Urmia University

Forest Research and Development

Vol. 12, Issue 1, 2026, 21-40

Research Paper

Investigation of soil quality index in habitats of (*Moringa peregrina* (Forssk.) Fiori) and (*Salvadora persica* L.) species in Hormozgan province

Tahereh Alizadeh[*,1], Mohammad Matinizadeh[2], Elham Nouri[3], Seyed Mousa Sadeghi[4] and Omid Shayani[5]

1,*- (Corresponding author) Research expert, Research Division of Forest, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I. R. Iran. (talizadeh@rifr-ac.ir)
2- Associate Professor, Research Division of Forest, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I. R. Iran. (matini@rifr-ac.ir)
3- Research expert, Research Division of Forest, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I. R. Iran. (nouri@rifr-ac.ir)
4- Assistant Professor, Research Division of Forest, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I. R. Iran. (smbooraki@yahoo.com)
5- Expert, Natural Resources Research Department, Agricultural and Natural Resources Research Center, Hormozgan Province, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Bandar Abbas, I. R. Iran. (omid@gmail.com)

Received: 25 August 2025 Revised: 10 November 2025 Accepted: 25 December 2025

Extended Abstract

Background and Objective: The natural forests of southern Iran have adapted to the region's harsh climatic conditions over millennia, and their stability is profoundly dependent on soil health and quality. In arid ecosystems, tree species play a vital role in forest productivity by inducing changes in the physical, chemical, and biological properties of the soil. Tree canopies create "islands of fertility" by accumulating nutrients and enhancing microbial activity, the extent of which is directly correlated with canopy size. Despite this importance, no comprehensive study has yet evaluated the impact of two valuable native species, *Moringa peregrina* and *Salvadora persica*, on soil characteristics or determined their Soil Quality Index (SQI) within the Saharo-Sindian phytogeographical region. Therefore, this study aims to elucidate the influence of these species on the soil and analyze the drivers of ecological change. The findings provide a comprehensive perspective on plant-soil interactions, assisting managers and planners in adopting optimal strategies for the sustainable management and conservation of these unique forests.

Material and Methods: This research was conducted in two 1-hectare plots within the habitats of *Moringa peregrina* (Bashagard) and *Salvadora persica* (Bandar Abbas). In each habitat, 15 trees were randomly selected, and soil sampling (0–15 cm depth) was performed under the canopy and in open spaces (control) facing east. For each species, samples from every three trees were pooled to obtain five composite samples per position. Once sieved (2 mm), the samples were divided into two portions: one stored at -20°C for microbial activity assays and the other at ambient temperature for physicochemical analysis. After measuring soil properties using standard methods, data normality was verified via the Shapiro-Wilk test. Statistical comparisons between under-canopy and open-area positions were performed using independent t-tests (for normal data) or the Mann-Whitney U test (for non-normal data). Finally, the Soil Quality Index (SQI) was calculated and analyzed using the aforementioned statistical methods.

Results: The results indicated that beneath the canopy of *Moringa peregrina*, electrical conductivity (2.11 dS/m), organic carbon (0.89%), total nitrogen (0.089%), available phosphorus (12.94 mg/kg), available calcium (347.89 mg/kg), available magnesium (33.04 mg/kg), and nitrification potential (97.07 µg NO2-N g^{-1} dry soil $5h^{-1}$) were significantly higher than in open areas, while soil pH (7.92) was significantly higher in the open areas. Beneath the canopies of both *M. peregrina* and *Salvadora persica*, significant increases were observed in available potassium (843.09 and 289.64 mg/kg, respectively), available manganese (5.7 and 4.06 mg/kg, respectively), and basal respiration (1.73 and 0.74 mg CO2 g^{-1} dry soil $24h^{-1}$) compared to their respective controls. Substrate-induced respiration (SIR) showed significant differences under the canopy of *M. peregrina* (11.44 mg CO2 $100g^{-1}$ dry soil h^{-1}) and in the open areas of *S. persica* (6.62 mg CO2 $100g^{-1}$ dry soil h^{-1}). The Soil Quality Index (SQI = 7) showed a significant difference only beneath the canopy of *M. peregrina* in Bashagard.

Conclusion: This study demonstrates that both species induce significant modifications in the physicochemical and biological soil properties, as well as the Soil Quality Index, within their respective habitats. These findings emphasize that dominant species in each habitat reflect complex interactions between biotic and abiotic factors, with soil acting as a key environmental driver in the development and stability of vegetation cover. Given the importance of continuous soil monitoring, tracking changes in soil characteristics over different time intervals and conducting periodic assessments can provide a more accurate evaluation of ecological trends. Such data offer reliable insights for the scientific management and conservation of Saharo-Sindian forests.

Keywords: Bashagard, Bandar Abbas, Saharo-Sindian, soil physicochemical and biological properties.

How to Cite This Article: Alizadeh, T., Matinizadeh, M., Nouri, E., Sadeghi, S. M., and Shayani, O. (2026). Investigation of soil quality index in habitats of (*Moringa peregrina* (Forssk.) Fiori) and (*Salvadora persica* L.) species in Hormozgan province. Forest Research and Development, 12(1), 21-40. DOI: 10.30466/jfrd.2025.56492.1777

Copyright ©2024 Alizadeh et al. Published by Urmia University.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which allows users to read, copy, distribute, and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

پژوهش و توسعه جنگل
جلد ۱۲، شماره ۱، صفحه ۴۰-۲۱، (۱۴۰۵)

DOI: https://doi.org/10.30466/jfrd.2025.56492.1777
DOR:

مقالهٔ پژوهشی

بررسی شاخص کیفیت خاک در رویشگاه‌های گونه‌های گازرخ (*Moringa peregrina* (Forssk.) Fiori) و چوج (*Salvadora persica* L.) در استان هرمزگان

طاهره علی‌زاده*[۱]، محمد متینی‌زاده[۲]، الهام نوری[۳]، سید موسی صادقی[٤] و امید شایانی[٥]

۱- کارشناس پژوهش، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. (talizadeh@rifr-ac.ir)

۲- دانشیار، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. (matini@rifr-ac.ir)

۳- کارشناس پژوهش، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. (nouri@rifr-ac.ir)

٤- استادیار، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. (smbooraki@yahoo.com)

۵- کارشناس، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان هرمزگان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندرعباس، ایران. (omid@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱٤۰٤/۰٦/۰۳ تاریخ بازنگری: ۱٤۰٤/۰۸/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱٤۰٤/۱۰/۰٤

چکیده

مقدمه و هدف: جنگل‌های طبیعی جنوب ایران با شرایط اقلیمی سخت منطقه سازگار شده و پایداری آن‌ها به‌شدت به سلامت و کیفیت خاک وابسته است. حضور گونه‌های درختی با ایجاد تغییر در ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک، به‌ویژه در بوم‌سازگان‌های خشک، نقش حیاتی در بهره‌وری جنگل ایفا می‌کنند. تاج‌پوشش درختان با تجمع مواد مغذی و افزایش فعالیت ریزنده‌ها در زیر خود، کانون‌های پایداری ایجاد می‌کند که وسعت آن با اندازه تاج در ارتباط است. با وجود اهمیت این موضوع، تاکنون پژوهشی جامع پیرامون اثر دو گونه بومی و ارزشمند «گازرخ» و «چوج» بر ویژگی‌های خاک و تعیین شاخص کیفیت خاک (SQI) در رویشگاه‌های صحارا-سندی انجام نشده است. لذا، هدف این پژوهش تبیین تأثیر این گونه‌ها بر خاک و تحلیل علل تغییرات بوم‌شناختی است. نتایج این مطالعه می‌تواند با ارائه دیدگاهی جامع از تعامل گیاه و خاک، مدیران و برنامه‌ریزان را در اتخاذ راهبردهای بهینه برای مدیریت پایدار و حفاظت از این جنگل‌های منحصربه‌فرد یاری دهد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در دو قطعه‌نمونه یک هکتاری در رویشگاه‌های گازرخ (بشاگرد) و چوج (بندرعباس) انجام شد. در هر رویشگاه، ۱۵ درخت به‌طور تصادفی انتخاب و نمونه‌برداری خاک (عمق ۰-

۱۵ سانتی‌متر) از زیر تاج و فضای باز (شاهد) در جهت شرق درختان انجام شد. برای هر گونه، نمونه‌های هر سه درخت با هم ترکیب شدند تا در نهایت ۵ نمونه ترکیبی برای هر موقعیت به‌دست آید. نمونه‌ها پس از عبور از الک ۲ میلی‌متری، به دو بخش تقسیم شدند: بخشی در دمای ۲۰- درجه برای سنجش فعالیت میکروبی و بخشی در دمای محیط برای آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی نگهداری شدند. پس از اندازه‌گیری ویژگی‌ها با روش‌های استاندارد، نرمال بودن داده‌ها با آزمون شاپیرو-ویلک بررسی شد. مقایسه آماری بین زیر تاج و فضای باز با آزمون تی-مستقل (داده‌های نرمال) یا من-ویتنی‌یو (داده‌های غیرنرمال) انجام شد. در نهایت، شاخص کیفیت خاک (SQI) محاسبه و با روش‌های مذکور تجزیه و تحلیل شد.

