های جهانی و تلفیق یافته‌ها، مطالعه Hagen-Thorn *et al.* (2004) بر روی گونه‌های درختی اروپایی نشان داد که تأثیر گونه بر ویژگی‌های شیمیایی خاک بیشتر بازتاب حاصل نیاز گیاه و جذب عنصرهای غذایی به‌وسیله هر گیاه است. این دقیقاً با الگوی مشاهده‌شده در بنه (جذب ترجیحی فسفر و روی و بازگرداندن نسبی کلسیم و منیزیم) مطابقت دارد. نتایج این پژوهش نشان داد که تاج پوشش درخت بنه تنها بر غلظت برخی عناصر معدنی شامل فسفر، روی، منیزیم، کلسیم و سدیم تأثیر معنادار دارد، در حالی که اثر محسوسی بر سایر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله pH، هدایت الکتریکی (EC)، نیتروژن، پتاسیم، کربن آلی و جرم مخصوص ظاهری مشاهده نشد. این یافته‌ها بیانگر نقش انتخابی گونه بنه در جذب عناصر خاص و تأثیر محدود آن بر سایر ویژگی‌های خاک در مقیاس زمانی–مکانی مورد بررسی است.

[1]-Bioturbation

Ahmadi *et al.* (2019) در مطالعه‌ای بر روی گونه بادام کوهی در ناحیه زاگرس گزارش کردند که درختان بومی موجب افزایش معنادار غلظت کربن آلی و فسفر قابل‌جذب گیاه در خاک زیر تاج شدند، در حالی که اثر چندانی بر pH و EC خاک نداشتند. تفاوت این نتایج با پژوهش حاضر را می‌توان به سرعت پایین تجزیه لاشبرگ و پایداری مواد آلی در خاک فقیر منطقه فرک نسبت داد. Nerimani *et al.*, (2021) با بررسی اثر گونه بلوط ایرانی بر خاک جنگل‌های استان ایلام دریافتند که این گونه موجب افزایش معنادار نیتروژن، فسفر و پتاسیم در زیر تاج خود می‌شود. در مقایسه با تحقیق حاضر، تأثیر بنه بر نیتروژن و پتاسیم مشاهده نشد که احتمالاً به دلیل کمبود تجزیه مواد برگ و نرخ پایین چرخه نیتروژن در خاک‌های آهکی فرک است.

Sharifi *et al.*, (2016) در جنگل‌های نیمه‌خشک استان کرمان، در بررسی اثر پوشش گونه *Artemisia sieberi* بر خاک نشان دادند که تنها عناصر Ca و Mg در زیر تاج افزایش معنادار داشتند و سایر ویژگی‌ها تفاوتی نشان ندادند. این الگو شباهت قابل توجهی با نتایج تحقیق ما دارد، و بیانگر آن است که در زیست‌بوم‌های خشک و نیمه‌خشک، اثر درختان بر خاک محدود و انتخابی است. در پژوهش Heidari et al Sh. (2016) بر روی پوشش درمنه (*Artemisia aucheri*)، مشخص شد که نه‌تنها فسفر و منیزیم افزایش می‌یابند، بلکه غلظت عنصرهای غذایی کم‌مصرف مانند روی و مس نیز در زیر تاج بیشتر است. نتیجه حاضر (اثر معنادار بنه بر غلظت روی) تأییدکننده بخشی از یافته‌های آن مطالعه است.

براساس مجموعه‌ی مطالعات مورد اشاره، یافته‌های پژوهش حاضر بیشترین همخوانی را با الگوهای گزارش‌شده در مناطق نیمه‌خشک نظیر مطالعات (Sharifi *et al.*, 2016) دارد که رشد درختان و پوشش تاج آن‌ها تنها باعث تغییرات انتخابی عناصر معدنی (P، Ca، Mg، Zn و Na) می‌شود. در مقابل، در مناطق مرطوب‌تر یا با خاک‌های غنی‌تر (احمدی و نریمانی)، تأثیر درختان بر ویژگی‌های کلی‌تر مانند کربن آلی و نیتروژن نیز مشهودتر است. این مقایسه بیانگر آن است که گونه بنه در زیست‌بوم فرک تفرش اثر محدود ولی اختصاصی بر خاک دارد و بیش از آنکه ساختار فیزیکی یا pH خاک را دگرگون کند، در چرخه عناصر غذایی خاص نقش تنظیمی و هدفمند ایفا می‌کند.

