Research Article

Iranian Journal of Range and Desert Research
Vol. 33, No. 1, Page 67- 84 (2026)

DOI: 10.22092/ijrdr.2026.135495

Investigating the effect of planting with different plant species on some soil characteristics

Maryam Salehi Lande[1], Maasoumeh Movaghari[2*], Nafiseh Rang Zan[3] and Leila Khalasi Ahvazi[4]

1-Master's degree graduate in Ecohydrology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.
2*- Corresponding author,Asisstant Professor, Department of Nature Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran. Email: movaghari@asnrukh.ac.ir
3-Associate Professor, Department of Soil Science, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.
4-Department of Natural Resources and Watershed Management of Khuzestan Province, Ahvaz, Iran.

Received:03/12/2025 Revised: 10/28/2025 Accepted: 01/25/2026 Published:02/26/2026

Abstract

Background and objectives

Monitoring and evaluating the effectiveness of any project, including land reclamation projects, helps managers make better decisions for future projects. This research investigates the chemical, physical, and hydrological characteristics of planting with Seidlitzia rosmarinus Boiss ex B., Tamarix passerinoides Delile ex Desv., and Prosopis juliflora SW. DC. in the south and southeast of Ahvaz.

Methodology

We collected soil samples from four areas (control with no planting, S. rosmarinus, T. passerinoides, and P. juliflora), at two distances (under the crown and outside the crown), and at two depths (0–30 and 30–60 cm). We transferred the collected soil samples to the laboratory and, after preparing a composite soil sample, measured their properties in three replicates. We measured physical properties (bulk density using the clod method, soil aggregate stability using the sieve method, and penetration resistance using a penetrometer), chemical properties (soil pH using the saturated extract method and a pH meter, electrical conductivity using the saturated extract method and an EC meter, total soil nitrogen using the Kjeldahl method, available phosphorus using the Olsen method with a spectrophotometer, soluble potassium in soil saturation extract using a flame photometer, and organic matter using the ignition method), and hydrological properties (soil moisture by weight percentage). Additionally, we compared the soil infiltration rate by installing two double cylinders in the control area and the planted area with one replication.

Results

The results showed that nitrogen percentage and penetration resistance differed significantly between the control area and planting areas. Planting with each species reduced soil penetration resistance; the highest penetration resistance occurred in the control area, and the lowest occurred under T. passerinoides, followed by P. juliflora. Additionally, T. passerinoides and P. juliflora increased soil nitrogen content and reduced soil pH compared to the control area. Comparing average soil properties under versus outside the canopy and at two depths showed that under the T. passerinoides canopy, electrical conductivity decreased and organic carbon increased at the

Copyright: © 2024 by the authors. This is an open access, peer-reviewed article published by Research Institute of Forests and Rangelands (http://ijrdr.areeo.ac.ir/) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License(http://creativecommons.org/licenses/by/4.0)a, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

first depth. *S. rosmarinus* also decreased soil electrical conductivity and increased organic carbon under the canopy, with the difference that organic carbon increased outside the canopy as well. In contrast, *P. juliflora* increased electrical conductivity and pH under the crown compared to outside the crown. The Kostiakov infiltration equation comparing infiltration rates between the control and planted areas showed that planting increased the infiltration rate by 124% compared to the control area.

Conclusion

In general, despite the non-native species *P. juliflora* reducing soil penetration resistance and increasing soil nitrogen content compared to the control area, it also increased electrical conductivity and pH under the plant crown. In contrast, the two native species, *T. passerinoides* and S. rosmarinus, decreased electrical conductivity and increased soil organic carbon under the plant crown and even outside the plant crown (in the case of S. rosmarinus). Therefore, despite the positive effects of native species on soil properties in this study, planting native species takes priority over planting the non-native species *P. juliflora*.

Keywords: environmental impacts, Khuzestan, land reclamation, P.*juliflora*., S. rosmarinus, T. *passerinoides*,

بررسی تأثیر نهال‌کاری با گونه‌های گیاهی مختلف بر برخی خصوصیات خاک

مریم صالحی‌لنده [۱]، معصومه موقری [۲*]، نفیسه رنگ‌زن [۳] و لیلا خلاصی اهوازی [۴]

۱-دانش‌آموخته کارشناسی ارشد رشته اکوهیدرولوژی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران

۲*-نویسنده مسئول، استادیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران

پست‌الکترونیک:movaghari@asnrukh.ac.ir

۳-دانشیار، گروه علوم مهندسی خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران

۴-کارشناس اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خوزستان، اهواز، ایران

تاریخ دریافت:۱۴۰۳/۱۲/۲۲ تاریخ اصلاح نهایی: ۱۴۰۴/۰۸/۰۶ تاریخ پذیرش:۱۴۰۴/۱۱/۰۵ تاریخ چاپ: ۱۴۰۴/۱۲/۰۷

چکیده

سابقه و هدف

پایش و بررسی اثربخشی اجرای هر نوع پروژه ازجمله پروژه‌های اصلاح اراضی، مدیران مربوط را در اتخاذ تصمیمات بهتر برای پروژه‌های آینده کمک می‌کند. این پژوهش با هدف بررسی اثر نهال‌کاری با گونه‌های اشنان (*Seidlitzia rosmarinus*.Boiss ex B)، شورگز (*Tamarix passerinoides* Delile ex Desv) و کهور پاکستانی (*Prosopis juliflora* .SW. DC) بر برخی خصوصیات شیمیایی، فیزیکی و هیدرولوژیکی خاک در بخشی از کانون ریزگرد شرق و جنوب‌شرق اهواز برنامه‌ریزی گردید.

مواد و روش‌ها

نمونه‌های خاک در چهار منطقه (شاهد (فاقد نهال‌کاری)، شورگزکاری، کهورکاری، اشنان‌کاری)، در دو فاصله (زیر تاج و خارج از تاج گیاه) و در دو عمق (۳۰-۰ و ۶۰- ۳۰ سانتی‌متر) جمع‌آوری گردید. نمونه‌های خاک برداشت شده به آزمایشگاه منتقل شده و پس از تهیه نمونه خاک مرکب در سه تکرار، برخی ویژگی‌های فیزیکی (جرم مخصوص ظاهری با روش کلوخه، پایداری خاک‌دانه‌ها با روش سری الک، مقاومت فروروی با دستگاه مقاومت سنج)، برخی ویژگی‌های شیمیایی (میزان pH خاک با استفاده از روش عصاره گل اشباع و با استفاده دستگاه pH متر، میزان هدایت الکتریکی با استفاده از عصاره گل اشباع و دستگاه EC متر، نیتروژن کل خاک با دستگاه کجلدال، فسفر قابل جذب با استفاده از روش اولسن با دستگاه اسپکتروفتومتر، پتاسیم محلول در عصاره اشباع خاک توسط دستگاه فیلم‌فتومتر و ماده آلی به روش احتراق) و برخی از ویژگی‌های هیدرولوژیکی (رطوبت خاک به روش درصد وزنی) مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. ضمن اینکه شدت نفوذپذیری با استفاده از استوانه‌های مضاعف در دو نقطه (منطقه شاهد و منطقه نهال‌کاری) طی یک تکرار انجام شد.

نتایج

نتایج نشان داد که درصد نیتروژن، مقاومت فروروی و رطوبت خاک دارای اختلاف معنی‌دار در بین منطقه شاهد و مناطق نهال‌کاری بودند. نهال‌کاری با هریک از گونه‌ها میزان مقاوت فروروی خاک را کاهش داد و بیشترین میزان این شاخص مربوط به منطقه شاهد و کمترین آن با اختلاف معنی‌دار مربوط به منطقه شورگزکاری و بعد کهورکاری بود. ضمن اینکه شورگزکاری و کهورکاری نسبت به منطقه شاهد میزان نیترژون خاک را افزایش و pH خاک را کاهش داده بود. همچنین نتایج مقایسه میانگین خصوصیات خاک در زیر تاج و خارج از تاج پوشش گیاه و در دو عمق مورد مطالعه نشان داد که در زیر تاج گیاه شورگز میزان هدایت الکتریکی عمق اول خاک کاهش و کربن آلی آن افزایش یافته است. اشنان‌کاری نیز همانند شورگزکاری سبب کاهش هدایت الکتریکی خاک و افزایش کربن آلی در زیر تاج گیاه شد، با این تفاوت که افزایش کربن آلی در خارج از تاج گیاه نیز اتفاق افتاد. این در حالی است که کهورکاری باعث افزایش هدایت الکتریکی و pH خاک در زیر تاج گیاه در مقایسه با خارج از تاج آن شد. همچنین نتایج به دست آمده از معادله نفوذ کوستیاکوف در مقایسه میزان نفوذپذیری بین منطقه شاهد و منطقه نهال‌کاری شده نشان داد که نهال‌کاری در این منطقه، حجم آب نفوذی

را نسبت به منطقه شاهد ۱۲۴ درصد افزایش داده است.

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی نتیجه این تحقیق در مورد گونه غیربومی کهور پاکستانی نشان داد با وجود تأثیری که این گونه در کاهش مقاومت فروروی خاک و افزایش میزان نیتروژن خاک نسبت به منطقه شاهد داشته است، از سوی دیگر موجب افزایش هدایت الکتریکی و pH در زیر تاج گیاه شده است. این در حالی است که کشت دو گونه بومی شورگز و اشنان منجر به کاهش هدایت الکتریکی و افزایش کربن آلی خاک در زیر تاج گیاه و حتی خارج از تاج گیاه (در مورد گونه اشنان) شده است. بنابراین با وجود تأثیرات مثبت گونه‌های بومی بر خصوصیات خاک در این مطالعه، کشت این گیاهان نسبت به گونه غیربومی کهور پاکستانی در اولویت قرار دارد.

واژه‌های کلیدی: اثرهای محیط‌زیستی، اشنان، احیای اراضی، خوزستان، شورگز، کهور پاکستانی.