یافته‌ها: نتایج این پژوهش نشان داد که در زیر تاج گونهٔ گازرخ نسبت به بیرون تاج، مقادیر هدایت الکتریکی (۲/۱۱ دسی‌زیمنس بر متر)، کربن آلی (۰/۸۹ درصد)، نیتروژن کل (۰/۰۸۹ درصد)، فسفر قابل جذب (۱۲/۹٤ میلی‌گرم در کیلوگرم)، کلسیم قابل جذب (۳٤۷/۸۹ میلی‌گرم در کیلوگرم)، منیزیم قابل جذب (۳۳/۰٤ میلی‌گرم در کیلوگرم) و پتانسیل نیتریفیکاسیون (۹۷/۰۷ میکروگرم نیتروژن نیتریتی آزاد شده در هر گرم خاک خشک در پنج ساعت) و در بیرون تاج گونهٔ گازرخ نسبت به زیر تاج، مقدار اسیدیته خاک (۷/۹۲) اختلاف معنی‌دار داشتند. در زیر تاج گونه‌های گازرخ و چوج نسبت به بیرون تاجشان به‌ترتیب مقادیر پتاسیم قابل جذب (۸٤۳/۰۹ و ۲۸۹/٦٤ میلی‌گرم در کیلوگرم)، منگنز قابل جذب (۵/۷ و ٤/۰٦ میلی‌گرم در کیلوگرم)، تنفس پایه (۱/۷۳ و ۰/۷٤ میلی‌گرم دی‌اکسید کربن در هر گرم خاک خشک در ۲٤ ساعت) اختلاف معنی‌دار داشتند. تنفس برانگیختهٔ میکروبی در زیر تاج گونه گازرخ با مقدار (۱۱/٤٤) و در گونهٔ چوج در بیرون تاج با مقدار (٦/٦۲) (میلی‌گرم دی‌اکسید کربن در صد گرم خاک خشک در ساعت) اختلاف معنی‌دار نشان داد. شاخص کیفیت خاک با مقدار (۷) فقط در زیر تاج گونهٔ گازرخ در بشاگرد اختلاف معنی‌دار نشان داد.

نتیجه‌گیری: براساس یافته‌های این پژوهش، هر دو گونه در رویشگاه‌های خود تغییراتی در ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک و نیز شاخص کیفیت خاک ایجاد کردند. این یافته‌ها تأکید می‌کنند که گونه‌های غالب هر رویشگاه بازتابی از برهم‌کنش پیچیده عوامل زیستی و غیرزیستی هستند و خاک به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی نقش کلیدی در توسعه و پایداری پوشش گیاهی ایفا می‌کند. بنابراین با توجه به اهمیت پایش مداوم خاک، رصد تغییرات ویژگی‌های خاک در بازه‌های زمانی مختلف و انجام بررسی‌های دوره‌ای می‌تواند امکان ارزیابی دقیق‌تر روند تغییرات و ارائه اطلاعات قابل اتکا برای مدیریت و حفاظت علمی جنگل‌های صحارا- سندی را فراهم کند.

واژه‌های کلیدی: بشاگرد، بندرعباس، صحارا- سندی، ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک.

* نویسنده مسئول شمارهٔ تماس: ۰۹۱۲۸۰٦۹۲٦٦

مقدمه

گازرخ یا گز روغن (*Moringa peregrina* (Forssk.) Fiori) یکی از گونه‌های درختچه‌ای بومی با ارزش از جنس Moringa و خانواده Moringaceae است و شامل ۱۳ تا ۱٤ گونهٔ مختلف است که در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری پراکنش دارند (Steinitz et al., 2009). پراکنش آن در ایران محدود به هرمزگان و بلوچستان حدفاصل بشاگرد تا مرز پاکستان بین دو حد ارتفاعی ۱۰۰ تا ۱۵۰۰ متر از سطح دریا در نواحی کوهستانی و تپه‌ماهورهاست (Javanshir, 1993; Mozaffarian, 1997). درخت چوج یا مسواک با نام علمی (*Salvadora persica* L.) از جنس Salvadora و خانوادهٔ Salvadoraceae از گونه‌های جنگلی بسیار ارزشمند جنوب کشور است. نام Persica از کلمه Persian اشتقاق شده و نشان‌دهنده این موضوع است که ایران یکی از مناطق اصلی رشد این گیاه محسوب می‌شود (Gorgij et al., 2014). این گونه در ایران در استان‌های هرمزگان، سیستان و بلوچستان و جنوب استان فارس رشد می‌کند (Javan et al., 2014). در جنوب ایران به‌دلیل شرایط اقلیمی سخت مانند گرما، خشکی، تبخیر زیاد، کمبود بارش، تخریب جنگل‌ها و تغییر کاربری اراضی، احیاء و توسعهٔ جنگل‌ها بسیار ضروری است (Sadeghi et al., 2025). خاک به‌عنوان عاملی مهم و کلیدی، نقش مؤثری در رابطه با حضور و استقرار پوشش گیاهی ایفا می‌کند Talebi et al. (2006) و همچنین نقش مهمی در افزایش کیفیت رویشگاه دارد (Hashemi et al., 2017; Kianmehr et al., 2019). پوشش گیاهی یکی از اجزای مهم بوم‌سازگان طبیعی است که نقش مهمی در قابلیت‌ها و پتانسیل‌های مورد انتظار از هر منطقه ایفا می‌کند Kiani et al. (2010) و بهترین شاخص برای تعیین و رفتارسنجی عامل‌های تأثیرگذار محیطی است (Salomon *et al*., 2008). خاک به‌عنوان یکی از ارکان بوم‌سازگان نقش عمده‌ای در ایجاد تغییر و تنوع گونه‌های جنگلی ایجاد می‌کند و از طرف دیگر تیپ گیاهی نیز نقش قابل توجهی در تغییر و تحول ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک‌ها دارد (Moradinejad, 2024). بنابراین نباید تغییرات تیپ گیاهی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک را از یکدیگر منفک دانست، بلکه همواره اثر متقابل این دو را باید مدنظر قرار داد (Matinkia et al., 2011). ازآنجاکه پایداری طولانی‌مدت بوم‌سازگان‌های جنگلی وابسته به حفظ کیفیت خاک است، آگاهی از وضعیت خاک‌های مناطق جنگلی و بررسی آثار فعالیت‌های صورت‌گرفته بر ویژگی‌های خاک بسیار مهم و در مدیریت جنگل مؤثر است. پایدار بودن یک جنگل مستلزم حفظ عناصر غذایی در آن است و گونه‌های مختلف درختی در غنی‌سازی خاک‌ها از نظر عناصر غذایی تأثیر زیای دارند (Onyekwelu et al., 2006). گونه‌های مختلف درختی می‌توانند چرخهٔ کربن، نیتروژن و دیگر عناصر غذایی در خاک زیر تاج‌پوششان را تحت تأثیر قرار دهند که این موضوع می‌تواند بر فرآیندهای حیاتی در سطح بوم‌سازگان مؤثر باشد (Lovett et al., 2002). تیپ جنگل، ترکیب و ساختار تودهٔ جنگلی مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر کیفیت یا شیمی لاشریزه ورودی به جنگل معرفی شده‌اند که تأثیر بسیار زیادی بر جمعیت میکروبی، سرعت تجزیه لاشریزه و نرخ ورود مواد غذایی به خاک‌های جنگلی و در پایان حاصلخیزی خاک خواهد داشت (Aponte et al., 2014; Chavez-Vergara et al., 2014). در همین رابطه Shen et al. (2022)، نشان دادند که کیفیت خاک به نوع جنگل بستگی دارد. آنها یک رابطهٔ منفی بین غنای پوشش و کیفیت خاک در جنگل‌های پهن‌برگ و درختچه‌ای مشاهده کردند درحالی‌که این