جدول۲- تجزیه واریانس آزمایش برای صفت‌های موردِ مطالعه.

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		pH	EC	جرم مخصوص ظاهری	رس	سیلت	شن
تیمار	۵	۰/۰۱۴۶^{ns}	۰/۰۰۰۱۶۸ ^{ns}	۰/۰۰۱۲۵**	۲۰/۳۲^{ns}	۱۴/۵۰ ^{ns}	۲۳/۳۸ ^{ns}
خطا	۴	۰/۰۱۹۸	۰/۰۰۰۲۴	۰/۰۰۰۱	۴۰/۶۰	۱۳/۱۰	۱۴
ضریب تغییرات (٪)	–	۱/۵۸	۲۵/۸۲	۱/۹	۳۹/۸۲	۱۴/۵۳	۶/۳۳

^{ns}غیرمعنادار و **معنادار در سطح احتمال ۱ درصد.

جدول ۲- ادامه

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		ماده آلی	فسفر	نیتروژن	پتاسیم	آهن	روی
تیمار	۵	۱/۰۲ ^{ns}	۱۲/۸۵ *	۰/۰۰۴۷ ^{ns}	۱۶۰/۴۸ ^{ns}	۰/۱۲ ^{ns}	۰/۸۰۵*
خطا	۴	۰/۵۵	۱/۶۵	۰/۰۰۱۲	۳۸/۹۰	۰/۷۵	۰/۰۸۷۸
ضریب تغییرات (٪)	–	۳۸/۳۱	۱۴/۴۲	۳۳/۱۳	۴/۱۶	۱۴/۸۲	۱۶/۰۸

^{ns}غیرمعنادار و *معنادار در سطح احتمال ۵ درصد.

جدول ۲- ادامه

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		منگنز	مس	منیزیم	کلسیم	سدیم	آهک
تیمار	۵	۴/۱۱ ns	۰/۰۰۲ns	۲/۲۶**	۶/۱۲*	۳/۷۸*	۳/۱۴ns
خطا	۴	۰/۸۸	۰/۰۰۲	۰/۰۲۵	۰/۱	۰/۴۷	۵/۶۱
ضریب تغییرات (٪)	–	۱۶/۵۷	۴/۸۱	۰/۰۷	۰/۰۲۶	۱/۰۹	۳۳/۳۷

nsغیرمعنادار، *معنادار در سطح احتمال ۵ درصد و **معنادار در سطح احتمال ۱ درصد.

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های صفت‌های مورد مطالعه.

صفت	واحد	بیرون تاج درخت بنه (شاهد)	زیر تاج درخت بنه
pH	–	۷/۵۵ a	۷/۶۶ a
EC	دسی‌زیمنس بر متر	۰/۰۶۲ a	۰/۰۵۸ a
جرم مخصوص ظاهری	گرم بر سانتیمتر مکعب	۱/۴ a	۱/۳۷ b
کلسیم کربنات معادل	درصد	۴/۷۴ a	۶/۴۶ a
ماده آلی	درصد	۲/۴۲ a	۱/۴۳ a
نیتروژن	درصد	۰/۱۳۶ a	/۰۷۴ b
فسفر	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۹/۳۲ a	۸/۵۲ b
پتاسیم	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۲۱۸/۸ a	۲۲۱/۲ a
آهن	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۵/۷۶ a	۵/۹۶ a
روی	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۲/۱۴ a	۱/۷۲ b
منگنز	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۵/۰۱ a	۶/۳۳ a
مس	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۰/۹۷ a	۱/۰A
منیزیم	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۲۲۲/۵b	۲۲۳/۱a
کلسیم	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۱۲۰۲/۰b	۱۲۰۲/۷ a
سدیم	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۶۲/۳ b	۶۳/۹ a
رس	درصد	۱۳/۶ a	۱۸/۴ a
سیلت	درصد	۲۵/۸ a	۲۴/۰A
شن	درصد	۶۰/۶ a	۵۷/۶ a

حروف لاتین غیرمشابه در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنادار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD است.

