

Research Paper

Woody species ranking in the Nejdareh Reserve (Urmia, Iran) from an ecosystem services perspectiveAmir Ghanidel Ghahremanloo¹, Ahmad Alijanpour^{*2}, Samira Sasanifar³ and Esmaeil Sheidai-Karkaj⁴

1- MSc of Forestry, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, I. R. Iran. (amirghanidelys@gmail.com)

2,*- (Corresponding author) Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, I. R. Iran. (a.alijanpour@urmia.ac.ir)

3- PhD of Forestry, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, I. R. Iran. (s.sasanifar@yahoo.com)

4- Associate Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, I. R. Iran. (e.sheidai@urmia.ac.ir)

Received: 30 April 2023

Accepted: 17 October 2024

Extended Abstract

Background and Objective: Understanding the functional role of woody species in natural ecosystems is essential for evaluating ecosystem service production and achieving sustainable management. In forest ecosystems, there is a dynamic interaction between two key components: trees and soil. While tree growth and productivity are influenced by soil characteristics, the type and quantity of organic matter and nutrients returned by trees also play a significant role in shaping soil properties. This study examined three species—Montpellier maple (*Acer monspessulanum*), azarole hawthorn (*Crataegus azarollus*), and wild pistachio (*Pistacia atlantica*)—with respect to their quantitative traits (diameter at breast height, collar diameter, height, and number of shoots), qualitative traits (health status and origin), and their effects on selected soil properties (pH and electrical conductivity), as well as key regulatory (soil carbon sequestration, soil water holding capacity) and supporting (soil nutrient content) ecosystem services.

Material and Methods: In the study area, 30 individuals of each species were selected using fixed-count plot sampling. Selected trees were required to have a single, distinct main trunk, crowns isolated from neighboring trees, and be in healthy condition with no visible signs of disease, wounds, or decline. If the required number of individuals was not achieved along a sampling transect, an additional randomly oriented transect was established 50 meters away, following the dominant slope direction. For each selected tree, quantitative traits—including diameter at breast height, collar diameter, tree height, number of shoots, and crown diameter—along with qualitative traits such as origin, health condition, and stem angle, were measured and recorded. Soil samples were collected from beneath the canopy of 10 randomly selected trees per species, taken from a depth of 0–20 cm. Additionally, an undisturbed soil core was extracted from the same depth to determine soil water holding capacity. The analyzed soil parameters included pH, electrical conductivity (EC), available phosphorus, available nitrogen, available potassium, and organic carbon.

Results: Analysis of the quantitative characteristics revealed significant differences in the mean number of shoots ($P = 0.04$), crown diameter ($P = 0.00$), and tree height ($P = 0.00$) among the three

studied species. Additionally, soil properties beneath the tree canopies showed significant differences in pH ($P = 0.01$) and EC ($P = 0.00$). Regarding regulatory services, soil carbon sequestration and water holding capacity differed significantly among the species. Likewise, for supporting services, significant differences were observed in the mean concentrations of available nitrogen and potassium. The highest average organic carbon content was recorded in the soil beneath *A. monspessulanum*, while the greatest water holding capacity was observed in the soil beneath *P. atlantica*. Furthermore, the soils under *A. monspessulanum* had the highest levels of available nitrogen and potassium.

Conclusion: The results of this study highlight that different tree species exert distinct and significant influences on litter quality and the physical, chemical, and biological properties of the soil. Among the species studied, *A. monspessulanum*, with its higher average quantitative values (number of shoots, crown diameter, and height), contributed most to ecosystem services related to nutrient cycling and soil carbon sequestration. Meanwhile, *Pistacia atlantica* demonstrated the highest soil water holding capacity. Overall, species ranking indicated that *A. monspessulanum* was better adapted to the environmental conditions of the study area and provided superior ecosystem services compared to the other two species.

Keywords: ranking, quantitative indicators, regulating services, supporting services, ordination analysis.