رابطه در جنگل‌های سوزنی‌برگ، مخلوط سوزنی‌برگ و پهن‌برگ مثبت بود. Reddy et al. (2008) نشان دادند طی چهار سال متوالی، تاج‌پوشش برای درختان چوجی که در خاک‌های شور رشد می‌کنند از ۱۷ به ٤۳ درصد افزایش یافت، درحالی‌که در خاک‌های قلیایی این افزایش فقط در مراحل مختلف رشد ۱۸ تا ۲۰ درصد بود. Keneshloo (2016)، در پژوهشی نشان داد در خاک رویشگاه گازرخ در ارتفاعات و تپه‌ماهورهای منطقهٔ بشاگرد و بلوچستان جنوبی در ناحیهٔ مکران، اسیدیتهٔ ۷/۸۵ تا ۸/۳، هدایت الکتریکی ۱/۳٦ تا ٤/۵ دسی‌زیمنس بر متر، پتاسیم ۱۸۹ تا ۷۳۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم، فسفر هشت تا ٤۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم، نیتروژن ۰/۰۱ تا ۰/۱۲ درصد، شن ٤٦ تا ۷۵ درصد، سیلت ۱۲ تا ۳۹ درصد، رس ۱۰ تا ۲٦ درصد، مقدار آهک نه تا ۲٦ درصد و مقدار گچ ۰/۰۱ تا ۰/۰٦ است. او بیان کرد مهم‌ترین متغیرهای خاک در پراکنش رویشگاه‌های گازرخ، درصد شن و اسیدیته هستند. همبستگی این گونه به اسیدیتهٔ خاک و درصد شن نشان می‌دهد ویژگی‌های خاک در پراکنش آن مؤثر هستند. تاکنون پژوهشی در مورد بررسی ویژگی‌های مختلف خاک در زیر و بیرون تاج گونه‌های گازرخ و چوج و همچنین تعیین شاخص کیفیت خاک این دو گونه بومی و ارزشمند در رویشگاهشان انجام نشده است. بنابراین هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی نقش این گونه‌ها در تغییر و بهبود وضعیت کیفیت خاک و فراهم‌سازی بستر مناسب برای حفظ و توسعهٔ جنگل‌های صحارا–سندی در ایران و همچنین شناخت بهتر تأثیر این گونه‌های درختی بر خاک و علل ایجاد تغییرات در خاک رویشگاهشان است که می‌تواند موجب یک دیدگاه کلی و جامع از اثر گونه‌های مختلف جنگلی بر بوم‌سازگان و مدیریت بهینه آنها برای مدیران و برنامه‌ریزان ایجاد شود.

مواد وروش‌ها

منطقه مورد بررسی

بشاگرد (رویشگاه گازرخ)، در منطقه‌ای وسیع با عرض‌جغرافیایی ۲۷ درجه و ۲۸ دقیقه و ۳٤ ثانیه و طول‌جغرافیایی ۵۲ درجه ۳٦ دقیقه و ۲۷ ثانیه واقع و در شمال شرق استان هرمزگان و همجوار با استان کرمان و سیستان و بلوچستان پراکنده شده است. بندرعباس (رویشگاه چوج)، به‌عنوان مرکز استان هرمزگان در مختصات ۵٦ درجه و ۱٤ دقیقه تا ۵٦ درجه و ۲۲ دقیقه طول‌شرقی و ۲۷ درجه و ۹ دقیقه تا ۲۷ درجه و ۱۵ دقیقه عرض‌شمالی و در ارتفاع ۱۰ متری از سطح دریا قرار دارد. آب و هوای آن بیابانی–کناره‌ای، رطوبت زیاد، میانگین بارندگی کمتر از ۱۵۰ میلی‌متر و طول دورهٔ فصل خنک کوتاه است. هوای گرم و مرطوب دارد و بیشترین درجهٔ حرارت در تابستان، ٤۹ درجهٔ سانتی‌گراد بالای صفر و کمترین آن در زمستان، پنج درجهٔ سانتی‌گراد بالای صفر است (Army Geographical Organization, 2004).

روش نمونه‌برداری

برای انجام این پژوهش دو قطعه‌نمونه به مساحت یک هکتار (۱۰۰ × ۱۰۰ متر) در رویشگاه‌های گازرخ یا گز روغن (*Moringa peregrina* (Forssk.) Fiori) در بشاگرد و چوج (*Salvadora persica* L.) در بندرعباس انتخاب شدند. در بشاگرد از میان درختان گازرخ، ۱۵ درخت به‌طور تصادفی انتخاب شدند. نمونه‌برداری خاک از عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متری در زیر تاج درختان (در فاصلهٔ میان تنه تا لبه انتهایی تاج) و در بیرون تاج (شاهد) (در محلی که گیاه وجود نداشته باشد) در جهت شرق درختان انجام شد. برای به‌دست آوردن یک نمونهٔ خاک ترکیبی از زیر و بیرون تاج درختان گازرخ، نمونه‌های خاک برداشت‌شده از زیر و بیرون تاج هر سه درخت (به‌طور تصادفی) به–

خوبی با یکدیگر مخلوط و به یک نمونهٔ ترکیبی تبدیل شد تا در نهایت پنج نمونهٔ ترکیبی خاک از زیر تاج و پنج نمونهٔ ترکیبی خاک از بیرون تاج درختان گازرخ به‌دست آمد. در بندرعباس نیز از میان درختان چوج، ۱۵ درخت به‌طور تصادفی انتخاب شدند و نمونه‌برداری از خاک، در زیر و بیرون تاج چوج، همانند رویشگاه قبلی تکرار شد، به‌طوری‌که پنج نمونهٔ ترکیبی خاک از زیر تاج و پنج نمونهٔ ترکیبی خاک از بیرون تاج درختان چوج به‌دست‌آمد. بلافاصله پس از نمونه‌برداری، بخشی از نمونه‌های خاک در کیسه‌های پلاستیکی و بخش دیگر در شرایط سرد (چهار درجه سانتی‌گراد) نگهداری و برای تجزیه و تحلیل بعدی به آزمایشگاه منتقل شدند. برای سنجش ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، نمونه‌های خاک پس از هوا خشک شدن، از الک دو میلی‌متری عبور داده شد و در دمای محیط برای انجام روش‌های مورد نیاز نگهداری شدند. برای سنجش فعالیت‌های زیستی ریززنده‌های خاک بخشی از نمونه‌های خاک در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند (Schinner et al., 1996).

سنجش ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

رطوبت اشباع خاک به روش گل اشباع و بر حسب درصد (Jafari Haghighi (2003، بافت خاک به روش هیدرومتر (Houba (1995، اسیدیته با دستگاه pH متر (نسبت یک خاک به ۲/۵ آب مقطر) (Ghazan Shahi 1997)، هدایت الکتریکی به روش عصاره اشباع خاک با دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی و برحسب دسی‌زیمنس بر متر (Mclean (1982، کربن آلی خاک به‌روش اکسایش تر و تیتراسیون و بر حسب درصد (Walkley and Black (1934، نیتروژن کل از روش کجلدال و با دستگاه نیمه‌اتومات کجلتیک و بر حسب درصد (Ghazan Shahi (1997، فسفر قابل جذب به‌روش اسپکتروفتومتری و عصاره‌گیری با بی‌کربنات سدیم و بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم (Olsen et al. 1954) و پتاسیم، کلسیم، سدیم، منیزیم، منگنز، آهن و روی قابل جذب به‌روش استات آمونیوم با دستگاه جذب اتمی و بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم (Ghazan Shahi (1997، انجام شد.

سنجش ویژگی‌های زیستی خاک

تنفس پایه با روش جذب دی‌اکسیدکربن در محلول هیدروکسید سدیم و تیتراسیون با اسیدکلریدریک و با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (Schinner et al., 1996).

$$\text{Soil Basal Respiration} = ((C - S) \times 2.2 \times 100) / (SW \times \%dm)$$ رابطهٔ ۱

C و S به‌ترتیب حجم اسید مصرفی برای نمونه‌های شاهد و آزمون، ۲/۲ عامل تبدیل اسید کلریدریک به دی‌اکسید کربن، SW وزن خاک و dm عامل تبدیل برای خاک خشک است.

تنفس برانگیخته پس از افزودن گلوکز و انکوباسیون چهار ساعته، در دمای ۲۲ درجهٔ سانتی‌گراد به روش مشابه تنفس پایهٔ اندازه‌گیری و با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد (Schinner et al., 1996).

$$\text{Substrate Induced Respiration} = ((B - S) \times 2.2 \times 100 \times 100) / (4 \times SW \times \%dm)$$ رابطهٔ ۲

B و S به‌ترتیب حجم اسید مصرفی برای نمونه‌های شاهد و آزمون، ۲/۲ عامل تبدیل اسید کلریدریک به دی‌اکسید کربن، SW وزن خاک، ۱۰۰ عامل تبدیل (۱۰۰ گرم خاک خشک) و dm% /۱۰۰ عامل تبدیل برای خاک خشک است.