نتیجه گیری و پیشنهادها

نتایج این پژوهش نشان داد که تاج پوشش بنه تأثیر محدودی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک دارد و تنها بر پنج ویژگی (فسفر، روی، منیزیم، کلسیم و سدیم) تأثیر معنادار دارد. بنابراین، برای ارزیابی جامع اثر گونه‌های درختی در مناطق خشک، باید علاوه بر ویژگی‌های شیمیایی، شاخص‌های زیستی خاک نیز مورد توجه قرار گیرند. درخت بنه در بیشتر موارد موجب کاهش درصد کربن، نیتروژن، فسفر و هدایت الکتریکی و همچنین درصد ذرات شن خاک شده است، درحالی که این گونه باعث افزایش درصد رس، پتاسیم، آهن، منگنز شده است و روی اسیدیته خاک تأثیر چشم‌گیری نداشته و موجب کاهش درصد ذرات شن و سیلت شده است. در واقع تاج پوشش بنه از طریق عواملی چون ساقاب، تاج بارش، لاشریزی و افزودن مواد آلی به خاک

موجب حفظ عناصر غذایی، سنگین شدن بافت خاک از طریق حفظ ذرات رس در زیر تاج و تجمع ذرات شن در اطراف تنه درخت شده است. از طرفی با داشتن ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، به‌عنوان یک رویکرد مبتنی بر دانش با قابلیت دسترسی و انعطاف‌پذیری می‌توان اطلاعات بیشتری برای تصمیم‌سازی ارتقای حاصلخیزی خاک و مدیریت تغذیه درخت بنه در اختیار کارشناسان و بهره‌برداران قرار داد.

محدودیت‌های مطالعه و پیشنهادها برای پژوهش‌های آینده: این مطالعه با تمرکز بر یک گونه در یک رویشگاه خاص، تصویری ارزشمند اما نقطه‌ای ارائه می‌دهد. عمق نمونه‌برداری (۱۵-۰ سانتی‌متر) تنها لایه بسیار سطحی خاک را پوشش می‌دهد، در حالی که ریشه بنه ممکن است اثرات خود را در لایه‌های عمقی‌تر نیز اعمال کند. همچنین، نمونه‌برداری در یک مقطع زمانی انجام شده و پایش بلندمدت می‌تواند تغییرات تدریجی و پاسخ به نوسانات اقلیمی را آشکار کند.

۱. ایجاد قطعات نمونه دائمی برای پایش بلندمدت تغییرات خاک.

۲. گسترش مطالعه به سایر گونه‌های ایرانو-تورانی (مانند بادام کوهی و کهور).

۳. ترکیب داده‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی در یک شاخص جامع کیفیت خاک (SQI).

۴. بررسی اثر عمق‌های بیشتر خاک (تا ۵۰ سانتی‌متر) بر توزیع عناصر.

پایش فصلی/سالانه: اندازه‌گیری فصلی (بهار/تابستان/پاییز) و چندساله برای اثرات تغییرات اقلیمی و ریزش برگ. این پیشنهادات تحقیق را از مطالعه موردی به مدل جامع زیست‌بومی ارتقا می‌دهند و استانداردهای بین‌المللی (مانند LTSP آمریکا) را تکمیل می‌کنند.

در نهایت، این پژوهش گامی مهم در جهت کمی‌سازی اثرات اکولوژیک گونه بنه است و تأکید می‌کند که در ارزیابی سلامت و حاصلخیزی خاک جنگل‌های خشک، شاخص‌های متعارف فیزیکی و شیمیایی در کنار زیستی خاک، ابزارهای حساس و ضروری برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی هستند.