مقدمه

ایران به عنوان کشوری در جنوب‌غرب آسیا با اقلیم خشک و نیمه‌خشک به استثنای سواحل شمالی و مناطق کوهستانی غرب، همواره با مشکلات ناشی از فرسایش بادی و هجوم ماسه‌های روان مواجه بوده است (Raziei *et al.*, 2005؛ Akbarian & Nohegar, 2014). این شرایط اقلیمی علاوه بر نقشی که در بروز فرسایش و از بین رفتن خاک داشته بر کیفیت زندگی موجودات زنده در این اکوسیستم‌ها تأثیر می‌گذارند. در چنین شرایطی، احیای پوشش گیاهی از طریق کاشت گونه‌های سازگار برای حفظ پایداری زمین و کاهش اثرهای بیابان‌زایی مورد توجه قرار گرفته است. زیرا در مطالعات متعددی به نقش پوشش گیاهی در حفاظت خاک اشاره شده است. اهمیت جنگل‌کاری در بهبود کیفیت خاک از طریق انباشت کربن آلی و مواد مغذی (Mehrnoush *et al.*, 2023) و نقش کلیدی پوشش گیاهی به‌ویژه درختان در حفظ مواد آلی، کاهش رواناب و بهبود ساختار خاک (Ilstedt *et al.*, 2007) ازجمله این موارد است. با کاشت درختان، سپرهای زنده و حفاظتی به وجود می‌آید و زمین‌ها از وزش بادهای تند و شدید و طوفان‌ها محفوظ می‌شوند، در نتیجه فرسایش و هدررفت مواد آلی کاهش پیدا می‌کند (Taghavi Parsa & Ahmadi, 2022). حضور بادشکن‌های طبیعی می‌تواند تغییرات معناداری در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک ایجاد کند و باعث افزایش برخی عناصر مغذی خاک شود (Sadatinejad *et al.*, 2012). با وجود تأثیرات مثبت گیاهان در احیای اراضی تخریب‌شده، نباید از اهمیت انتخاب نوع گونه در چنین اکوسیستم‌هایی به دلیل تأثیراتی که بر اکوسیستم و شرایط طبیعی منطقه می‌گذارند غافل شد. خاک یکی از اجزای این اکوسیستم‌هاست، همان‌طور که می‌تواند بر استقرار گیاه در یک منطقه تأثیرگذار باشد متقابلاً از گیاهان نیز تأثیر می‌پذیرد. گونه‌های گیاهی مختلف اثرهای متفاوتی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و شرایط پوشش گیاهی می‌گذارند و اثرهای آنها متفاوت و مستقل از یکدیگرند (Shabani *et al.*, 2019). درختان مختلف مانند کهور پاکستانی (*P. juliflora*) و کرت (*Acacia nilotica*) می‌توانند نیتروژن و کربن آلی خاک را افزایش داده و فرایندهای بیوشیمیایی را تحت تأثیر قرار دهند (Matinkhah *et al.*, 2015). بررسی تأثیر درختچه شورگز (*T. passerinoides*) بر خصوصیات خاک در کویر مرنجاب نشان داد که با ریزش لاشبرگ‌ها میزان کربن آلی، فسفر، ازت و پتاسیم در لایه سطحی افزایش و میزان اسیدیته کاهش یافته است Nasseri و Azizabadi Farahani (۲۰۱۷) نتایج بررسی تأثیر گونه کهور آمریکایی *P. juliflora* بر ویژگی‌های خاک زیر تاج در مناطق مختلف استان هرمزگان مؤید این مطلب بود که برخی مشخصات خاک مانند کربن آلی، قابلیت هدایت الکتریکی و pH خاک زیر تاج با خارج تاج درخت در برخی مناطق به‌ویژه در ژرفای ۱۵-۰ سانتیمتری دارای اختلاف معنی‌داری است (Jalili & Najafi Tire Shabankareh, 2012). در پژوهشی تأثیر کشت گونه‌های

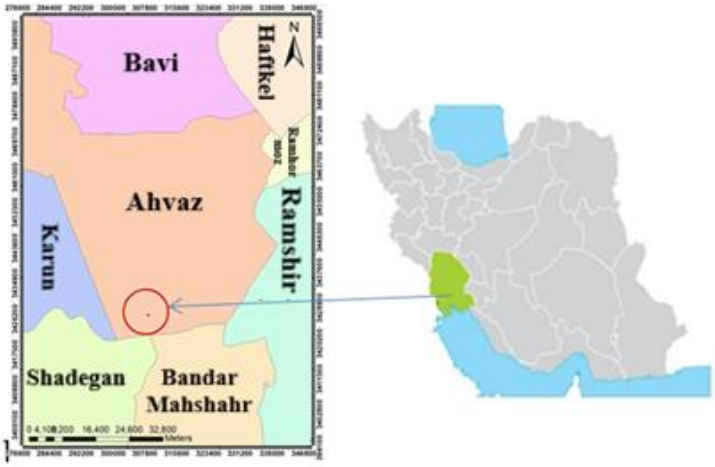
تاغ (*Haloxylon aphyllum*)، آتریپلیکس (*Atriplex canscens*) و گز (*Tamarix aphylla*) بر خصوصیات خاک در حاشیه مسیر بزرگراه تهران- قم مورد مطالعه قرار گرفت. یافته‌های این پژوهش نشان داد که کشت گونه آتریپلیکس کانسنس سبب افزایش معنی‌دار میزان نیتروژن، فسفر، پتاسیم، ماده آلی و کاهش اسیدیته خاک و کشت گز میزان نیتروژن، فسفر، پتاسیم و هدایت الکتریکی خاک را افزایش داد. سیاه تاغ سبب افزایش معنی‌دار میزان نیتروژن، پتاسیم، هدایت الکتریکی، اسیدیته و کاهش میزان فسفر شد (Jafari *et al.*,2005). راهبردهای مدیریت کهور پاکستانی (*P. juliflora*) در شرق آفریقا بیانگر این نکته بود که این گیاه به دلیل گره‌هایی که بر روی ریشه‌های خود دارد، می‌تواند نیتروژن اتمسفر را تثبیت کند و نیتروژن خاک را افزایش دهد (Kamiri *et al.*,2024). همچنین مطالعه‌ای دیگر در مورد اثرهای کهور پاکستانی (*P. juliflora*) بر خاک و جوامع گیاهی مراتع بیابانی بحرین تأیید کرد که پتاسیم در سطح خاک، بیشتر از لایه‌های عمیق‌تر است که این موضوع به دلیل جذب پتاسیم توسط کهور و انتقال آن به سطح خاک و تجمع در این ناحیه است (Sadeq *et al.*,2020).

استان خوزستان از استان‌هایی است که به دلیل شرایط ژئومورفولوژیک و اقلیمی یکی از کانون‌های اصلی ایجاد گردوغبار در کشور بوده و به همین دلیل در سال‌های اخیر نهال‌کاری‌های گسترده به منظور احیای بیولوژیک کانون‌های گردوغبار آن انجام شده است. اما با وجود نهال‌کاری‌های گسترده، مطالعات اندکی به مطالعه اثرهای این نهال‌کاری‌ها در کانون‌های این استان به‌ویژه در کانون جنوب و جنوب‌شرق اهواز پرداخته‌اند که از آن جمله می‌توان به پژوهشی اشاره کرد که روند تغییرات زمانی پوشش گیاهی را در کانون گردوغبار جنوب اهواز مورد بررسی قرار داده است (Dinarvand *et al.*,2021). اما تاکنون مطالعه‌ای به ارزیابی اثرهای نهال‌کاری‌ها بر خصوصیات خاک در این کانون نپرداخته است. بنابراین، این پژوهش با هدف بررسی اثر نهال‌کاری با گونه‌های اشنان (*S. rosmarinus*)، شورگز (*T. passerinoides*) و کهور پاکستانی (*P. juliflora*) بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و هیدرولوژیکی خاک در بخشی از کانون ریزگرد شرق و جنوب‌شرق اهواز برنامه‌ریزی گردید. نتایج این مطالعه می‌تواند مدیران و مجریان منابع طبیعی را با مزایا و معایب کاشت این گونه‌های گیاهی آگاه کرده و در انتخاب گونه‌های مناسب در این منطقه و اکوسیستم‌های مشابه کمک کند.

مواد و روش

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق بخشی از مناطق نهال‌کاری شده در کانون گردوغبار شرق و جنوب شرق اهواز (شماره ۴ اهواز) است که در موقعیت جغرافیایی ۴۷ °۴۸ تا ´۱۷ °۴۹ طول شرقی و ´۴۵ °۳۰ تا ´۱۵ °۳۱ عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). میانگین سالانه بارش، رطوبت نسبی و ظرفیت تبخیر و تعرق به‌ترتیب ۲۱۰ mm، ۴۸٪-۴۴ و ۱۲۰-۱۲۵ است. دمای متوسط سالانه ۲۶C-۲۷°، دمای بیشینه و کمینه مطلق به ترتیب ۳۵/۷ °C و ۱/°۲C- می‌باشد (Research Institute of Forests and Rangelands، 2017). بخشی از این کانون در سال ۱۳۹۸ در قالب طرح کاربردی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان توسط برخی گونه‌ها از قبیل اشنان (*S. rosmarinus*)، کهور پاکستانی (*P. juliflora*) و شورگز (*T. passerinoides*) نهال‌کاری شده بود.