کربن زی‌توده میکروبی (MBC) با روش تدخین کلروفرمی و تیتراسیون کرومات و با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد (Schinner et al., 1996).

$$MBC = (S - C) / 0.35$$ رابطهٔ ۳

S و C به‌ترتیب میانگین حجم فروسولفات آمونیوم مصرفی در تیتراسیون نمونه‌های آزمون

(تدخین شده) و شاهد (تدخین نشده) و ۰/۳۵ ضریب تبدیل کربن آلی به کربن میکروبی است.

پتانسیل نیتریفیکاسیون با انکوباسیون خاک در حضور مادهٔ اولیهٔ آمونیومی و کلرات سدیم در دمای ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد و تعیین نیتریت با رنگ‌سنجی در ۵۲۰ نانومتر انجام شد (Schinner et al., 1996).

رابطهٔ ٤ $$\text{Nitrification potential} = ((S - C) \times 25.1 \times 100 \times 100) / (5 \times 5 \times \%dm)$$

S و C به‌ترتیب میانگین نیتروژن در نمونه‌ها و شاهد بر حسب میلی‌گرم، ۲۵/۱ حجم محلول، ۱۰۰۰ عامل تبدیل میلی‌گرم به میکروگرم، پنج حجم عصاره استفاده شده، پنج وزن اولیهٔ خاک و ۱۰۰/ %dm عامل تبدیل برای خاک خشک است.

تعیین شاخص کیفیت خاک

از تمام این اندازه‌گیری‌ها به‌عنوان مشخصه‌های خاک تأثیرگذار بر کیفیت خاک استفاده و برای هر متغیر یک سطح آستانه تعیین و تفسیرها بر اساس مقادیر تعیین‌شده مربوط به شاخص خاک بر اساس (Amacher et al., 2007; Mukhopadhyay, 2014) انجام شد. در این روش به هر متغیر بر اساس مقدار بهینه‌ی آن وزن داده و بر اساس روابط زیر سنجیده شد (Cherubin et al., 2016b). شاخص کیفیت خاک با استفاده از سه گام اصلی به شرح زیر محاسبه شد.

۱- تعیین مجموعه‌ای از حداقل داده‌ها، ۲- امتیازدهی به هر یک از داده‌ها، ۳- ادغام امتیازها

در این گام ویژگی‌های مربوط به کمترین داده‌ها در دو گروه جداگانه با نام‌های (الف)- "بیشتر بهتر است" - شامل آن ویژگی‌هایی است که افزایش مقدار آنها اثر مطلوبی بر خاک بجا می‌گذارند مانند (رطوبت اشباع، رس، سیلت، کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر، پتاسیم، منیزیم، منگنز، آهن و روی قابل جذب، تنفس میکروبی پایه و برانگیخته، کربن زی‌تودهٔ میکروبی، پتانسیل نیتریفیکاسیون) و (ب)- "کمتر بهتر است" - شامل آن ویژگی‌هایی است که افزایش مقدار آنها اثر نامطلوب بر خاک بجا می‌گذارند مانند (مقدار شن، هدایت الکتریکی، کلسیم و سدیم قابل جذب). اسیدیته با توجه به دامنهٔ تعریف‌شده (عدد ۷) گروه‌بندی می‌شود، به این ترتیب که اگر مساوی یا کمتر از هفت باشد در دستهٔ (الف) و اگر بیشتر از هفت باشد در دستهٔ (ب) قرار می‌گیرد. در این پژوهش اسیدیته در دسته دو قرار گرفت. در نهایت امتیاز مربوط به هر یک از ویژگی‌های قرار گرفته در این دو دسته با روابط ۵ محاسبه شد (Heydari et al., 2020; Asadian et al., 2023). در نهایت تمام متغیرهای اندازه‌گیری‌شده با توجه به گروه‌بندی ذکرشده تجزیه و تحلیل شدند (Bayranvand et al., 2024).

رابطهٔ ۵

بیشترین ارزش/ ارزش (مقدار عددی) هر تکرار = امتیازبندی ویژگی‌های دسته (الف)

ارزش (مقدار عددی) هر تکرار/کمترین ارزش = امتیازبندی ویژگی‌های دسته (ب)

ادغام امتیازهای محاسبه‌شده، درون شاخص کلی با عنوان شاخص کیفیت خاک در نظر گرفته شد (رابطه ٦).

رابطهٔ ٦ $$SQI = (\sum Si / n) \times 10$$

SQI شاخص کیفیت خاک، S_i امتیاز محاسبه شده برای هر ویژگی مورد بررسی و n تعداد کل ویژگی‌های مورد بررسی

نتایج

نتایج ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک در دو گونه گازرخ و چوج

پس از انجام آزمون شاپیرو- ویلک (نرمال‌بودن و نبودن) داده‌های گونهٔ گازرخ (گز روغنی) در بشاگرد مشخص شد متغیرهای رس، سیلت، شن، کربن آلی، نیتروژن کل، روی قابل جذب و کربن زی‌توده میکروبی نرمال نبودند و بقیهٔ متغیرها نرمال بودند. همچنین برای داده‌های گونهٔ چوج (مسواک) در بندرعباس مشخص شد متغیرهای سیلت، هدایت الکتریکی، پتاسیم قابل جذب، منیزیم قابل جذب، سدیم قابل جذب و آهن قابل جذب نرمال نبودند و بقیهٔ متغیرها نرمال بودند.

با توجه به نتایج آزمون شاپیرو-ویلک برای متغیرهایی که نرمال نبودند، از آزمون ناپارامتری من-ویتنی‌یو Man_Whitney U Test برای مقایسهٔ موقعیت‌های زیر و بیرون تاج گازرخ استفاده شد (جدول ۱). همان‌طورکه در جدول هم مشخص است فقط متغیرهای کربن آلی و نیتروژن کل برای گازرخ معنی‌دار شد.

جدول ۱- آزمون ناپارامتریک من- ویتنی برای مقایسه موقعیت‌های زیر و بیرون تاج گونه گازرخ در بشاگرد

Table 1. Nonparametric Man_Whitney U Test for comparing positions under and outside the canopy of *M. peregrin*a in Bashagerd

معنی‌داری Sig	تعداد کل Total N	مقدار یو Man_Whitney U	متغیر Parameter
0.69 ns	10	14.5	رس Clay
0.841 ns	10	14	سیلت Silt
0.310 ns	10	7	شن Sand
0.008 **	10	0	کربن آلی Organic carbon
0.008 **	10	0	نیتروژن کل Total nitrogen
0.151 ns	10	5	روی قابل جذب Absorbable zinc
0.222 ns	10	6.5	کربن زی‌توده میکروبی Microbial biomass carbon

** دارای رابطه معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد و ns عدم معنی‌داری

** Significant relationship at 99% confidence level and ns non-significance

با توجه به نتایج آزمون شاپیرو-ویلک برای متغیرهایی که نرمال نبودند، از آزمون ناپارامتری من-ویتنی‌یو Man_Whitney U Test برای مقایسهٔ موقعیت‌های زیر و بیرون تاج چوج استفاده شد (جدول ۲). همان‌طورکه در جدول هم مشخص است فقط متغیر پتاسیم قابل جذب برای چوج معنی‌دار شد.

جدول ۲- آزمون ناپارامتریک من- ویتنی برای مقایسهٔ موقعیت‌های زیر و بیرون تاج گونهٔ چوج در بندرعباس

Table 2. Nonparametric Man_Whitney U Test for comparing positions under and outside the canopy of *S. persica* in Bandar Abbas

معنی‌داری Sig	تعداد کل Total N	مقدار یو Man_Whitney U	متغیر Parameter
1 ns	10	12	سیلت Silt
0.151 ns	10	5	هدایت الکتریکی Electrical conductivity
0.008 **	10	0.5	پتاسیم قابل جذب Absorbable potassium
0.095 ns	10	4	منیزیم قابل جذب Absorbable magnesium
0.222 ns	10	6	سدیم قابل جذب Absorbable sodium
0.222 ns	10	6	آهن قابل جذب Absorbable iron

** دارای رابطه معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد و ns عدم معنی‌داری

** Significant relationship at 99% confidence level and ns non-significance

از آزمون تی مستقل Indipendent Sample T-Test برای مقایسه موقعیت‌های زیر و بیرون تاج داده‌های نرمال گونهٔ گازرخ استفاده شد (جدول ۳). همان‌طورکه در جدول هم مشخص است جز رطوبت اشباع، سدیم و آهن قابل جذب برای متغیرهای دیگر اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد به‌دست آمد.