منابع مورد استفاده

References

Ahmadi, M., Rezaei, J. & Habibi, A. (2019). Effect of *Amygdalus scoparia* canopy on physical and chemical properties of soil in Zagros region. *Iranian Journal of Forest and Range Research*, 27(3), 225–239.

Allison, L.E., & Moodie, C.D. (1965). Carbonates. Pp. 1379-1398. In: Black C.A. (Ed.). *Methods of soil analysis*. Part 2. *Chemical and microbiological properties*. Monograph No. 9, ASA, SSSA, Madison, WI, USA. https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.c40

Bashiri, M., Sagheb-Talebi, Kh., Sefidi, K. & Kooch, Y. (2022). Ecological characteristics and conservation status of Zagros oak forests in Iran. *Forest Ecology and Management*, 505, 119876.

Chen, X., Peng, S., Chen, C. & Chen, H.Y.H. (2021). Water availability regulates tree mixture effects on total and heterotrophic soil respiration: A three-year field experiment. *Geoderma*, 402, 115259. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115259

Esfandiari, H., Safidi, K., Ghoveydel, A., Esmaeilpour, M., Amanzadeh, B. & Sadeghi, S.M.M. (2023). Effects of forest management methods on changes in biological properties of soil (Case study: Beech forests of Asalem). *Modeling and Management of Water and Soil*, 3(4), 16–28. https://doi.org/10.22098/mmws.2022.11641.1149

Forests, Rangelands and Watershed Management Organization of Iran (FRWMO). (2019). Statistical yearbook of iranian forests. https://en.frw.ir/

Gee, G.W., & Or, D. (2002). Particle size analysis. Pp. 201–214. In: Dane J.H. and Topp G.C. (Eds), *Methods of soil analysis*. Part 4. *Physical methods*. SSSA Book Series No. 5, Madison, WI. USA. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.4.c12

Hagen-Thorn, A., Callesen, I., Armolaitis, K. & Nihlgård, B. (2004). The impact of six European tree species on the chemistry of mineral topsoil in forest plantations on former agricultural land. *Forest Ecology and Management*, 195(3), 373-384.

Hazelton, P. & Murphy, B. (2016). *Interpreting soil test results: What do all the numbers mean*? CSIRO Publishing, Australia.

Heidari, M., Yousefi, A. & Abedi, Sh. (2016). Influence of *Artemisia aucheri* coverage on soil mineral nutrients in semi-arid rangelands of Fars province. *Iranian Journal of Rangeland Research*, 69(1), 87–99.

Jones, J.B. (2001). *Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis*. CRC Press LLC, Boca Raton, Florida, USA. 363 Pages.

Khanmohammadi, M. & 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. http://dx.doi.org/10.47176/jspi.14.2.20462

Kooch, Y. & Ehsani, S. (2020). The effect of different land uses on new indices of soil quality in Central Alborz Region. *Ecology of Iranian Forest*, 8(16), 60–71. http://dx.doi.org/10.52547/ifej.8.16.60

Kuo, S. (1996). Phosphorus. Pp. 869–918. In: Sparks, D.L. (Ed.) *Methods of soil analysis*. Part 3-Chemical methods. Book Series No. 5, SSSA and ASA, Madison, WI, USA. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c32

Lindsay, W.L., & Norvell, W. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42(3), 421–428. https://doi.org/10.2136/sssaj1978.03615995004200030009x

Matinkhah, S.H., Shabazi, E. & Naiminia, M. (2015). Efficiency of *Prosopis juliflora* (Pakistani mesquite) in soil enrichment. *Water and Soil Science Journal*, 25(4), 211-222.