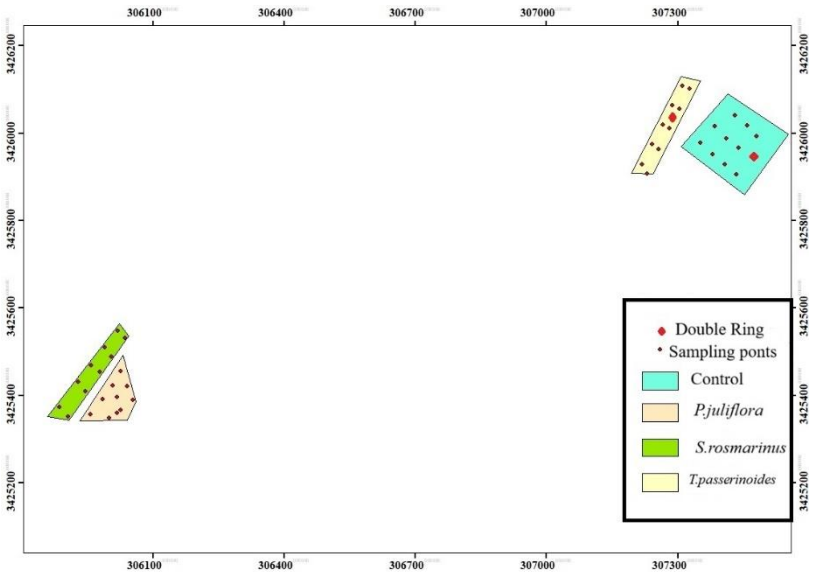


شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در شهرستان اهواز و کشور ایران

Figure 1- Location of the study area in Ahvaz city and Iran

روش تحقیق

نمونه‌های خاک در چهار منطقه (شاهد (فاقد نهال‌کاری)، شورگزکاری، کهورکاری، اشنان‌کاری)، در دو فاصله (زیر تاج و خارج از تاج گیاه) و در دو عمق (۳۰-۰ و ۶۰- ۳۰ سانتی‌متر) جمع‌آوری گردید. در هر منطقه تعداد ده نقطه برداشت گردید که با احتساب فواصل و عمق‌های مورد مطالعه در منطقه شاهد ۲۰ برداشت و در هریک از مناطق نهال‌کاری تعداد ۴۰ برداشت و در مجموع ۱۴۰ نمونه خاک برداشت گردید (شکل ۲). نمونه‌های خاک برداشت شده به آزمایشگاه منتقل شده و پس از تهیه نمونه خاک مرکب در سه تکرار، خصوصیات خاک به شرح زیر اندازه‌گیری گردید.



شکل ۲- موقعیت محل‌های نمونه‌برداری خاک و استقرار دبل رینگ

Figure 2- Location of soil sampling sites and installation of the double ring

اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و هیدرولوژیکی خاک

از بین خصوصیات فیزیکی جرم واحد حجم کل خاک با استفاده از روش کلوخه خاک و پارافین به روش غوطه‌وری در سیلندر (Blake & Hartge, 1986) ، پایداری خاکدانه‌ها با روش الک خشک (De Boodt & De Leenheer, 1958) و میزان مقاومت فروریی (PR) با استفاده از دستگاه فروسنج جیبی در عرصه و در هر نقطه برحسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع اندازه‌گیری شد. از بین خصوصیات شیمیایی هدایت الکتریکی (EC) در عصاره اشباعی خاک و pH خاک (pH) در گل اشباع به ترتیب توسط دستگاه‌های EC متر (Rhoades, 1982) و pH متر (Rhoades, 1982)، نیتروژن کل با روش کجلدال و هضم نمونه خاک در اسید Gallaher (*et al.*, 1976)، فسفر قابل جذب به روش Olsen (1954) با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر، پتاسیم محلول در عصاره اشباع به وسیله دستگاه فلیم‌فتومتر (Bolt & Bruggenwert, 1976) و کربن آلی به روش احتراق (Schollenberger, 1927) اندازه‌گیری شد. از بین خصوصیات هیدرولوژیکی رطوبت خاک به روش وزنی (Dahiya *et al.*, 1979) و نفوذپذیری خاک با استفاده از روش استوانه مضاعف (دبل رینگ) (شکل ۳) و براساس مدل Kostiakov (۱۹۳۲) در هر دو منطقه شاهد و منطقه تحت نهال‌کاری اندازه‌گیری شد. موقعیت جغرافیایی نقاط استقرار استوانه‌ها در شکل ۲ ارائه شده است. سپس به منظور مقایسه ویژگی‌های مورد بررسی از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه و روش کمترین اختلاف معنی‌دار (LSD) استفاده شد. تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SPSS و ترسیم نمودارها با نرم‌افزار EXCEL انجام گردید.

شکل ۳- محل استقرار دبل رینگ در منطقه شاهد

Figure 3- Location of the double ring in the control area

نتایج

خصوصیات خاک در مناطق نهال‌کاری شده با گونه‌های مختلف در مقایسه با منطقه شاهد

نتایج حاصل از تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD برای خصوصیات خاک در مناطق نهال‌کاری شده و شاهد در جدول (۱) ارائه شده است. براساس یافته‌های این پژوهش، از میان صفات مورد بررسی، pH خاک، درصد نیتروژن، مقاومت فروروی و درصد رطوبت خاک تفاوت معنی‌داری را بین مناطق مختلف نشان دادند. در مورد pH خاک، اگرچه بین منطقه شاهد و مناطق نهال‌کاری شده تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، ولی بین منطقه کهورکاری و همچنین شورگزکاری با اشنان‌کاری این تفاوت معنی‌دار بود. در مورد درصد نیتروژن خاک، بین منطقه شاهد و منطقه اشنان‌کاری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد؛ با این حال، بین منطقه شاهد

و هریک از مناطق کهورکاری و شورگزکاری، اختلاف معنی‌دار مشاهده گردید و این دو منطقه دارای درصد نیتروژن بالاتری بودند. از نظر مقاومت فروروی خاک، بین منطقه شاهد و کلیه مناطق نهال‌کاری شده با گونه‌های مختلف، اختلاف معنی‌دار مشاهده گردید و نهال‌کاری با هریک از گونه‌ها منجر به کاهش معنی‌دار این شاخص شد. بیشترین مقدار مقاومت فروروی مربوط به منطقه شاهد و کمترین مقدار آن در مناطق شورگزکاری و کهورکاری ثبت شد. در مورد میزان رطوبت در عمق اول خاک، اختلاف معنی‌داری بین منطقه شاهد و مناطق نهال‌کاری شده مشاهده گردید. بیشترین رطوبت در این عمق متعلق به منطقه کهورکاری و کمترین مقدار آن، با اختلاف معنی‌دار، متعلق به منطقه اشنان‌کاری بود (شکل ۴).

میزان نفوذپذیری خاک در منطقه شاهد در مقایسه با مناطق نهال‌کاری شده

نتایج به دست آمده از معادله نفوذ کوستیاکوف در مقایسه بین حجم آب نفوذی بین منطفه شاهد و منطقه نهال‌کاری شده نشان داد که میانگین نفوذ آب در منطقه شاهد ۶/۷۵ و در منطقه نهال‌کاری ۱۵/۱۲ cm/h است. بنابراین نهال‌کاری در این منطقه، میزان نفوذپذیری آب خاک را نسبت به منطقه شاهد ۱۲۴ درصد افزایش داده است.

جدول ۱- نتایج آزمون تجزیه واریانس و گروه‌بندی میانگین (**LSD**) خصوصیات خاک در مناطق نهال‌کاری و شاهد

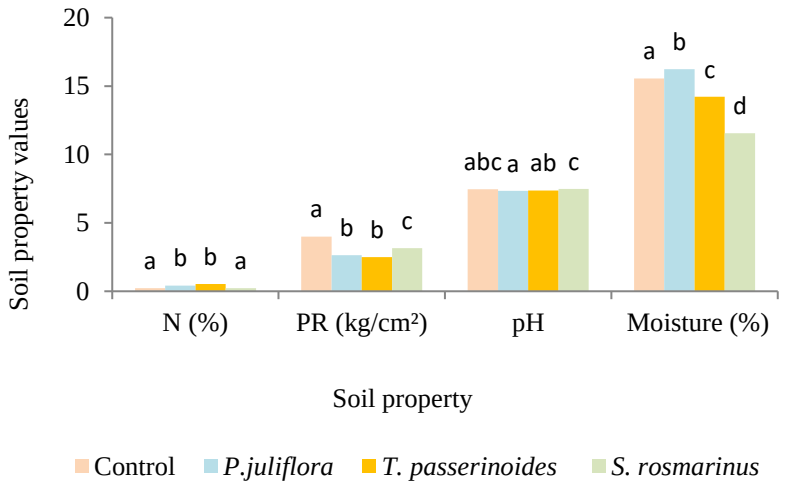
Table 1- Results of the Analysis of Variance (ANOVA) and LSD Mean Comparison of Soil Properties in the Planting and Control Areas.

Soil Properties	F-Value	Mean			
		Control Area	*P.juliflora*	*T.passerinoides*	*S.rosmarinus*
pH	3.226*	7.45±0·061 abc	7.34±0.061 a	7.37± 0.061ab	7.48± 0.061c
EC (ds/m)	0.498ns	42.32±11.94	28±11.94	33.72±11.94	31.04±11.94
Organic Carbon (%)	0.961 ns	1.19±0.19	1.14±0.19	1.05±0.19	0.91±0.19
Nitrogen (%)	9.356**	·0.22±0.07 a	0.42±0.07 b	0.52±0.07 b	0.22±0.07 a
Phosphorus (mg/kg)	1.094 ns	483.83±14.88	497.66±14.88	476.58±14.88	481.76±14.88
Potassium (mg/kg)	1.261 ns	35.06±18.1	54.99±18.1	68.34±18.1	63.95±18.1
Penetration Resistance (kg/cm^2)	16.824**	4±0.22a	2.64±0.22 b	2.5±0.22 b	3.14±0.22 c
Bulk Density (g/cm^3)	2.096 ns	1.59±0.16	1.35±0.16	1.59±0.16	1.31±0.16
Aggregate Stability (%)	1.826 ns	313.5±51.87	259.93±51.87	302.56±51.87	216.81±51.87
Soil Moisture (%)	150.63**	15.56±2.18 a	16.23±2.18 b	14.21±2.18 c	11.54±2.18 d

ns: (Not Significant) *: (Significant at $p < 0.05$) **: (Significant at $p < 0.01$