جدول ۳- آزمون تی مستقل برای برخی متغیرهای خاک با داده‌های نرمال گونهٔ گازرخ در بشاگرد

Table 3. Independent Sample T-Test for some soil variables with normal data of *M. peregrina* in Bashagerd

معنی‌داری Sig	درجه آزادی Df	مقدار تی t	متغیر Parameter
0.202 ns	8	1.391	رطوبت اشباع Saturation moisture
0.032 *	8	-2.58	اسیدیته pH
0.013 *	4.21	4.099	هدایت الکتریکی Electrical conductivity
0.049 *	4.17	2.743	فسفر قابل جذب Absorbable phosphorus
0.002 **	8	4.491	پتاسیم قابل جذب Absorbable potassium

**و * به‌ترتیب دارای رابطه معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ و ۹۵ درصد و ns عدم معنی‌داری

** and * have a significant relationship at the 99 and 95 percent confidence level, respectively, and ns is non-significant

ادامهٔ جدول ۳.

Continued Table 3.

معنی‌داری Sig	درجه آزادی Df	مقدار تی t	متغیر Parameter
0.014 *	4.14	4.11	کلسیم قابل جذب Absorbable calcium
0.04 *	8	2.449	منیزیم قابل‌جذب Absorbable magnesium
0.000 **	8	5.749	منگنز قابل جذب Absorbable manganese
0.167 ns	8	1.521	سدیم قابل جذب Absorbable sodium
0.347 ns	8	0.999	آهن قابل جذب Absorbable iron
0.000 **	8	6.997	تنفس پایه میکروبی Basal microbial respiration
0.000 **	8	9.632	تنفس برانگیخته میکروبی Substrate-induced respiration
0.000 **	8	9.632	پتانسیل نیتریفیکاسیون Nitrification potential

** و * به‌ترتیب دارای رابطه معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ و ۹۵ درصد و ns عدم معنی‌داری

** and * have a significant relationship at the 99 and 95 percent confidence level, respectively, and ns is non-significant

از آزمون تی مستقل Indipendent Sample T-Test برای مقایسهٔ موقعیت‌های زیر و بیرون تاج داده‌های نرمال گونه چوج استفاده شد (جدول ٤). همانطورکه در جدول هم مشخص است فقط برای متغیرهای منگنز قابل جذب، تنفس پایه و برانگیخته و پتانسیل نیتریفیکاسیون اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد به‌دست آمد.

با توجه با نتایج جدول‌های ۱ و ۳، نتایج گروه‌بندی تیمارهای زیر و بیرون تاج گونه گازرخ فقط برای متغیرهایی که معنی‌دار بودند، در جدول ۵ آورده شد. همانطورکه در جدول هم مشخص است جز مقدار اسیدیته که در بیرون تاج گازرخ بیشتر از زیر تاج و معنی‌دار است، دیگر متغیرها در زیر تاج گازرخ بیشتر از بیرون تاج و معنی‌دار هستند.

جدول ٤- آزمون تی مستقل برای برخی متغیرهای خاک با داده‌های نرمال گونه چوج در بندرعباس

Table 4. Independent Sample T-Test for some soil variables with normal data of *S. persica* in Bandar Abbas

معنی‌داری Sig	درجه آزادی df	مقدار تی t	متغیر Parameter
0.524 ns	8	-0.667	رس Clay
0.957 ns	8	-0.055	شن Sand
0.277 ns	8	1.166	رطوبت اشباع Saturation moisture
0.346 ns	8	-1.002	اسیدیته pH
0.056 ns	8	2.229	کربن آلی Organic carbon
0.056 ns	8	2.229	نیتروژن کل Total nitrogen
0.064 ns	8	2.148	فسفر قابل جذب Absorbable phosphorus
0.01 *	8	3.360	پتاسیم قابل جذب Absorbable potassium
0.247 ns	8	1.428	کلسیم قابل جذب Absorbable calcium
0.018 *	8	2.982	منگنز قابل جذب Absorbable manganese
0.98 ns	8	0.026	روی قابل جذب Absorbable zinc
0.029 *	8	2.666	تنفس پایه میکروبی Basal microbial respiration
0.000 **	8	-10.401	تنفس برانگیخته میکروبی Substrate-induced respiration
0.343 ns	8	-1.007	کربن زی‌توده میکروبی Microbial biomass carbon
0.144 ns	8	-1.620	پتانسیل نیتریفیکاسیون Nitrification potential

**و *به‌ترتیب دارای رابطه معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ و ۹۵ درصد و ns عدم معنی‌داری

** and * have a significant relationship at the 99 and 95 percent confidence level, respectively, and ns is non-significant

جدول ۵- مقایسهٔ میانگین (± اشتباه معیار) در متغیرهای معنی‌دار ویژگی‌های مختلف خاک در گونهٔ گازرخ در بشاگرد

Table 5. Comparison of the mean (± standard error) in significant variables of different soil characteristics in *M. peregrina* in Bashagerd

بیرون تاج (شاهد) Outside the canopy (Control)	زیر تاج Under the canopy	متغیر Parameter
7.92 ± 0.04^{a}	7.71 ± 0.06^{b}	اسیدیته pH
0.65 ± 0.05^{b}	2.11 ± 0.35^{a}	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) Electrical conductivity (dS/m)
0.36 ± 0.02^{b}	0.89 ± 0.18^{a}	کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)
0.036 ± 0.002^{b}	0.089 ± 0.018^{a}	نیتروژن کل (درصد) Total nitrogen (%)
4.89 ± 0.43^{b}	12.94 ± 2.9^{a}	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم) Absorbable phosphorus (mg/kg)
260.93 ± 11.97^{b}	843.09 ± 129.07^{a}	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم) Absorbable potassium (mg/kg)
87.17 ± 8.4^{b}	347.89 ± 62.63^{a}	کلسیم قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم) Absorbable calcium (mg/kg)
9.72 ± 1.53^{b}	33.04 ± 9.39^{a}	منیزیم قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم) Absorbable magnesium (mg/kg)
2.51 ± 0.11^{b}	5.7 ± 0.54^{a}	منگنز قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم) Absorbable manganese (mg/kg)
0.51 ± 0.11^{b}	1.73 ± 0.13^{a}	تنفس پایه (میلی‌گرم دی‌اکسید کربن در هر گرم خاک خشک در ۲٤ ساعت) Basal microbial respiration (mg $CO_2.g^{-1}$ dm.24 h^{-1})
4.31 ± 0.39^{b}	11.44 ± 0.62^{a}	تنفس برانگیخته (میلی‌گرم دی‌اکسید کربن در صد گرم خاک خشک در ساعت) Substrate-induced respiration (mg CO_2.100 g^{-1} dm.h^{-1})
56.31 ± 8.86^{b}	97.07 ± 11.27^{a}	پتانسیل نیتریفیکاسیون (میکروگرم نیتروژن نیتریتی آزاد شده در هر گرم خاک خشک در پنج ساعت) Nitrification potential (µg $N.g^{-1}$dm.$5h^{-1}$)

در هر ردیف حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها است

Different letters in each row indicate significant differences between means

با توجه با نتایج جدول‌های ۲ و ٤، نتایج گروه-بندی تیمارهای زیر و بیرون تاج گونهٔ چوج فقط برای متغیرهایی که معنی‌دار بودند، در جدول ٦ آورده شد. همان‌طورکه در جدول هم مشخص است مقادیر پتاسیم و منگنز قابل جذب و تنفس پایه و برانگیخته در زیر تاج چوج بیشتر از بیرون تاج و معنی‌دار است.

جدول ٦- مقایسهٔ میانگین (± اشتباه معیار) در متغیرهای معنی‌دار ویژگی‌های مختلف خاک در گونهٔ چوج در بندرعباس

Table 6. Comparison of the mean (± standard error) in significant variables of different soil characteristics in *S. persica* in Bandar Abbas

بیرون تاج (شاهد) Outside the canopy (Control)	زیر تاج Under the canopy	متغیر Parameter
139.18 ± 24.55^{b}	289.64 ± 37.45^{a}	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم) Absorbable potassium (mg/kg)
2.45 ± 0.38^{b}	4.06 ± 0.37^{a}	منگنز قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم) Absorbable manganese (mg/kg)
0.51 ± 0.07^{b}	0.74 ± 0.03^{a}	تنفس پایه (میلی‌گرم دی‌اکسید کربن در هر گرم خاک خشک در ٢٤ ساعت) Basal microbial respiration (mg $CO_2.g^{-1}$ dm.24 h^{-1})
6.62 ± 0.44^{a}	1.73 ± 0.13^{b}	تنفس برانگیخته (میلی‌گرم دی‌اکسید کربن در صد گرم خاک خشک در ساعت) Substrate-induced respiration (mg CO_2.100 g^{-1} dm.h^{-1})

نتایج شاخص کیفیت خاک در دو گونه گازرخ و چوج

پس از انجام آزمون شاپیرو-ویلک (نرمال بودن و نبودن) مشخص شد داده‌های هر دو گونه نرمال بودند (جدول ۷). بنابراین از آزمون تی مستقل Indipendent Sample T-Test برای مقایسهٔ میانگین داده‌های نرمال شاخص کیفیت خاک برای هر دو گونه استفاده شد (جدول ۸).