How to Cite This Article: Ghanidel Ghahremanloo, A., Alijanpour, A., Sasanifar, S., and Sheidai-Karkaj, E. (2025). Ranking of wood species in the Nejadreh Reservoir of Urmia from the point of view of some ecosystem services. Forest Research and Development, 11(1), 67-86. DOI: [10.30466/jfrd.2023.54692.1667](https://doi.org/10.30466/jfrd.2023.54692.1667)



Copyright ©2024 Ghanidel Ghahremanloo et al. Published by Urmia University.

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), 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.

رتبه‌بندی گونه‌های چوبی در ذخیره‌گاه نژدره (ارومیه، ایران) از منظر خدمات بوم‌سازگان

امیر غنی‌دل قهرمانلو^۱، احمد علیجانپور^{۲*}، سمیرا ساسانی‌فر^۳ و اسماعیل شیدای کرکج^۴

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. (amirghanidelys@gmail.com)

۲- استاد، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. (a.alijanpour@urmia.ac.ir)

۳- دانش آموخته دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. (s.sasanifar@yahoo.com)

۴- دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. (e.sheidai@urmia.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۰۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۱۰

چکیده

مقدمه و هدف: شناخت عملکرد گونه‌های چوبی در بوم‌سازگان‌های طبیعی نقشی کلیدی در ارزیابی میزان تولید خدمات اکوسیستمی و دستیابی به مدیریت پایدار ایفا می‌کند. در اکوسیستم‌های جنگلی، میان دو مؤلفه اصلی یعنی درختان و خاک، روابط متقابل وجود دارد؛ به گونه‌ای که رشد و تولید درختان به ویژگی‌های خاک وابسته است و در مقابل، نوع و مقدار بازگشت مواد آلی و عناصر غذایی حاصل از آن‌ها نیز بر ویژگی‌های خاک تأثیرگذار است. در این مطالعه، سه گونه افرا کیکم (*Acer monspessulanum*)، زالزالک (*Crataegus azarollus*) و بنه (*Pistacia atlantica*) از جنبه شاخص‌های کمی (قطر برابر سینه، قطر یقه، ارتفاع، تعداد جست)، شاخص‌های کیفی (سلامت و مبدأ درخت) و اثر آن‌ها بر برخی ویژگی‌های خاک (اسیدیته و هدایت الکتریکی) و نیز شاخص‌هایی از خدمات تنظیمی (ترسیب کربن خاک، ظرفیت نگهداری آب خاک) و حمایتی (عناصر غذایی خاک) مورد بررسی قرار گرفتند.

مواد و روش‌ها: برای اجرای این پژوهش، در منطقه مورد مطالعه با استفاده از خط‌نمونه دارای تعداد درخت ثابت، ۳۰ پایه از هر یک از گونه‌های افرا کیکم، زالزالک و بنه انتخاب شدند. در انتخاب پایه‌ها، شرایطی همچون داشتن تنه اصلی مشخص، فاصله سایه و تاج درخت با درختان مجاور و سلامت کامل بدون آثار بیماری، زخم یا ضعف لحاظ شد. در صورت تکمیل نشدن تعداد مورد نیاز در یک مسیر، مسیر دیگری با جهت و نقطه شروع مشخص و به فاصله ۵۰ متر در جهت شیب غالب انتخاب و نمونه‌برداری ادامه یافت. از درختان انتخاب‌شده، مشخصه‌های کمی شامل قطر برابر سینه، قطر یقه، ارتفاع، تعداد جست و قطر تاج و نیز شاخص‌های کیفی شامل مبدأ، سلامت و زاویه تنه اندازه‌گیری و ثبت شد. همچنین برای نمونه‌برداری از خاک، از زیر تاج ۱۰ پایه به صورت تصادفی از هر گونه، نمونه خاک از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متر برداشت

شد. علاوه بر این، یک نمونه سیلندر خاک از همین عمق برای سنجش ظرفیت نگهداری آب برداشت گردید. شاخص‌های اندازه‌گیری شده برای نمونه‌های خاک شامل اسیدیته، هدایت الکتریکی، فسفر قابل جذب، نیتروژن قابل جذب، پتاسیم قابل جذب و کربن آلی بود.