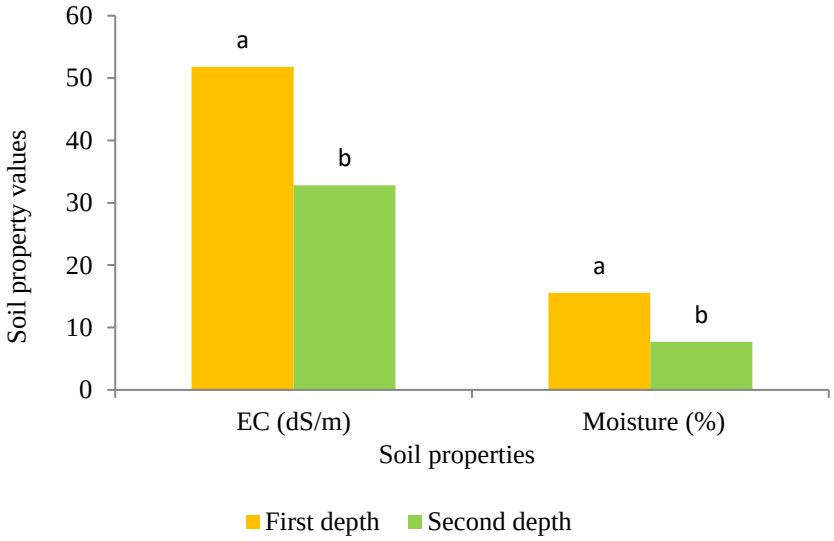
خصوصیات خاک در عمق‌های مختلف خاک در منطقه شاهد

مقایسه میانگین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در اعماق و فواصل مختلف از تاج پوشش گیاهی در جدول (۲) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که از بین خصوصیات مورد بررسی در منطقه شاهد، تنها دو عامل میزان هدایت الکتریکی و درصد رطوبت خاک در عمق اول با اختلاف معنی‌دار از عمق دوم بیشتر بود (شکل ۵) و بقیه خصوصیات خاک اختلاف معنی‌دار در بین دو عمق نشان ندادند.



شکل ۴- مقایسه خصوصیات خاک در منطقه شاهد در مقایسه با مناطق نهال‌کاری‌شده

Figure 4- Comparison of soil properties in the control area compared to the planted areas



شکل ۵- مقایسه خصوصیات خاک در عمق‌های مختلف در منطقه شاهد

Figure 5- Comparison of soil properties at different depths in the control area

خصوصیات خاک در عمق‌ها و فواصل مختلف از گونه شورگز

در منطقه شورگزکاری، میزان رطوبت (در هر دو فاصله) و کربن آلی خاک (فقط زیر تاج گیاه) در عمق اول بیشتر از عمق دوم مورد مطالعه بود. ضمن اینکه زیر تاج گیاه هدایت الکتریکی عمق اول کمتر از عمق دوم بود، در حالی که در خارج از تاج گیاه عکس آن اتفاق افتاد (شکل ۶).

خصوصیات خاک در عمق‌ها و فواصل مختلف از گونه اشنان

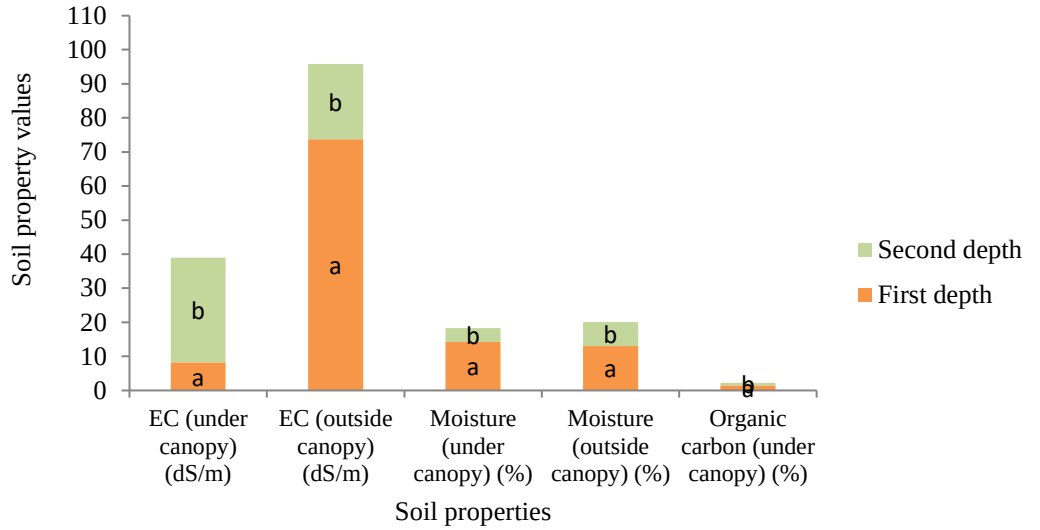
در منطقه اشنان‌کاری شده میزان هدایت الکتریکی در زیر تاج پوشش گیاه در عمق اول با اختلاف معنی‌دار کمتر از عمق دوم اما در فاصله دور از گیاه عکس آن صادق بود. کربن آلی و درصد رطوبت خاک در هر دو فاصله در عمق اول بیشتر از عمق دوم بوده است (شکل ۷).

جدول ۲- مقایسه میانگین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در اعماق و فواصل مختلف از تاج پوشش گیاهی

Table 2- Comparison of the mean of soil physicochemical properties at different depths and distances from the plant canopy

Location	Under/ outside the canopy	Depth	Mean ± SE									
			pH	EC (dS/m)	Organic Carbon (٪)	(٪)Nitrogen	Phosphorus (mg/kg)	Potassium (mg/kg)	Penetration Resistance (kg/cm²)	Bulk Density (g/cm³)	Aggregate Stability (٪)	Soil Moisture (٪)
Control	–	First	7.35 ±0.01	51.8 ±1.6	1.19 ±0.03	0.21 ±0.00	4.9 ±0.01	35.1 ±0.69	3.9 ±0.30	1.59 ±0.22	3.13 ±0.85	15.5 ±0.22
	–	Second	7.56 ±0.1	32.8 ±0.7	1.18 ±0.04	0.23 ± 0.01	4.7 ±0.31	35.03 ±2.21	4.08 ±0.08	1.58 ±0.26	3.13 ±0.1	7.7 ±0.10
		t-value	-2.2^{ns}	8.2*	0.083^{ns}	-2.5^{ns}	0.79^{ns}	0.02^{ns}	0.45^{ns}	0.96^{ns}	0.00^{ns}	24.5**
P.juliflora	Under	First	7.45 ±0.07	67.4 ±0.75	1.23 ±0.07	0.6 ±0.12	5.02 ±0.08	93.2 ±1.21	2.5 ±0.14	1.26 ±0.04	2.5 ±0.19	16.23 ±0.11
		Second	7.25 ±0.05	21.8 ±2.38	1.18 ±0.04	0.46 ±0.11	4.98 ±0.02	97.3 ±1.47	2.83 ±0.22	1.25 ±0.26	2.5 ±0.1	5.72 ±0.30
		t-value	7.45*	16.87**	0.45^{ns}	1.2^{ns}	0.3^{ns}	-1.7^{ns}	-0.2^{ns}	0.03^{ns}	0.001^{ns}	29.45**
	Outside	First	7.21 ±0.00	9.4 ±2.81	0.74 ±0.02	0.39 ±0.08	5.02 ±0.01	14 ±2.19	2.58 ±0.22	1.45 ±0.20	2.69 ±0.01	14.25 ±0.16
		Second	7.47 ±0.09	13.4 ±1.32	1.43 ±0.68	0.24 ±0.05	4.88 ±0.02	15.46 ±1.01	2.66 ±0.08	1.44 ±0.26	2.69 ±0.1	5.26 ±0.49
		t-value	-2.8^{ns}	-1.33^{ns}	-1.02^{ns}	1.45^{ns}	6.7*	-0.7^{ns}	-0.2^{ns}	0.019^{ns}	0.001^{ns}	26**
T.passerinoides	Under	First	7.37 ±0.00	8.24 ±0.18	1.15 ±0.07	0.6 ±0.12	4.76 ±0.14	30.86 ±1.17	2.3 ±0.41	1.54 ±0.13	2.01± 0.18	14.21 ±0.13
		Second	7.29 ±0.04	30.7 ±2.23	0.73 ±0.02	0.58 ±0.11	4.94 ±0.01	28.1 ±3.61	3 ± 0.14	1.53 ±0.26	2.01± 0.23	4.11 ±0.17
		t-value	1.99^{ns}	9.9**	5.72*	0.09^{ns}	-1.12^{ns}	0.615^{ns}	-2.2^{ns}	0.02^{ns}	0.002^{ns}	41.8**
	Outside	First	7.39 ±0.00	73.76 ±2.23	1.18 ±0.11	0.45 ±0.05	4.69 ±0.24	1.02 ±0.02	2.33 ±0.22	1.65 ±0.15	4.03 ±0.15	13.05 ±0.08
		Second	7.42 ± 0.01	22.11 ±1.38	1.14 ±0.08	0.44 ±0.02	4.65 ±0.28	1.11 ±0.03	2.33 ±0.08	1.64 ±0.26	4.03 ±0.23	6.99 ±0.19
		t-value	-3.7^{ns}	23.57**	0.2^{ns}	0.01^{ns}	0.08^{ns}	-1.08^{ns}	0.00^{ns}	0.04^{ns}	0.04^{ns}	27.47**
S.rosmarinus	Under	First	7.52 ±0.00	14.5 ±0.41	0.57 ±0.14	0.21 ±0.00	4.33 ±0.28	35.1 ±1.36	2.91 ±0.08	1.23 ±0.07	2.56 ±0.31	11.54 ±0.18
		Second	7.51 ±0.02	21.4 ±1.19	1.17 ±0.01	0.23 ±0.01	4.98 ±0.02	30.2 ±1.61	3.16 ±0.44	1.22 ±0.26	2.56 ±0.23	5.26 ±0.37
		t-value	0.37^{ns}	-6.8*	-4.3*	-2.5^{ns}	-2.09^{ns}	3.7^{ns}	-0.4^{ns}	0.02^{ns}	0.00^{ns}	14.2**
	Outside	First	7.32 ±0.01	73.8 ±2.30	1.33 ±.00	0.21 ±.04	5 ± 0.00	30.2 ±1.61	2.75 ± 0.14	1.4 ±0.13	1.77 ±0.21	13.86 ±0.05
		Second	7.59 ±0.01	15.8 ±2.24	0.56 ±0.17	0.23 ±0.02	4.95 ±0.02	95.7 ±1.98	3.75 ±0.38	1.39 ±0.26	1.77 ±0.23	8.37 ±0.21
		t-value	15.6**	12.7**	4.47*	-0.2^{ns}	2.07^{ns}	18.1**	-2.6^{ns}	0.03^{ns}	0.00^{ns}	33.7**

ns: (Not Significant) *: (Significant at $p < 0.05$) **: (Significant at $p < 0.01$