جدول ۷- آزمون شاپیرو-ویلک برای شاخص کیفیت خاک گونه‌های گازرخ و چوج

Table 7. Shapiro-Wilk Test for soil quality index of *M. peregrina* and *S. persica*

معنی‌داری Sig	درجه آزادی df	موقعیت تاج Canopy location	گونه Species	متغیر Parameter
0.245*	5	زیر تاج Under the canopy	گازرخ M. peregrina	شاخص کیفیت خاک Soil quality index
0.111*	5	بیرون تاج Outside the canopy		
0.392*	5	زیر تاج Under the canopy	چوج S. persica	
0.236*	5	بیرون تاج Outside the canopy		

* نرمال بودن متغیر

*Normality of the variable

جدول ۸- آزمون تی مستقل برای شاخص کیفیت خاک گونه‌های گازرخ و چوج

Table 8- Independent Sample T-Test for soil quality index *M. peregrina* and *S. persica*

معنی‌داری Sig	درجه آزادی df	مقدار تی t	گونه Species	متغیر Parameter
0.000 **	8	5.752	گازرخ *M. peregrina*	شاخص کیفیت خاک Soil quality index
0.748 ns	8	-0.333	چوج *S. persica*	

** دارای رابطه معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد و ns عدم معنی‌داری

** Significant relationship at 99% confidence level and ns non-significance

با توجه به نتایج جدول ۸، نتایج گروه‌بندی تیمارهای زیر و بیرون تاج مقدار شاخص کیفیت خاک برای گونهٔ گازرخ آورده شد (جدول ۹). همان‌طور که در جدول هم مشخص است مقدار شاخص کیفیت خاک در زیر تاج گازرخ بیشتر از بیرون تاج و معنی‌دار است.

جدول ۹- مقایسهٔ میانگین (± اشتباه معیار) در مقدار شاخص کیفیت خاک در گونهٔ گازرخ

Table 9- Comparison of the mean (± standard error) in the value of the soil quality index in the species of *M. peregrina*

متغیر Parameter	زیر تاج Under the canopy	بیرون تاج (شاهد) Outside the canopy (Control)
شاخص کیفیت خاک Soil quality index	7 ± 0.24^{a}	5.5 ± 0.08^{b}

حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها است

Different letters indicate significant differences between means

بحث

پایداری بوم‌سازگان جنگلی بستگی به ویژگی‌های خاک و سلامت و کیفیت آن دارد. به همین دلیل پایش ویژگی‌های خاک و عوامل مؤثر بر آن اهمیت ویژه‌ای دارد. در این پژوهش تأثیر تاج‌پوشش دو گونهٔ گازرخ و چوج بر برخی از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک بررسی شد. کاهش اسیدیتهٔ خاک در زیر تاج گازرخ نسبت به بیرون تاج را می‌توان به ترکیبات مترشحه از برگ و ریشهٔ آن نسبت داد که از طریق لاشبرگ و تجزیه وارد خاک شده و منجر به کاهش جزئی اسیدیته در زیر تاج می‌شوند. یافته‌های ما با El-Keblawy and Abdelfatah, (2014) مطابقت دارد. گونه‌های درختی از طریق ویژگی‌های متفاوتشان در رهاسازی و غلظت عناصر غذایی و ترکیبات شیمیایی موجود در لاشبرگ اثرهای متفاوتی بر خاک دارند (Karami Kordalivand et al., 2015). همچنین Augusto et al. (2002) بیان کردند که گونه‌های مختلف درختی در تیپ‌های جنگلی در بخش سطحی خاک تأثیر بسیار زیادی بر اسیدیتهٔ خاک می‌گذارند و احتمالاً گازرخ از گونه‌هایی است که با ترکیباتی که در شاخ و برگ خود دارد، طی فرآیند آبشویی و تجزیهٔ لاشبرگ منجر به کاهش اسیدیته در زیر تاج خود می‌شود. هدایت الکتریکی در زیر تاج گازرخ بیشتر از بیرون تاج و اختلاف معنی‌دار داشت. هدایت الکتریکی متأثر از نوع گونهٔ درختی است و در خاک‌هایی با مقدار مواد آلی بیشتر مقدار آن بیشتر است که در این پژوهش مقدار کربن آلی به‌طور معنی‌داری و همچنین وجود رطوبت بیشتر و تجمع لاشبرگ در زیر تاج گازرخ سبب تسریع در تجزیه لاشبرگ و آزاد شدن یون‌های مثبت و در نتیجه افزایش هدایت الکتریکی خاک می‌شود که نتایج ما با یافته‌های Tarighat and Kooch (2018); Stefanowicz et al. (2021) مطابقت دارد. در همین راستا Keneshloo (2016) مقدار هدایت الکتریکی گازرخ در ارتفاعات و تپه‌ماهورهای منطقه بشاگرد و بلوچستان جنوبی در ناحیه مکران را بین ۰/۴۳ تا ۲/۸ دسی‌زیمنس بر متر گزارش کردند که تقریباً مشابه نتایج به‌دست آمده در این پژوهش است. کربن آلی در زیر تاج گازرخ به‌طور معنی‌دار بیشتر از بیرون تاج بود. وجود لاشبرگ فراوان در زیر تاج و نیز شرایط مناسب از نظر رطوبت و حرارت، منجر به افزایش فعالیت‌های زیستی در آن

محدوده می‌شود و منجر به افزایش مقدار کربن آلی در زیر تاج نسبت به بیرون تاج می‌شود. تأثیر تاج‌پوشش بر مقدار کربن آلی در پژوهش‌های زیادی بررسی و ثابت شده است و یافته‌های ما با آنها مطابقت دارد (Tiruneh Asaye, 2017; Zarafshar et al., 2023). در زیر تاج گازرخ نسبت به خارج تاج مقادیر نیتروژن کل، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و منگنز قابل جذب و در زیر تاج چوج مقادیر پتاسیم و منگنز قابل جذب بیشتر و اختلاف معنی‌دار داشتند. در زیر تاج با وجود لاشبرگ و لاشریزه و بقایای گیاهان و همچنین ایجاد شرایط بهتر برای فعالیت ریزنده‌های خاک مقدار عناصر غذایی افزایش می‌یابد.(2008) Jafari et al. بیان کردند که ریزش بخش‌های مختلف گیاهان در زیر تاج درختان به‌خصوص در بوم‌سازگان‌های خشک و نیمه‌خشک توانایی به‌وجود آوردن اختلاف معنی‌دار در ویژگی‌های شیمیایی خاک نسبت به بیرون تاج را دارند که با یافته‌های این پژوهش مطابقت دارد. منبع تأمین‌کننده نیتروژن خاک بخشی از مولکول‌های ماده آلی خاک است، به‌طوری‌که توزیع نیتروژن در خاک ارتباط نزدیکی با ماده آلی خاک دارد (Tarrega et al., 2007). همچنین افزایش فسفر قابل جذب در زیر تاج می‌تواند نشان‌دهنده وابستگی فسفر به تراکم و توزیع ریشه‌ها در اطراف درخت باشد (Gallardo, 2003). از آنجایی‌که حجم ریشه در زیر تاج بیشتر از بیرون تاج است این نتیجه به‌دست آمد. همچنین با افزایش فعالیت ریزنده‌ها در زیر تاج از طریق حل‌کردن، معدنی‌شدن و جذب، به‌طور قابل توجهی بر قابلیت دسترسی به فسفر تأثیر می‌گذارند (Dai et al., 2020). در همین رابطه Prescott (2002) بیان کرد در خاک زیر تاج درختان افزایش مواد غذایی نشان‌دهندهٔ ورود این مواد به خاک از طریق ریزش شاخ و برگ درختان است. Keneshloo (2016) مقدار نیتروژن را بین ۰/۰۱ تا ۰/۱۲ درصد و مقدار فسفر قابل جذب را بین ۲/۸ تا ۴۲ میلی‌گرم در کیلوگرم و پتاسیم قابل جذب را بین ۲۹۸ تا ۳۸۳ میلی‌گرم در کیلوگرم برای گازرخ در ارتفاعات و تپه‌ماهورهای منطقهٔ بشاگرد و بلوچستان جنوبی در ناحیهٔ مکران گزارش کردند که در مقایسه با نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش مقدار نیتروژن و پتاسیم کمتر و مقدار فسفر بیشتر به‌دست آمده است. مقدار تنفس خاک به‌طور قابل توجهی در میان بیوم‌های مختلف متفاوت است که این موضوع نشان دهندهٔ تأثیر نوع پوشش گیاهی بر مقدار تنفس خاک است (Schedlbauer and Miller, 2022; Maleki et al., 2023). علت افزایش مقدار تنفس پایه میکروبی در زیر تاج گازرخ و چوج را می‌توان این‌طور بیان کرد که در زیر تاج درختان همان‌طور که قبلاً هم به آن اشاره شده است شرایط بهتری برای فعالیت میکروبی خاک و در نتیجه تنفس میکروبی وجود دارد. هر دو گونه در زیر تاج خود مقدار رطوبت و کربن آلی بیشتری داشتند که همین عوامل می‌توانند منجر به افزایش تنفس میکروبی خاک شود. تنفس میکروبی بیشتر معرف خاک با کیفیت بالاتر است و هرچه تنفس میکروبی بیشتر باشد فعالیت بالقوه میکروبی بیشتر خواهد بود (Habashi, 2015). Kimmins (2004) نیز بیان کرد درختان می‌توانند در بوم‌سازگان‌های جنگلی به‌طور پیوسته برگشت بقایای گیاهی را به خاک افزایش دهند و سبب حفظ و افزایش مواد آلی خاک شوند و مسلماً در زیر تاج شرایط بهتری برای تنفس میکروبی وجود دارد. تنفس برانگیختهٔ میکروبی در زیر تاج گازرخ بیشتر از بیرون تاج و در رابطه با درختان چوج در بیرون تاج به‌طور معنی‌دار بیشتر از زیر تاج بود. انتظار می‌رفت که مقدار آن مانند تنفس پایه در زیر تاج بیشتر باشد اما بوم‌سازگان خاک شبکه پیچیده‌ای است که از واکنش متقابل هزاران موجود که