یافته‌ها: نتایج حاصل از بررسی شاخص‌های کمی نشان داد که میانگین تعداد جست ($P=0.04$)، قطر تاج ($P=0.00$) و ارتفاع درخت ($P=0.00$) بین گونه‌های مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری دارند. همچنین مقایسه ویژگی‌های خاک زیر تاج این سه گونه نشان داد که میزان اسیدیته ($P=0.01$) و هدایت الکتریکی ($P=0.00$) نیز به‌طور معنی‌داری متفاوت هستند. در بخش خدمات تنظیمی، میزان ترسیب کربن و ظرفیت نگهداری آب خاک و در بخش خدمات حمایتی، میانگین نیتروژن و پتاسیم قابل جذب خاک تفاوت معنی‌داری میان گونه‌ها نشان داد. بیشترین مقدار کربن آلی خاک زیر تاج مربوط به گونه افرا کیکم و بیشترین ظرفیت نگهداری آب مربوط به خاک زیر تاج گونه بنه بود. همچنین خاک زیر تاج افرا کیکم بیشترین مقدار نیتروژن و پتاسیم قابل جذب را داشت.

نتیجه‌گیری: یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که گونه‌های مختلف درختی تأثیر متفاوت و قابل توجهی بر کیفیت لاشبرگ و ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک دارند. گونه افرا کیکم با داشتن بالاترین میانگین شاخص‌های کمی (تعداد جست، قطر تاج و ارتفاع)، بیشترین میزان خدمات اکوسیستمی مربوط به چرخه عناصر غذایی و ترسیب کربن خاک را فراهم کرده است. همچنین بالاترین مقدار ظرفیت نگهداری آب خاک مربوط به گونه بنه بود. در مجموع، نتایج رتبه‌بندی نشان داد که گونه افرا کیکم سازگاری بیشتری با شرایط محیطی منطقه داشته و در ارائه خدمات اکوسیستمی نسبت به دو گونه دیگر عملکرد مطلوب‌تری دارد.

واژه‌های کلیدی: رتبه‌بندی، شاخص‌های کمی، خدمات تنظیمی، خدمات حمایتی، آنالیز رسته‌بندی.

مقدمه

بوم‌سازگان‌های جنگلی مجموعه‌ای خدمات بوم‌سازگان را فراهم می‌کند که این خدمات برای ایجاد رفاه بشری در کره زمین نقش بسیار حیاتی دارند (Tiemann, 2022). این منافع می‌تواند شامل غذا، آب، چوب، ارزش‌های فرهنگی و دیگر درآمدهایی باشد که از مدیریت بوم‌سازگان به‌دست می‌آید (MEA, 2005; De Groot et al., 2010). خدمات بوم‌سازگان به چهار دسته خدمات تنظیمی (Regulating services)، حمایتی (Supporting services)، تأمین‌کننده (Provisioning services) و فرهنگی (Cultural services) تقسیم‌بندی شده است (Wallace, 2007). امروزه به‌دلیل افزایش گازهای گلخانه‌ای و نگرانی‌های جهانی در رابطه با آینده محیط زیست، ارزش و اهمیت پژوهش‌ها در حوزه خدمات بوم‌سازگان دوجندان شده است.