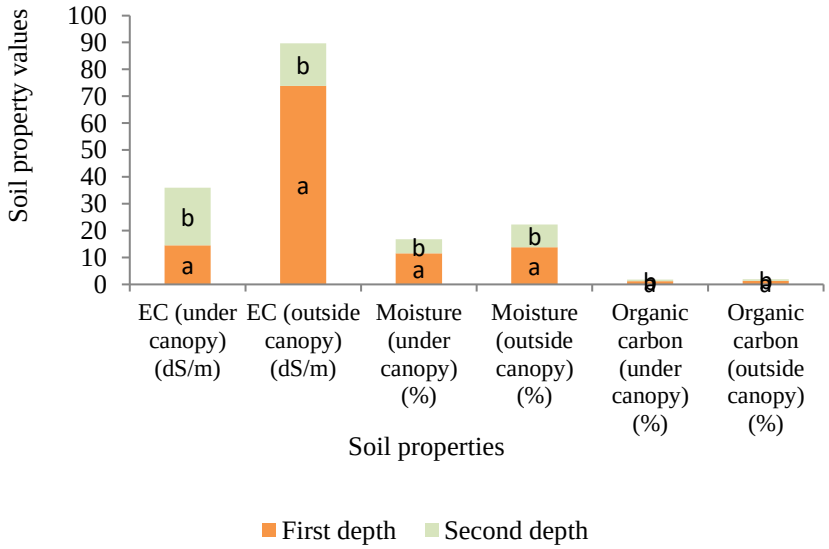


شکل ۶- مقایسه خصوصیات خاک در عمق‌ها و فواصل مختلف از گیاه در منطقه شورگزکاری

Figure 6- Comparison of soil properties at different depths and distances from *T. passerinoides*

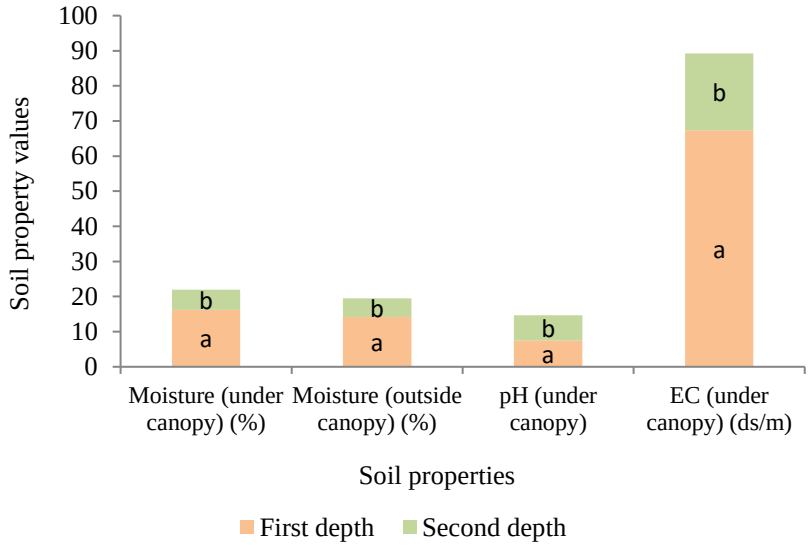
خصوصیات خاک در عمق‌ها و فواصل مختلف از گونه کهور پاکستانی

در منطقه کهورکاری درصد رطوبت خاک در هر دو فاصله در عمق اول بیشتر از عمق دوم و میزان pH و هدایت الکتریکی در زیر تاج پوشش گیاه در عمق اول بیشتر از عمق دوم بود (شکل ۸).



شکل ۷- مقایسه خصوصیات خاک در عمق‌ها و فواصل مختلف از گیاه در منطقه اشنان‌کاری

Figure 7- Comparison of soil properties at different depths and distances from *S. rosmarinus*



شکل ۸- مقایسه خصوصیات خاک در عمق‌ها و فواصل مختلف از گیاه در منطقه کهورکاری

Figure 8- Comparison of soil properties at different depths and distances from *P. juliflora*

بحث

یکی از اقدامات مدیریتی در پروژه‌های بیابان‌زدایی، احیای اراضی از طریق کاشت گونه‌های سازگار است. بدین منظور انتخاب نوع گونه گیاهی بسیار حائز اهمیت می‌باشد، زیرا از نظر اکولوژیکی می‌تواند تغییراتی در شرایط اکوسیستم طبیعی منطقه ایجاد کند. بنابراین بررسی و پایش پروژه‌های نهال‌کاری در این عرصه‌ها می‌تواند در شناخت مزایا و معایب کشت گونه‌های مورد استفاده، کاهش آسیب‌های احتمالی و پیشنهاد گونه‌های مناسب‌تر در شرایط آن اکوسیستم یا اکوسیستم‌های مشابه مؤثر باشد. نتایج این تحقیق نشان داد که نهال‌کاری با هریک از گونه‌ها میزان مقاومت فروروی خاک را کاهش داده و بیشترین میزان این شاخص مربوط به منطقه شاهد و کمترین آن مربوط به گونه‌های درختچه‌ای و درختی (شورگز و کهور پاکستانی) بوده است. ریشه گیاهان (به‌ویژه ریشه‌های عمیق) با نفوذ در خاک، کانال‌های طبیعی ایجاد می‌کنند. این کانال‌ها پس از پوسیدن ریشه‌های موقت یا حتی در حضور ریشه‌های اصلی، به عنوان مجراهایی برای نفوذ آب و هوا عمل می‌کنند. در نتیجه، تخلخل خاک افزایش یافته و مقاومت فروروی را کاهش می‌دهد. همچنین ریزش برگ‌ها و شاخه‌های درختان، لایه‌ای از مواد آلی را به خاک اضافه می‌کند و با تجزیه این مواد توسط میکروارگانیسم‌ها، خاک‌ورزی طبیعی رخ داده و ساختار خاک بهبود می‌یابد. در این مطالعه نیز گونه‌های شورگز و کهور پاکستانی به دلیل نوع فرم رویشی و افزایش ریشه‌دوانی در بهبود تخلخل و کاهش فشردگی خاک نسبت به گونه اشنان با فرم رویشی بوته‌ای مؤثرتر بوده‌اند. نتیجه تحقیق Fageria و Stone (۲۰۰۶) نیز نشان داد که نفوذ ریشه درختان می‌تواند باعث اصلاح خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی در ناحیه اطراف ریزوسفر شود، حتی این تغییرات می‌توانند پس از تخریب ریشه باقی بمانند و یک سیستم منشعب از منافذ زیستی مرتبط را تشکیل دهند. همچنین نتایج نشان داد شورگزکاری و کهورکاری نسبت به اشنان‌کاری و منطقه شاهد میزان نیترژون خاک را افزایش داده است. شاید دلیل این موضوع آن باشد که شورگز به دلیل برگ‌ریزی فراوان و تولید بقایای گیاهی با زیست‌توده بالا، محتوای نیتروژن متوسط تا بالا تولید می‌کند. تجزیه میکروبی، آمونیوم (NH^{+}_{4}) و نیترات (NO^{-}_{3}) آزاد می‌کند که منجر به تقویت مخازن نیتروژن خاک می‌شود. همچنین بقایای گیاهی کهور پاکستانی به دلیل نسبت مطلوب کربن به نیتروژن