Moradinejad, A., Matinizadeh, M., Alizadeh, T., (2024). Effects of *Pistacia atlantica* Desf on some soil properties (Case study: Farak, Tafaresh region). *Soil Biology Journal*, 12 (1), 140-154. https://doi.org/10.22092/sbj.2024.365365.262

Najafi N., & Mardomi S. (2013). Effects of sunflower cultivation, manure and sewage sludge on availability of elements, pH and EC of an alkaline soil. *Applied Soil Research*, 1(1), 1–23. (in Persian with English abstract)

Najafi N., & Sarhangzadeh E. (2012). Effect of NaCl salinity and soil waterlogging on growth characteristics of forage corn in greenhouse conditions. *Journal of Soil and Plant Interactions*, 3(10), 1–15. (in Persian with English abstract) https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20089082.1391.3.2.1.1

Najafi N., & Towfighi H. (2006). Effects of rhizosphere of rice on the inorganic phosphorus fractions in paddy soils of north of Iran: 1- Native phosphorus fractions. *Iranian Journal of Agricultural Science*, 37(5), 919–933. (in Persian with English abstract)

Najafi N., & Towfighi H. (2008). Changes in pH, EC and concentration of phosphorus in soil solution during submergence and rice growth period in some paddy soils of North of Iran. In: *International Meeting on Soil Fertility, Land Management, and Agroclimatology*, 29 October–1 November, Kusadasi, Turkey.

Najafi N., & Towfighi H. (2011). Effects of soil moisture regimes and phosphorus fertilizer on available and inorganic P fractions in some paddy soils, North of Iran. *Iranian*

Journal of Soil and Water Research, 42(2), 257–69. (in Persian with English abstract) https://doi.org/10.22059/ijswr.2012.29285

Nelson, D.W., & Sommers, L.E. (1996). Total carbon, organic carbon and organic matter. Pp. 961–1010. In: Sparks D.L., Page A.L., Helmke P.A., Loeppert R.H., Soltanpour P.N., Tabatabai M.A., Johnston C.T. and Sumner M.E. (Eds). *Methods of soil analysis*. Part 3. *Chemical methods*. Soil Science Society of America Book Series 5, Madison, USA. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c34

Nerimani, S., Faraji, H., & Davoudi, M. (2021). Effects of *Quercus brantii* on soil chemical properties in the forests of Ilam province, Iran. *Iranian Journal of Natural Resources*, 74(2), 117–134.

Rhoades, J.D. (1996). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. Pp. 417–434. In: Sparks D.L. (Ed.) *Methods of soil analysis*. Part 3-*Chemical methods*. Book Series No. 5, SSSA and ASA, Madison, WI, USA. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c14

Saleh J., Najafi N., & Oustan S. (2017). Effects of silicon application on wheat growth and some physiological characteristics under different levels and sources of salinity. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48(10), 1114–1122. https://doi.org/10.1080/00103624.2017.1323090

Salehi, A. (1998). Quantitative and qualitative assessment of broad-leaved afforestation. Master's Thesis, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Sharifi, H., Khosravi, A. & Zare, M. (2016). Effect of *Artemisia sieberi* canopy on soil chemical properties in semi-arid rangelands of Kerman province. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 23(4), 67–79.

Thomas, G.W. (1996). Soil pH and soil acidity. Pp. 475–489. In: Sparks D.L. (Ed.) *Methods of soil analysis*. Part 3-chemical methods. Book Series No. 5, SSSA and ASA, Madison, WI, USA. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c16

Wang, Z., Liu, S., Wang, Y. & Wu, J. (2021). Response of soil microbial communities to forest conversion in temperate China. *Forest Ecology and Management*, 490, 119104.

Zahedipour, H., Fattahi, M., & Mirdavoudi-Akhavan, H. R. (2008). Study of the distribution and quantitative and qualitative characteristics of wild pistachio habitats in Markazi province (Kuh-e Saqez region, Tafresh County). *Iranian Journal of Biology*, 20(2), 191–199.

Zarafshar, M., Alavi, S. J., Akbarinia, M. & Salehi, A. (2021). Soil microbial respiration in pure and mixed stands of Zagros forests. *Journal of Forest Science*, 67(3), 101–110.