در بوم‌سازگان‌های جنگلی، بین دو عامل درختان و خاک به‌عنوان مهم‌ترین عناصر این سامانه پیچیده، تأثیرات متقابل وجود دارد و همان‌طور که رشد و تولید درختان به ویژگی‌های خاک ارتباط دارد، مقدار و نوع برگشت مواد آلی و عناصر غذایی نیز در ویژگی‌های مختلف خاک، مؤثر است. هر گونه درختی می‌تواند تا حدود ۱۰ متر خاک اطراف خود را تحت تأثیر قرار دهد (Koch, 2014). در واقع گیاهان نه تنها از بستر خاکی که بر آن روئیده‌اند بهره می‌گیرند، بلکه سبب ارتقای کیفی و حاصلخیزی آن نیز می‌شوند. یکی از مهم‌ترین بخش‌های تأثیرپذیر بوم‌سازگان که تحت تأثیر نوع گونه‌های چوبی قرار می‌گیرد، خدمات تولیدشده توسط آن بوم‌سازگان است. ترسیب کربن خاک، ظرفیت نگهداری آب خاک، تغییرات عناصر غذایی و دیگر مشخصه‌های شیمیایی و فیزیکی خاک همگی به‌طور

مستقیم تحت تأثیر گونه‌های گیاهی رویش‌یافته بر روی خاک است. بررسی نوع تأثیرات گونه‌های مختلف بر خدمات تولیدشده از هر بوم‌سازگان می‌تواند راه‌گشای برنامه‌های مدیریتی مناسب برای حفظ و افزایش توان زیستگاه باشد (Ma et al. 2023).

پژوهش‌های محدودی در ارتباط با تأثیر گونه‌های درختی بر شاخص‌های خدمات اکوسیستمی جنگل‌های زاگرس انجام یافته است که به برخی موارد مرتبط اشاره می‌شود. (Karimian and Heshmati 2018) با ارزیابی تأثیر گونه‌های چوبی (کنار و کنارک) بر شاخص‌های سطح خاک در مراتع قشلاقی در استان کهگیلویه و بویراحمد بیان کردند که پوشش‌های آمیخته درخت و درختچه (کنار و کنارک)، موجب افزایش سطح پایداری خاک می‌شوند. (khorshidi et al. 2020) در پژوهشی با عنوان اثر گونه درختی بر ذخیره کربن آلی و نیتروژن کل خاک در یک جنگل آمیخته زاگرس مرکزی بیان داشتند، بسته به نوع گونه درختی، محتوای کربن آلی خاک یک جنگل شاخص زاگرس، چه در سطح و چه در عمق به‌طور معنی‌داری تغییر می‌کند. (Khazani et al. 2022) تأثیر تاج‌پوشش درختان جنگلی بر تنوع گونه‌های مرتعی زیرآشکوب را در جنگل‌های نژدره در شهر ارومیه در استان آذربایجان غربی بررسی کرده و به این نتیجه رسیده‌اند که نوع درختان بیشتر از عامل جهت دامنه، مقدار تغییرپذیری شاخص‌های تنوع را تعیین می‌کند و از این‌رو در چنین مناطقی جهت دامنه می‌تواند در انتخاب رویشگاه‌های مناسب احیایی نقش کمتری در تصمیم‌گیری‌ها داشته باشد. (Motamedi et al. 2018) در بررسی ویژگی‌های بوم‌شناختی و ریخت‌شناختی ارمک (*Ephedra procera*)، در مراتع کوهستانی ارومیه، نشان دادند ویژگی‌های ریخت‌شناختی این گونه و نیز ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در رویشگاه‌های مختلف