(C:N) به سرعت تجزیه شده و آزادسازی نیتروژن را تسریع می‌کند. این در حالی است که اشنان اغلب دارای بافت‌های سازگار با شوری و محتوای نمک بالا است که تجزیه‌گرهای میکروبی را مهار کرده و کانی‌سازی نیتروژن را کند می‌نماید. Jafari و همکاران (۲۰۰۵) نیز در مطالعه خود نشان دادند که کشت گونه گز (*T. aphylla*) میزان نیتروژن خاک را در دو عمق مورد مطالعه نسبت به شاهد افزایش داده است و علت آن را افزایش عناصر در منطقه گزکاری‌شده بر اثر تجزیه اندام‌های هوایی گیاه دانستند. *Rasouli* (۲۰۰۴) نیز افزایش مادة آلی خاک و در پی آن افزایش عناصر حاصلخیزی مانند پتاسیم را از نتایج مثبت کشت گز (*T. aphylla*) در منطقه مورد مطالعه خود دانست. افزایش درصد نیتروژن خاک در اثر کهورکاری همچنین در مطالعه Bayranvand و همکاران (۲۰۱۹) برای گونه *P. cineraria* و Matinkhah و همکاران (۲۰۱۵) برای گونه *P. juliflora* گزارش شده است. به طورکلی مطالعات بسیاری افزایش مقدار مواد آلی و نیتروژن کل را در اثر درختکاری تأیید کرده‌اند که از آن جمله می‌توان به این مطالعات اشاره کرد: Hoosbeek و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که مقدار مواد آلی و نیتروژن کل در زیر درختان در مقایسه با مرتع باز بیشتر است و معتقدند چرخه مواد مغذی با حضور گونه‌های درختی افزایش می‌یابد. Liu و همکاران (۲۰۲۳) نیز بیان کردند که جنگل‌کاری منجر به افزایش غلظت مواد مغذی خاک ازجمله نیتروژن کل می‌شود که به دلیل افزایش زیست توده در بالا و زیر سطح خاک می‌باشد. در مطالعه Guo و همکاران (۲۰۲۱) نیز جنگل‌کاری باعث افزایش نیتروژن و کاهش pH خاک شد. در این مطالعه میزان pH خاک در منطقه اشنان‌کاری با اختلاف معنی‌دار بیشتر از منطقه کهورکاری و شورگزکاری بود. به این دلیل که اشنان، سدیم (Na^+) موجود در خاک را جذب و در واکوئل‌های سلولی خود ذخیره می‌کند. این فرایند با انتقال یون‌های سدیم از ریشه به برگ‌ها، باعث تجمع سدیم در بافت‌های گیاهی می‌شود. زمانی که گیاه می‌میرد یا بقایای آن تجزیه می‌شود، سدیم ذخیره‌شده به خاک بازمی‌گردد و غلظت یون سدیم را افزایش می‌دهد. از سوی دیگر ریشه‌های عمیق اشنان با تراکم بالا، ساختار خاک را فشرده می‌کنند. این فشردگی، تخلخل خاک را کاهش داده و نفوذ آب را محدود می‌کند. در نتیجه، آبشویی طبیعی نمک‌ها (شستشوی سدیم از لایه‌های سطحی به عمق) مختل می‌شود و املاح در سطح خاک تجمع پیدا می‌کنند. البته یادآوری می‌شود که افزایش معنی‌دار مشاهده‌شده منجر به تغییر کلاس pH خاک نشد. با این‌حال، این تغییرات معنی‌دار درون کلاسی می‌توانند اثرهای قابل توجهی بر حلالیت عناصر غذایی و فعالیت زیستی در خاک داشته باشند، که هدف اصلی این تحقیق نیز بررسی همین اثرهای ظریف ناشی از گونه‌های مختلف گیاهی بوده است. Khosravi (۲۰۱۵) نیز در مطالعه خود نتیجه مشابهی را به دست آورده و نشان دادند که مقادیر pH خاک در زیر تاج پوشش اشنان از بیشترین مقدار نسبت به گونه گز (*T. mascatensis*) و منطقه شاهد برخوردار است. همچنین Mao و همکاران (۲۰۲۴) معتقدند که علاوه بر عمق و تعداد سال‌های جنگل‌کاری، محتوای رطوبت خاک نیز با pH اثر هم‌افزایی دارد؛ به‌طوری که خاک‌های خشک‌تر معمولاً pH بالاتری دارند. در این مطالعه نیز، بیشترین و کمترین میزان pH خاک به ترتیب متعلق به منطقه اشنان‌کاری (با کمترین درصد رطوبت) و کهورکاری (با بیشترین درصد رطوبت) بود که همسو با یافته‌های مذکور است. در مورد رطوبت عمق اول خاک اختلاف معنی‌داری بین منطقه شاهد و مناطق نهال‌کاری مشاهده گردید. بیشترین میزان رطوبت عمق اول خاک متعلق به منطقه کهورکاری (بیشتر از شاهد) و کمترین میزان آن با اختلاف معنی‌دار متعلق به منطقه اشنان‌کاری بود که حتی رطوبت کمتری از منطقه شاهد داشت. احتمالاً گونه کهور با سایه‌بان گسترده‌تری که ایجاد می‌کند با جلوگیری از تبخیر خاک بیشتر به حفظ رطوبت خاک کمک می‌کند. همچنین برگ‌های کوچک و اغلب آب‌گریز اشنان ممکن است بارش باران را به‌طور کارآمد به پای گیاه هدایت نکنند و آب باران به جای نفوذ به خاک پای گیاه، به صورت رواناب از منطقه خارج شود، در حالی که گونه‌های با شاخ و برگ انبوه‌تر (مثل کهور) باران را به دام انداخته و نفوذ آب به خاک را افزایش دهند. از سوی دیگر، سازوکارهای سازگاری با خشکی این

گیاه هم ممکن است در کاهش سریعتر رطوبت خاک مؤثر باشد. زیرا اشنان یک گیاه بسیار مقاوم به خشکی و شوری است و ممکن است آب جذب‌شده را به‌سرعت در بافت‌های خود ذخیره کند و از طریق سازوکارهایی مانند بستن روزنه‌ها در روزهای گرم، تعرق را به حداقل برساند. این سازگاری‌ها باعث می‌شود خاک اطراف آن سریع‌تر خشک شود، در حالی که گونه‌های دیگر با تعرق بالاتر، رطوبت نسبی محیط ریشه را حفظ می‌کنند. همچنین مقایسه نفوذپذیری آب در خاک بین منطقه شاهد و منطقه نهال‌کاری شده نشان داد که نهال‌کاری در این منطقه توانسته میزان نفوذپذیری آب در خاک را نسبت به منطقه شاهد ۱۲۴ درصد افزایش دهد. علت افزایش میزان نفوذپذیری ریشه‌های درختان است که با نفوذ به لایه‌های عمقی خاک، کانال‌های طبیعی (ماکروپور) ایجاد می‌کنند و مسیرهای مستقیمی برای نفوذ آب فراهم می‌نمایند. ضمن اینکه پوسیدگی ریشه‌های فرسوده پس از مرگ آنها، حفره‌هایی ایجاد می‌کند که به عنوان مجاری دائم نفوذ آب عمل می‌کنند. تاج‌پوشش درختان نیز، انرژی قطره‌های باران را جذب کرده و از تخریب خاکدانه‌های سطحی جلوگیری می‌کند. از سوی دیگر، ترشحات ریشه‌ها (مثل موسیلاژ) و فعالیت میکروارگانیسم‌های همزیست، ذرات خاک را به هم متصل کرده و خاکدانه‌های پایدار تشکیل می‌دهند. ضمن اینکه لاشبرگ ایجاد شده از تشکیل پوسته سخت سطحی (سله) که مانع نفوذ آب می‌شود، جلوگیری می‌کند و ظرفیت نگهداری آب و تخلخل خاک را بهبود می‌بخشد. علاوه بر این، مواد آلی، جمعیت کرم‌های خاکی و سایر میکروارگانیسم‌های خاک را افزایش داده که حفاری‌شان شبکه‌ای از منافذ ایجاد می‌کند. نتایج مطالعه Parvizi و همکاران (۲۰۲۴) نیز نشان داد که سرعت نفوذ نهایی در اثر انجام عملیات حفاظت خاک اصلاح کاربری دیمزار کم‌بازده به نهال‌کاری و تغییر کاربری مرتع به بادام‌کاری با سابقه ۱۰ ساله افزایش در مقدار سرعت نفوذ نهایی، به ترتیب به میزان ۲۱,۸ و ۱۶ درصد نسبت به شاهد داشته است. Zare و همکاران (۲۰۲۱) نیز در مطالعه خود افزایش نفوذپذیری به آب را در اثر تاغ‌کاری (*H. aphyllum*) به اثبات رسانده و علت آن را ریشه‌دوانی درختان تاغ دانسته‌اند. از بین خصوصیات مورد بررسی در عمق‌های مختلف در منطقه شاهد، دو عامل میزان هدایت الکتریکی و درصد رطوبت خاک در عمق اول با اختلاف معنی‌دار از عمق دوم بیشتر بود. از آنجایی که نمونه‌برداری در فصل بارش انجام شده و بارش در مناطق خشک اغلب کم‌حجم و پراکنده یا شدید است و خاک‌های این مناطق اغلب فشرده یا دارای پوسته سطحی هستند. در نتیجه، آب فرصت کافی برای نفوذ به لایه‌های عمیق‌تر را ندارد و بیشتر در لایه‌های سطحی (۳۰-۰ سانتی‌متر) تجمع می‌کند و این موضوع باعث افزایش موقت رطوبت سطحی نسبت به عمق می‌شود. از سوی دیگر، در مناطق خشک، آب زیرزمینی شور از طریق لوله‌های مویین خاک به سمت بالا کشیده می‌شود. با رسیدن این آب به سطح زمین، تبخیر شدید اتفاق می‌افتد و نمک‌های محلول در خاک سطحی رسوب می‌کنند. علاوه بر این، در این مناطق به دلیل بارش کم، آب کافی برای حل کردن نمک‌های سطحی و انتقال آنها به لایه‌های عمقی (شستشوی عمقی) وجود ندارد. باران‌های کم‌حجم نیز اغلب تنها سطح خاک را مرطوب می‌کنند و پس از تبخیر، نمک‌های بیشتری بر جای می‌گذارند و این فرایند به تدریج باعث تجمع نمک در لایه‌های فوقانی (۳۰-۰) می‌شود. نتایج در مورد میانگین خصوصیات خاک در زیر تاج و خارج از تاج پوشش گیاه و در دو عمق مورد مطالعه نشان داد که در زیر تاج گیاه شورگز میزان هدایت الکتریکی عمق اول خاک کاهش و کربن آلی آن افزایش یافته است. یافته‌های این تحقیق درباره کاهش هدایت الکتریکی در زیر تاج پوشش شورگز با برخی مطالعات متداول درباره گونه‌های جنس گز که معمولاً افزایش شوری زیر تاج پوشش این جنس را گزارش می‌کنند، مغایرت دارد. احتمالاً یکی از علل تناقض مشاهده شده این است که واکنش خاک به نوع گونه نیز بستگی دارد. برای نمونه، *T. aphylla* در حاشیه بزرگراه تهران-قم باعث افزایش EC خاک شد (Jafari *et al.*, 2005). *T. hispida* در کویر مرنجاب نیز افزایش شوری و سدیم خاک را نشان داد (Ordibehesht *et al.*, 2023). اما گونه *T. passerinoides* در این مطالعه ممکن است ویژگیهای ریزمورفولوژیکی (مانند ترشحات ریشه یا ترکیب لاشبرگ)