در بین آنها، جمعیت‌های میکروبی خاک اهمیت ویژه‌ای دارد، تشکیل شده‌است. تقریباً هر واکنش شیمیایی که در خاک رخ می‌دهد توسط ریززنده‌های خاک انجام می‌شود. گردش مواد غذایی، تجزیه مواد آلی، مواد دفعی و سمیت‌زدایی، حفظ ساختار خاک مانند عملکردهای مفید جوامع میکروبی خاک هستند (Aislabie and Deslippe, 2013). افزایش پتانسیل نیتریفیکاسیون در زیر تاج گازرخ را می‌توان به دلیل بیشتر بودن محتوای نیتروژن در خاک این گونه جنگلی دانست. در زیر تاج به‌دلیل ریزش لاشبرگ و فراهم آمدن بستر مناسب (بهتر بودن شرایط محیطی مانند دما، رطوبت و سوبستراهای مناسب برای رشد و فعالیت جوامع میکروبی) شرایط مطلوب برای میکروب‌های خاک که از عوامل مؤثر در غنی‌سازی مواد غذایی در خاک هستند، مهیا می‌شود (Mohanraj et al., 2022). شاخص کیفیت خاک در رویشگاه بشاگرد و در زیر تاج گازرخ به‌طور معنی‌داری بیشتر از بیرون تاج به‌دست آمد و به‌عنوان اولین زنجیرهٔ غذایی در رویشگاه خود، با افزایش عناصر غذایی و تسریع چرخهٔ آن، محیطی غنی برای بقای موجودات ساکن در آنجا را فراهم می‌کند. این یافته‌ها تأکید می‌کنند که گونه‌های غالب هر رویشگاه بازتابی از برهم‌کنش پیچیده عوامل زیستی و غیرزیستی هستند و خاک به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی نقش کلیدی در توسعه و پایداری پوشش گیاهی ایفا می‌کند. بنابراین با توجه به اهمیت پایش مداوم خاک، رصد تغییرات ویژگی‌های خاک در بازه‌های زمانی مختلف و انجام بررسی‌های دوره‌ای می‌تواند امکان ارزیابی دقیق‌تر روند تغییرات و ارائه اطلاعات قابل اتکا برای مدیریت و حفاظت علمی جنگل‌های صحارا- سندی را فراهم کند. این اطلاعات می‌توانند به تصمیم‌گیری‌های مدیریتی بهتر و تدوین برنامه‌های حفاظتی مؤثر کمک کرده و زمینه‌ای برای حفاظت پایدار از منابع طبیعی ارزشمند جنگل‌های جنوب ایران فراهم سازند.

References

Aislabie, J.; Deslippe, J. R. Soil microbes and their contribution to soil services. In *Ecosystem Services in New Zealand: Conditions and Trends*; Dymond, J. R., Ed.; Manaaki Whenua Press: Lincoln, New Zealand, 2013; pp 112–161.

Amacher, M. C.; O'Neill, K. P.; Perry, C. H. *Soil Vital Signs: A New Soil Quality Index (SQI) for Assessing Forest Soil Health*; Res. Pap. RMRS-RP-65WWW; United States Department of Agriculture Forest Service, Rocky Mountain Research Station: Fort Collins, CO, 2007; p 12.

Aponte, C.; Matias, L.; Gonzales-Rodrigues, V.; Castro, J.; Gracia, L. V.; Villar, R.; Marañón, T. Soil nutrients and microbial biomass in three contrasting Mediterranean forests. *Plant and Soil* **2014**, *380* (1), 57–72.

Army Geographical Organization. *1:250000 Maps*; Army Geographical Organization: Tehran, Iran, 2004.

Asadian, M.; Hojjati, S. M.; Mohammadzadeh, M.; Nadi, M. Evaluating the response of ecosystems to land-use change using soil quality index: Alandan Forest, Sari. *Iranian Journal of Forest* **2023**, *15* (1), 17–34. (In Persian)

Augusto, L.; Ranger, J.; Binkley, D.; Rothe, A. Impact of several common tree species of European temperate forests on soil fertility. *Annals of Forest Science* **2002**, *59* (3), 233–253.

Bayranvand, M.; Matinizadeh, M.; Sadeghi, S. M.; Alizadeh, T.; Nouri, E.; Darroudi, H. Effect of two species of *Prosopis* (*P. cineraria* and *P. juliflora*) on soil quality in the Saharo-Sindian region of Iran

(Case study: Sistan and Baluchestan Province). *Journal of Forest and Wood Products* **2024**, *76* (4), 299–311. (In Persian)

Chavez-Vergara, B.; Merino, A.; Vázquez-Marrufo, G.; García-Oliva, F. Organic matter dynamics and microbial activity during decomposition of forest floor under two native Neotropical oak species in a temperate deciduous forest in Mexico. *Geoderma* **2014**, *235–236*, 133–145.

Cherubin, M. R.; Karlen, D. L.; Franco, A. L. C.; Tormena, C. A.; Cerri, C. E. P.; Davies, C. A.; Cerri, C. C. Soil physical quality response to sugarcane expansion in Brazil. *Geoderma* **2016**, *267*, 156–168.

Dai, Z.; Liu, G.; Chen, H.; Chen, C.; Wang, J.; Ai, S.; Xu, J. Long-term nutrient inputs shift soil microbial functional profiles of phosphorus cycling in diverse agroecosystems. *The ISME Journal* **2020**, *14* (3), 757–770.

El-Keblawy, A.; Abdelfatah, M. Impact of native and invasive exotic *Prosopis* congeners on soil properties and associated flora in the arid United Arab Emirates. *Journal of Arid Environments* **2014**, *100*, 1–8.

Gallardo, A. Effect of tree canopy on spatial distribution of soil nutrients in a Mediterranean dehesa. *Pedobiologia* **2003**, *47*, 117–125.

Ghazan Shahi, J. *Soil and Plant Analysis*; Ghazan Shahi, J., Transl.; Aizh Publications: Tehran, Iran, 1997; p 272. (In Persian)

Gorgij, R. A.; Tarmian, A.; Nasiriani, S.; Oladi, R. Investigation of some chemical and physical anatomical characteristics of Miswak tree wood (*Salvadora persica* L.) in Zabol region. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research* **2014**, *29* (1), 132–141. (In Persian)

Habashi, H. The relationship between microbial respiration and microbial biomass carbon with soil organic matter in different types of mixed beech forests. *Forest Research and Development* **2015**, *1* (2), 135–144.