تفاوت معنی داری دارند. نتایج رابطه رگرسیون خطی بین تولید علوفه *E. procera* با مشخصات ریخت‌شناختی آن بیان‌کننده وجود رابطه معنی دار بین تولید علوفه با تعداد جست هستند. نتایج بررسی روابط پراکنش پوشش گیاهی با عوامل محیطی نشان دادند اثر متغیرهای محیطی بر پوشش گیاهی معنی دار است. بر این اساس، متغیرهای شیب، دما، جهت جغرافیایی، تخلخل، درصد شن، درصد سنگ‌ریزه، ارتفاع از سطح دریا، وزن مخصوص ظاهری و هدایت الکتریکی، عوامل مؤثر بر پراکنش *E. procera* هستند. (Saedpanah et al. (2022) با بررسی تأثیر گونه‌های درختی بر ذخیره کربن در زیست‌توده و خاک در پارک جنگلی توس نوذر در سنج، بیان کردند که نتایج پژوهش، بر تأثیر نوع گونه درختان در مقدار تجمع کربن دلالت دارد. بررسی منابع نشان می‌دهد که عوامل محیطی بر عملکرد گونه‌های مختلف گیاهی و درختی تأثیرگذار است. در پژوهش‌هایی در خارج از کشور van Oijen et al. (2005) در تحقیقی تحت‌عنوان اثرات ترکیب گونه‌های درختی بر ویژگی‌های لایه لاشبرگ بیان کردند گونه‌های درختی از طریق ماهیت فیزیولوژیکی خود، تأثیر زیادی بر ویژگی‌های هوموس دارند. (Chen et al. (2018) در پژوهشی با بررسی تأثیر برخی عوامل محیطی بر مقدار ترسیب کربن خاک بیان کرده‌اند که افزایش تنوع گونه‌های درختی به افزایش توان ترسیب کربن خاک کمک می‌کند. (Timo (2018) در پژوهشی تحت‌عنوان تأثیر ترکیب گونه‌ها بر خدمات اکوسیستمی در جنگل‌های شمالی اروپا، با بررسی پیامدهای مدیریت بلندمدت جنگل با توده‌های خالص سوزنی برگ و مقایسه با توده‌های مخلوط پهن‌برگ بیان کردند که در صورت نبود خسارت‌های طبیعی، توده‌هایی جنگلی سوزنی‌برگ مقدار بیشتری از ترسیب کربن خاک را ارائه می‌دهند. امروزه پژوهش خدمات

بوم‌سازگان‌های طبیعی و تأثیرپذیری آنها از شرایط مختلف بوم‌سازگان، از موضوعات مهم و به‌روز است و بسیاری امیدوارند که پیشرفت و گسترش ارزیابی خدمات اکوسیستمی، سبب حفاظت و مدیریت بهینه جنگل‌ها خواهد شد.

استان آذربایجان غربی در شمال غرب ایران از عرصه‌های جنگلی به مساحت ۱۰۱ هزار هکتار برخوردار است (Khazani et al., 2022) و ذخیره‌گاه نژدره شهر ارومیه با گونه‌های مختلف چوبی و علفی در آن واقع شده است. با توجه به وسعت کم ذخیره‌گاه‌های جنگلی در شمال غرب کشور و اهمیت حفظ و پایداری زیستگاه‌های موجود، شناخت رفتار و تأثیر گونه‌های مختلف بر این شاخص‌ها و سطح خدمات بوم‌سازگان ضروری است. تاکنون در منطقه مورد بررسی هیچ پژوهشی اثر گونه‌های چوبی بر روی خاک تحت تاج‌پوشش از نظر برخی خدمات اکوسیستمی و سپس رتبه‌بندی آنها را مورد بررسی قرار نداده است. از این رو، هدف این پژوهش رتبه‌بندی گونه‌های چوبی یادشده در رابطه با سه شاخص ترسیب کربن، تنظیم آب و چرخه عناصر غذایی از دسته خدمات تنظیمی و حمایتی در منطقه مورد بررسی است. در نهایت به این سؤال که آیا بین گونه‌های مختلف از نظر برخی شاخص‌های خدمات تنظیمی و حمایتی بوم‌سازگان تفاوت معنی دار وجود دارد یا خیر؟ پاسخ داده می‌شود.