یا فیزیولوژیکی برای جذب و انتقال انتخابی یونها به بافتهای خود داشته باشد که غلظت نمک در خاک ریزوسفر را کاهش دهد. کیفیت آب زیرزمینی (شوری پایین یا متوسط) و عمق سفره آب نیز نقش تعیین‌کننده‌ای دارند. اگر آب زیرزمینی با EC پایین در دسترس باشد، گیاه کمتر به نمک‌زدایی از طریق ترشح نمک متکی است، در نتیجه تجمع نمک در خاک کاهش می‌یابد (Ordibehesht *et al.*, 2023). از سوی دیگر، افزایش کربن آلی خاک که در این تحقیق اتفاق افتاده ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) خاک را افزایش می‌دهد، به‌طوری‌که خاکهای با CEC بالا توانایی بیشتری برای جذب و نگهداری یونهای نمک (مانند Na^+، Cl^-) دارند، که از حضور آنها در محلول خاک می‌کاهد و EC را کاهش می‌دهد. همچنین مواد آلی با بهبود ساختار فیزیکی خاک (ایجاد کانالهای ریشه و افزایش تخلخل)، نفوذ آب باران یا آب زیرزمینی را تسهیل می‌کند. این فرایند باعث آبشویی نمکها از لایه سطحی به اعماق پایین‌تر و کاهش EC خاک می‌گردد. در مطالعه Khosravani و همکاران (۲۰۲۱) نیز در گونه‌ای دیگر از جنس گز (*T. mascatensis*) افزایش معنی‌دار پتاسیم، نیتروژن، ماده آلی و کربن آلی خاک زیر تاج‌پوشش گونه گز نسبت به اشنان و شاهد مشاهده گردید. در مطالعه Mahdavi Ardakani و همکاران (۲۰۱۱) نیز در مورد گونه دیگری از این جنس (*T. aphylla*) افزایش ماده آلی در سطح خاک مشاهده شده بود. ایشان حجم بالای لاشبرگ و شرایط میکروکلیمای بهتر نسبت به محیط شاهد را در بهبود مادة آلی خاک تحت پوشش این گونه تأثیرگذار دانست. در این پژوهش اشنان‌کاری نیز همانند شورگزکاری سبب کاهش شوری خاک در زیر تاج گیاه شد اما افزایش کربن آلی خاک، علاوه بر زیر تاج در خارج از تاج گیاه هم اتفاق افتاد. علت افزایش کربن آلی در زیر تاج اشنان، سرشاخه‌های جدا شده از گیاه می‌باشد اما در مورد خارج از تاج شاید علت این موضوع آن باشد که در این منطقه پس از نهال‌کاری، زادآوری طبیعی گیاه نیز افزایش یافته و پایه‌های گیاهی آن در منطقه رو به ازدیاد است. از سوی دیگر، با میکروکلیمای به وجود آمده نسبت به کهورکاری و شورگزکاری بیشتر بر روی سبز شدن بانک بذر خاک و ایجاد پوشش علفی در مناطق بین‌گونه‌ای عمل کرده است. در مطالعه Nasiri و همکاران (۲۰۲۰) در شاهرود نیز همین گونه از جنس اشنان باعث حضور گونه‌های جدید در منطقه مورد مطالعه آنها شده و این گونه را برای کشت در مراتع بیابانی جهت مبارزه بیولوژیک با عامل بیابان‌زایی و جلوگیری از بروز ریزگردها توصیه کرده‌اند. در مطالعه آنان نیز این گونه سبب کاهش شوری و افزایش ماده آلی خاک شده بود که دلیل آن را افزایش پوشش تاجی و افزایش میزان هوموس و لاشبرگ و طبیعتاً ماده آلی خاک دانسته و این گونه را برای اصلاح خاک‌های شور نیز پیشنهاد کرده‌اند. در مطالعه Khosravi (۲۰۱۵) در اصفهان نیز گونه اشنان سبب افزایش ماده آلی و کربن آلی نسبت به فضای بین گونه‌ای شده بود. این در حالی است که بر خلاف نتایج این تحقیق و تحقیقات ذکر شده، Jalili و Najafi Tireh Shabankareh (۲۰۱۲) اعتقاد داشتند که گیاه اشنان از رشد پوشش گیاهی در زیر تاج خود ممانعت به عمل آورده و از این طریق به عنوان یک عامل محدودکننده تلقی می‌شود. در مطالعه Mahdavi Ardakani و همکاران (۲۰۱۱) نیز کاهش ماده آلی خاک در مناطق تحت کشت گیاه اشنان اتفاق افتاد. احتمالاً متفاوت بودن شرایط آب و هوایی، خاک، آب زیرزمینی، گیاهان همراه و غیره علت ایجاد نتایج گاهی متناقض می‌شود و ضرورت تحقیقات بیشتر در اکوسیستم‌های مختلف را ایجاب می‌کند. در این پژوهش کهورکاری باعث افزایش شوری و pH خاک در زیر تاج پوشش گیاه شده است. علت این تغییرات احتمالاً ریشه‌های بسیار عمیق (تا ۵۰ متر) کهور پاکستانی است که به سفره‌های آب زیرزمینی شور دسترسی پیدا می‌کند. گیاه نمکهای محلول (مانند سدیم و کلر) را از اعماق خاک جذب می‌کند. نمک‌های جذب شده به برگها منتقل شده و پس از ریزش برگ‌ها یا ترشح از طریق غدد نمکی روی برگ‌ها، روی سطح خاک تجمع یافته و بارش محدود مناطق خشک نمی‌تواند این نمکها را شسته و به اعماق ببرند. فقدان آب کافی برای شستشوی نمکهای تجمع یافته و از سوی دیگر تاج پوشش گسترده گیاه مانع از رسیدن باران جزئی به خاک زیر خود می‌شود و این عوامل موجب انباشت

تدریجی نمک‌ها در لایه‌های سطحی خاک می‌شود. در نهایت تجمع یونهای قلیایی (مثل سدیم) و کاهش کلسیم و منیزیم می‌تواند منجر به افزایش pH خاک شود. در مطالعه Shiferaw و همکاران (۲۰۲۱) نیز مشابه نتایج این تحقیق افزایش میزان pH خاک و برخلاف نتایج این تحقیق کاهش شوری در مناطقی که به اشغال گونه مهاجم کهور پاکستانی درآمدند مشاهده گردید. نتایج مشابهی توسط Idrisi و همکاران (۲۰۲۰) نیز نشان داد که pH خاک در مناطق شاهد شمال هند کمتر از مناطقی بود که توسط گونه مهاجم *P. juliflora* اشغال شده‌اند. در مطالعه Bijani و همکاران (۲۰۲۰) افزایش هدایت الکتریکی و کاهش pH در زیر گونه کهور پاکستانی نسبت به فضای باز مشاهده شده بود. در مطالعات Bayranvand و همکاران (۲۰۱۹) و Jalili و Najafi Tireh Shabankareh (۲۰۱۲) بر خلاف نتایج این تحقیق مقدار pH خاک در زیر تاج کهور پاکستانی کاهش یافتـه بود. شاید علت تفاوت نتایج در مورد تأثیرات گونه کهور پاکستانی بر روی pH و هدایت الکتریکی خاک مربوط به شرایط متفاوت اکوسیستم‌ها از نظر شرایط اولیه خاک از نظر بافت خاک، شوری، اسیدیته، دما، میزان بارش، دوره‌های ترسالی و خشکسالی، عمق سفره‌های زیرزمینی، شوری آب‌های زیرزمینی، سن نهالکاری و غیره باشد. Jalili و Najafi Tireh Shabankareh (۲۰۱۲) نیز علـت متفاوت بودن نتایج را بـه مـدت استقرار پایه‌های کهور پاکستانی این گونه در مناطق مختلف، شرایط رویشگاهی، وقوع دوره‌های ترسالی و خشکسالی و تراکم و تنوع گونـه‌هـای بومی هر منطقه نسبت داده‌اند.

به‌طورکلی نتیجه این تحقیق در مورد گونه غیربومی کهور پاکستانی نشان داد با وجود مزایایی که این گونه در کاهش مقاومت فروروی خاک و افزایش میزان نیتروژن خاک نسبت به منطقه شاهد نشان داد اما از سوی دیگر به دلیل سازوکار انتقال نمک موجب افزایش هدایت الکتریکی و pH در زیر تاج گیاه شده که در طولانی‌مدت می‌تواند موجب تخریب فیزیکی – شیمیایی و تغییر در میکروکلیمای خاک شود. این در حالی است که کشت دو گونه بومی شورگز و اشنان منجر به کاهش هدایت الکتریکی و افزایش ماده آلی خاک شد. بنابراین با وجود تأثیرات مثبت گونه‌های بومی در این مطالعه، کشت این گیاهان نسبت به گونه غیربومی کهور پاکستانی در پروژه‌های احیای مناطق خشک ضروری به نظر می‌رسد.

References

– Akbarian, M. and Nohegar, A., 2014. Assessment the Afforestation projects impact in Controlling Wind Erosion Pibeshk Area, Jask County. Geographical Research; 29 (3):179-190 (In Persian)

– Bayranvand, M., Kooch, Y. and Bahmani, M., 2019. Variability analysis of soil carbon and nitrogen storage under *Prosopis cineraria*, *Calotropis procera* and *Ziziphus spinosa* species in the South of Kerman. Arid Biome Scientific and Research Journal, 8(2): 92-101. DOI: 10.29252/aridbiom.2019.1407 (In Persian)

– Bijani, A., moslehi, M. and parvaresh, H., 2020. Effects of *Prosopis cineraria* (L.) Druce and *Prosopis juliflora* (SW.) DC on some chemical characteristics of soil. Iranian Journal of Forest, 12 (1): 101-111 (In Persian)

– Blake, G.R. and Hartge, K.H., 1986. Bulk density. In: Klute, A., Ed., Methods of Soil Analysis, Part 1—Physical and Mineralogical Methods, 2nd Edition, Agronomy Monograph 9, American Society of Agronomy—Soil Science Society of America, Madison, 363-382.

– Bolt, G. H. and Bruggenwert, M.G.M., 1976. Soil Chemistry: A. Basic Elements. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.

– Dahiya, I.S., Hajrasuliha, S. and Lamba, P.S., 1979. A quick method of soil moisture determination. Soil Sci. and plant Anal, 10 (5): 795-805.