Hashemi, S. A. S.; Hojati, M.; Hoseiny Nasr, S. M.; Asadyan, M.; Tafazoli, M. Studying soil physical properties and net nitrogen mineralization in plantation and natural stands in Darabkola Forest (Sari). *Forest Research and Development* **2017**, *3* (2), 119–132. (In Persian)

Heydari, M.; Eslaminejad, P.; Valizadeh Kakhki, F.; Mirab-balou, M.; Omidipour, R.; Prévosto, B.; Kooch, Y.; Lucas-Borja, M. B. Soil quality and mesofauna diversity relationship are modulated by woody species and seasonality in semiarid oak forest. *Forest Ecology and Management* **2020**, *473*, 118332.

Houba, V. J. G.; Van Der Lee, J. J.; Novozamsky, I. *Soil and Plant Analysis—A Series of Syllabi. Part 5b: Soil Analysis Procedures, Other Procedures*; Wageningen Agricultural University: Wageningen, The Netherlands, 1995; p 262.

Jafari Haghighi, M. *Methods of Soil Analysis: Sampling and Important Physical and Chemical Analyses with Emphasis on Theoretical and Practical Principles*; Nedaye Zoha Publications: Tehran, Iran, 2003; p 236. (In Persian)

Jafari, M.; Niknahad, J.; Erfanzadeh, R. Investigating the effects of sorghum cultivation on some soil and vegetation characteristics (Case study: Hossein-Abad region of Qom Province). *Desert* **2008**, *13* (1), 1–12. (In Persian)

Javan, N.; Azreh, K.; Dehghan, Z.; Biglari, H. Oral and dental health from Islamic teachings to large pharmaceutical industries (Case study of *Salvadora persica*). *Islam and Health Journal* **2014**, *1* (3), 23–34. (In Persian)

Javanshir, K. New species and family for the flora of Iran: *Moringa cf. peregrina* (Forssk.) Fiori. *Journal of Natural Resources of Iran* **1993**, *46*, 31. (In Persian)

Karami Kordalivand, P.; Hosseini, S. M.; Rahmani, A.; Mokhtari, J. Effects of

pure and mixed Caucasian alder (*Alnus subcordata* C. A. Mey.) and eastern cottonwood (*Populus deltoides* Marsh.) plantations on carbon sequestration and some physical and chemical soil properties. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2015**, *23* (3), 402–412. (In Persian)

Keneshloo, H. *Moringa peregrina*: Hidden treasure in the heart of nature. *Iranian Journal of Nature* **2016**, *1* (1), 48–53. (In Persian)

Kiani, B.; Rahiminia, Q.; Zahedi, M. H. Study of the structure, distribution pattern and regeneration in desert forests of Taradeh region, Kerman. *Journal of Desert Management* **2010**, *15*, 85–100. (In Persian)

Kianmehr, A.; Hojjati, S. M.; Kooch, Y.; Ghasemi Aghbash, F. Effect of canopy composition on litterfall rate, respiration and some soil properties in pure and mixed stands of beech and hornbeam. *Forest Research and Development* **2019**, *5* (2), 477–492. (In Persian)

Kimmins, J. P. *Forest Ecology: A Foundation for Sustainable Forest Management and Environmental Ethics in Forestry*, 3rd ed.; Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ, 2004; p 611.

Lovett, G. M.; Weathers, K. C.; Arthur, M. A. Control of nitrogen loss from forested watersheds by soil carbon:nitrogen ratio and tree species composition. *Ecosystems* **2002**, *5* (7), 712–718.

Maleki, S.; Pilehvar, B.; Mahmoodi, M. Response of soil microbial respiration to environmental factors of temperature and moisture in five forest types of Zagros (Case study: Armardeh Baneh forests). *Forest Research and Development* **2023**, *9* (2), 275–289. (In Persian)

Matinkia, M.; Pilehvar, B.; Matinfar, H. The effect of afforestation with coniferous and broadleaf species on some chemical and physical properties of soil (Case study: Dorood County Forest Park). *Scientific Journal of Natural Ecosystems Research of Iran* **2011**, *2* (2), 89–97. (In Persian)

McLean, E. O. Soil pH and lime requirement. In *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*; Page, A. L.; Miller, R. H.; Keeney, D. R., Eds.; American Society of Agronomy/SSSA: Madison, WI, 1982; pp 199–224.

Mohanraj, R.; Akil Prasatha, R. V.; Rajasekaran, A. Assessment of vegetation, soil nutrient dynamics and heavy metals in the *Prosopis juliflora*-invaded lands at semi-arid regions of southern India. *Catena* **2022**, *216*, 106374.

Moradinejad, A.; Matinizadeh, M.; Alizadeh, T. Effects of *Pistacia atlantica* Desf. on some soil properties (Case study: Farak, Tafresh region). *Soil Biology Journal* **2024**, *12* (1), 140–154. (In Persian)

Mozaffarian, V. A. *Dictionary of Iranian Plant Names*; Farhang-e Moaser Publications: Tehran, Iran, 1997; p 596. (In Persian)

Mukhopadhyay, S. S. Nanotechnology in agriculture: Prospects and constraints. *Nanotechnology, Science and Applications* **2014**, *7*, 63–71.

Onyekwelu, J. C.; Mosandl, R.; Stimm, B. Evaluation and state of nutrition of *Gmelina arborea* plantations in Oluwa and Omo forest reserves, Nigeria. *Forest Ecology and Management* **2006**, *229*, 214–227.

Prescott, C. E. The influence of the forest canopy on nutrient cycling. *Tree Physiology* **2002**, *22*, 1193–1200.

Reddy, M. P.; Shah, M. T.; Patolia, J. S. *Salvadora persica*, a potential species for industrial oil production in semiarid saline and alkali soils. *Industrial Crops and Products* **2008**, *28*, 273–278.

Sadeghi, S. M.; Keneshloo, H.; Kazeruni, H.; Sadeghi, H. Effects of rainfall storage methods and irrigation interval on survival of *Ziziphus spina-christi* (L.) Desf., *Prosopis cineraria* (L.) Druce and *Acacia nilotica* (L.) Delile in Bushehr

Province. *Forest Research and Development* **2025**, *11* (1), 133–148. (In Persian)

Salomon, A. K.; Jørgensen, S. E.; Fath, B. D. What is an ecosystem? In *Encyclopedia of Ecology*; Elsevier: Oxford, UK, 2008; Vol. 2, pp 1155–1165.

Schedlbauer, J. L.; Miller, J. Edge effects increase soil respiration without altering soil carbon stocks in temperate broadleaf forests. *Ecosphere* **2022**, *13* (6), e4092.

Schinner, F.; Öhlinger, R.; Kandeler, E.; Margasin, R. *Methods in Soil Biology*; Springer: Berlin, Germany, 1996; p 426.

Shen, Y.; Li, J.; Chen, F.; Cheng, R.; Xiao, W.; Wu, L.; Zeng, L. Correlations between forest soil quality and aboveground vegetation characteristics in Hunan Province, China. *Frontiers in Plant Science* **2022**, *13*, 1009109.

Stefanowicz, A. M.; Rożek, K.; Stanek, M.; Rola, K.; Zubek, S. Moderate effects of tree species identity on soil microbial communities and soil chemical properties in a common garden experiment. *Forest Ecology and Management* **2021**, *482*, 118902.

Steinitz, B.; Tabib, Y.; Gaba, V.; Gefen, T.; Vaknin, Y. Vegetative micro-cloning to sustain biodiversity of threatened *Moringa* species. *In Vitro Cellular & Developmental Biology–Plant* **2009**, *45*, 65–71.

Talebi, M.; Sagheb-Talebi, K.; Jahanbazi, H. Site demands and some quantitative and qualitative characteristics of Persian oak (*Quercus brantii* Lindl.) in Chaharmahal and Bakhtiari Province (western Iran). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2006**, *14* (1), 67–79. (In Persian)

Tarighat, F. S.; Kooch, Y. The effect of four types of broad-leaved trees on soil C and N storage and mineralization in forest areas of Noor City. *Journal of Water and Soil Science* **2018**, *22* (2), 175–188.

Tarrega, R.; Calvo, L.; Marcos, E.; Taboada, A. Comparison of understory plant community composition and soil characteristics in *Quercus pyrenaica* stands with different human uses. *Forest Ecology and Management* **2007**, *241*, 235–242.

Tiruneh Asaye, Z. Effects of scattered *Acacia tortilis* (Forssk.) Hayne on soil properties in different land uses in the Central Rift Valley of Ethiopia. *Journal of Sustainable Forestry* **2017**, *36*, 164–176.

Walkley, A.; Black, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* **1934**, *37* (1), 29–38.

Zarafshar, M.; Rousta, M. J.; Matinizadeh, M.; Sagheb-Talebi, K.; Alizadeh, T.; Nouri, E.; Bader, M. K.-F. Scattered wild pistachio trees profoundly modify soil quality in semi-arid woodlands. *Catena* **2023**, *224*, 106890.