– De Boodt, M. and De Leenheer, L., 1958. Propotion pour l'evalution de la stabilitie des aggregates sur le terrain.Proc. Intera. Symp. Soil Structure. Ghent, Belgium. 24: 234-241

– Dinarvand, M., Alimahmodi Sarab, S., Arami, S.A. and Heidari, K., 2021. The trend of temporal changes in vegetation in the dust center of South Ahvaz (Case study: Hanitieh area of Karun city). Journal of Plant Biological Sciences, 13(3): 81-94. DOI: 10.22108/ijpb.2022.128361.1249 (In Persian)

– Fageria, N.K. and Stone, L.F., 2006. Physical,

Persian)
– Khosravi, A., 2015. Investigation of Intra- and Inter-species Competition of Tamarix mascatensis and Seidlitzia rosmarinus Shrubs in Arid Regions of Isfahan Using Ripley's K Function (Case Study: Ghohi Protected Area). Master's Thesis. Shiraz University. 69-100 (In Persian)
– Kostiakov, A.N., 1932. On the dynamics of the coefficient of water-percolation in soils and on the necessity for studying it from a dynamic point of view for purposes of amelioration. Transactions Congress International Society for Soil Science, 6th, Moscow, Part A: 17-21.
– Liu, L., He, T., Zhu, N., Peng, Y., Gao, X., Liu, Z. and Dang, P., 2023. Effects of Afforestation Patterns on Soil Nutrient and Microbial Community Diversity in Rocky Desertification Areas. Forests, 14(12): 2370. https://doi.org/10.3390/f14122370
– Mahdavi Ardakani, S.R., Jafari, M., Zargham, N., Zare Chahouki, M.A., Baghestani Meibodi, N. and Tavili, A., 2011. Investigation on the effects of *Haloxylon aphyllum*, *Seidlitzia rosmarinus* and *Tamarix aphylla* on soil properties in Chah Afzal-Kavir (Yazd). Iranian Journal of Forest, 2(4): 357-365 (In Persian)
– Mao, L., Miao, Y., Ge, Y., Wei, S., Yang, X., Li, S. and Quandahor, P., 2024. Effects of different afforestation years on soil moisture and nutrient content in Maxian Mountain of the Loess Plateau. Scientific Reports, 14(1): 16194. https://doi.org/10.1038/s41598-024-66408-z
– Matinkhah, S., Shahbazi, A. and Naiminia, M., 2015. The effects of *Acacia nilotica* and *Prosopis juliflora* as the nitrogen provider trees on the understory soil of them. Journal of Water and Soil Science, 1(25): 211-22.
– Mehrnoosh, S., Beheshti Ale Agha, A., Rakhsh, F., Pourreza, M. and Safari Sinegani, A.A., 2022. Comparison of Soil Biological Activity in Forest with Coniferous and Broadleaf Trees in Biston Region of Kermanshah. Water and Soil, 36(5): 593-610. DOI: 10.22067/jsw.2022.78164.1189 (In Persian)
– Nasiri, H., Mohammad-esmaeili, M., Tahmasebi, A. and Fakhireh, A. 2020. The effect of *Seidlitzia rosmarinus* cultivation on vegetation and soil changes in the desert area of Chah Bagher Shahroud. Plant Ecosystem Conservatin, 8 (17):89-100 DOI: https://pec.gonbad.ac.ir/article-1-610-en.html (In Persian)
– Nasseri, H. and Azizabadi Farahani, A. (2017). Studying the effect of the canopy cover of Tamarix hispida species on some soil properties (case study: Maranjab desert habitat), 15th Iranian Soil Science Congress (In Persian)

chemical, and biological changes in the rhizosphere and nutrient availability. Journal Plant Nutr, 29(7): 1327–1356. DOI: 10.1080/01904160600767682.
– Gallaher, R.N., Weldon, C.O. and Boswell, F.C., 1976. A semiautomated procedure for total nitrogen in plant and soil samples. Soil Science Society of America Journal, 40(6): 887-889.
– Guo, Y., Abdalla, M., Espenberg, M., Hastings, A., Hallett, P. and Smith, P., 2021. A systematic analysis and review of the impacts of afforestation on soil quality indicators as modified by climate zone, forest type and age. Science of the Total Environment, 757: 143824. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.143824.
– Heidarian, P., Azhdari, A., Jodaki, M., Darvishi Khatooni, J. and Shahbazi, R., 2017. Identifying interior sources of dust storms using remote sensing, GIS and geology (case study: Khuzestan province). Scientific Quarterly Journal of Geosciences, 27(105): 33-46. DOI: 10.22071/gsj.2017.53928 (In Persian)
– Hoosbeek, M.R., Remme, R.P. and Rusch, G.M., 2018. Trees enhance soil carbon sequestration and nutrient cycling in a silvopastoral system in south-western Nicaragua. Agroforestry Systems, 92: 263-273. DOI: 10.1007/s10457-016-0049-2
– Idrisi, M.J. and Ullah, M.S., 2020. Central-body square configuration of restricted six-body problem. New Astronomy, 79: 101381. DOI: 10.1016/j.newast.2020.101381.
– Ilstedt, U., Malmer, A., Verbeeten, E. and Murdiyarso, D., 2007. The effect of afforestation on water infiltration in the tropics: a systematic review and meta-analysis. Forest ecology and management, 251(1-2): 45-51. 10.1016/j.foreco.2007.06.014
– Jafari, M., Rasouli, B. and Erfanzade, R., 2005. An Investigation of the Effects of Planted Species, *Haloxylon Atriplex-Tamarix* along Tehran-Qom Freeway on Soil Properties. Iranian Journal of Natural Resources (Not Publish), 58(4) (In Persian)
– Jalili, A. and Najafi Tireh Shabankareh, K., 2012. Effects of *Prosopis juliflora* (SW.) DC on some physical and chemical soil properties. Iranian Journal of Range and Desert Research, 19(3): 406-420. doi: 10.22092/ijrdr.2012.3078 (In Persian)
– Kamiri, H.W., Choge, S.K. and Becker, M., 2024. Management Strategies of Prosopis juliflora in Eastern Africa: What Works Where? Diversity: 16 (4): 251. DOI: 10.3390/d16040251.
– Khosravani, P., Moosavi, A.A. and Baghernejad, M., 2021. Spatial variations of soil penetration resistance and shear strength and the effect of land use type and physiographic unit on these characteristics. Iranian Journal of Soil and Water Research, 52(4):1041-1057. DOI: 10.22059/ijswr.2021.314779.668820 (In

- Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S. and Dean, L.A. 1954. Estimation of Available Phosphorous in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate; U.S. Department of Agriculture: Washington, D.C., USDA Circ. 939.
- Ordibehesht, M., Shirvany, A., Matinizadeh, M., Ravanbakhsh, H. and Tavakoli Neko, H., 2023. Evaluation of the chemical factors, Carbon storage and biodiversity indicators in two species of *Haloxylon ammodendron* and *Tamarix hispida* in Qom province. Iranian journal of forest and rangelands protection research, 21 (2): 282-267. DOI: 10.22092/ijfrpr.2023.362667.1585 (In Persian)
- Parvizi, Y., Gerami, Z. and Arabkhedri, M., 2024. Indicators of soil structure stability and soil permeability affected by soil management and protection operations in Rezin watershed of Kermanshah Province. Watershed Engineering and Management, 16(2): 201-223. DOI: 10.22092/ijwmse.2023.362440.2023 (In Persian)
- Rasouli, B., 2004. Investigating the Effect of Planting *Haloxylon*, *Atriplex*, and *Tamarix* Species on Soil Physicochemical Properties. Master's Thesis in Range Management, Tarbiat Modares University, 162 pages (In Persian)
- Raziei, T., Daneshkar Arasteh, P. and Saghafian, B., 2005. Annual Rainfall Trend Analysis in Arid and Semi-arid Regions of Central and Eastern Iran. Journal of Water and Wastewater; Ab va Fazilab (in persian), 16(2): 73-81 (In Persian)
- Research Institute of Forests and Rangelands. (2017). Report of the comprehensive study on the dust hotspot of Khuzestan, The first phase: Dust hotspot in the south and southeast of Ahvaz, 394 pages. (In Persian)
- Rhoades, J.D., 1982. Cation Exchanges Capacity. In: Page, A.L., Buxton, R.H. and Miller Keeney, D.R., Eds., Methods of Soil Analysis, Am Soc Agron, Madison, 149-158.
- Sadatinejad, J., Zarepour, H., Ghazavi, R. and Vali, A.A., 2012. Influence of Wind break -trees on the soil's physical and chemical properties, humidity and erosion in arid regions (case study: semi-arid lands of Aaran and Bidgol). Environmental erosion reaserches, 2(5): 53-62. DOI: https://sid.ir/paper/223072/en (In Persian)
- Sadeq, M.A., Abido, M.S., Salih, A.A. and Alkhuzai, J.A., 2020. The effects of mesquite (*Prosopis juliflora*) on soils and plant communities in the deserted rangelands of Bahrain. International Journal of Forestry Research, 2020 (1): 8810765. DOI: https://doi.org/10.1155/2020/8810765
- Schollenberger, C.A., 1927. rapid approximate method for determining soil organic matter. Soil Science. 24 (1): 65-68.
- Shabani, M., Darvishan, S.H. and Soleimani, K., 2019. Investigating the Effects of Land Use Changes on Temporal-Spatial Patterns of Land Surface Temperature and Heat Islands; A Case Study: Saqqez County. Geography and Environmental Planning, 30(1): 37-54. DOI:10.22108/gep.2019.115781.1127 (In Persian)
- Shiferaw, W., Demissew, S., Bekele, T., Aynekulu, E. and Pitroff, W., 2021. Invasion of *Prosopis juliflora* and its effects on soil physicochemical properties in Afar region, Northeast Ethiopia,International Soil and Water Conservation Research, 9(4): 631-638.DOI: https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.04.003.
- Taghavi Parsa, M.H. and Ahmadi, S., 2022. Investigation of the effect of natural windbreaks on flowing sandy soils and determining the type of optimal windbreak using the method (DBA) (Case study of Sistan and Baluchestan province). Amirkabir Journal of Civil Engineering, 54(9):3603 3616.DOI:10.22060/ceej.2022.19420.7168 (In Persian)
- Zare, A., Hakimzadeh, M.A. and Karimian, A.A., 2021. Determining Successful Methods of *Haloxylon Aphyllum* Iljin Planting in Desert and its Effect on Improving of Vegetation and Soil Characteristics (Case Study: Dosangi, Meybod). Desert Management, 9(1): 67-80. DOI: 10.22034/jdmal.2021.244521 (In Persian)