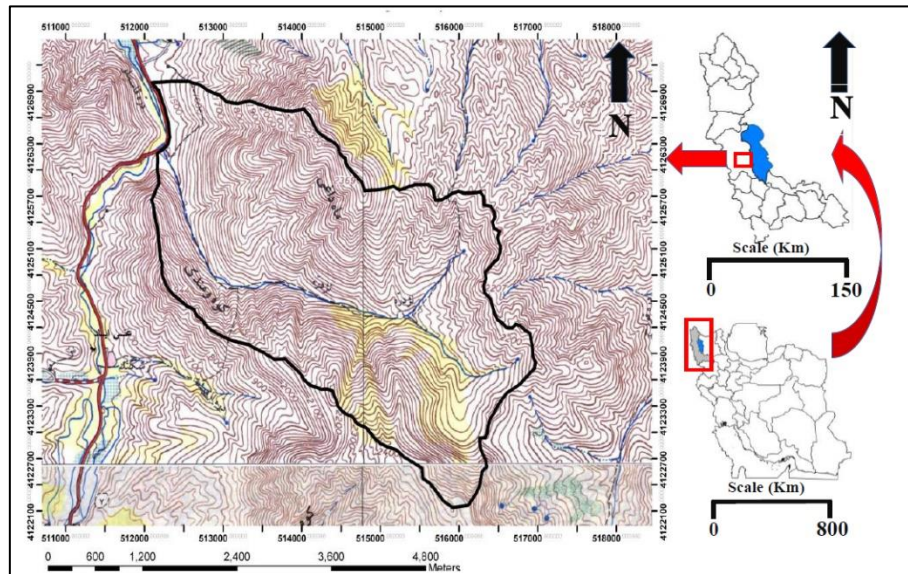
مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

ذخیره‌گاه نژدره در ۳۰ کیلومتری شهر ارومیه با مساحت ۱۰۰۰ هکتار واقع شده و از نظر توپوگرافی به‌صورت یک دره با دو دامنه شمالی و جنوبی مجاور آن است که از پائین‌دست حوزه تا ارتفاعات میانی، در آن پوشش درختی حضور دارد. این منطقه در ادامه و امتداد پهنه

متر است. آب و هوای منطقه مورد بررسی بر اساس کلیموگرام آمبرژه، نیمه‌خشک سرد است (Mahmoudi et al., 2015). میانگین ده ساله بارش سالیانه ۳۵۰ میلی‌متر و میانگین ده ساله دمای سالانه ۱۶/۴ درجه سانتی‌گراد است (Khazani et al., 2022).

رویشی زاگرس قرار دارد و از نظر پوشش گیاهی شباهت‌های زیادی با جنگل‌های زاگرس دارد (Khazani et al., 2022). این حوزه از نظر توپوگرافی، خاک و پوشش گیاهی نماینده سطح وسیعی از بوم-سازگان‌های طبیعی در منطقه زاگرس شمالی است. دامنه ارتفاع از سطح دریا این حوزه از ۱۵۲۵ تا ۲۲۰۸



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد بررسی (ایران، استان آذربایجان غربی، ذخیره‌گاه نژدره)

Figure 1. Geographical location of the study area (Iran, West Azarbaijan Province, Nejdareh Reservoir)

و سپس جنگل‌گردشی اولیه انجام شد. با توجه به شکل فیزیوگرافی منطقه، یک خط‌نمونه در جهت خطوط تراز با طول متغیر و تعداد درخت ثابت از هر گونه، از ابتدای منطقه در آزمون مشخص پیاده شد. تعداد ۳۰ پایه از هر گونه که بخشی از تاج یا تنه آن‌ها با خط‌نمونه برخورد داشت، به‌عنوان نمونه انتخاب و مشخصه‌های کمی و کیفی پایه مانند، قطر برابرسینه (قطر برابرسینه پایه اصلی با استفاده از متر نواری)، قطر یقه (قطر یقه پایه اصلی با استفاده از متر نواری)، قطر بزرگ و کوچک تاج (اندازه‌گیری با استفاده از متر نواری)، ارتفاع کل درخت (با استفاده از ژالون (به‌دلیل قد کوتاه پایه‌ها)، ارتفاع تاج (با استفاده از ژالون)، تعداد جست (شمارش

جمع‌آوری داده‌ها

مهم‌ترین گونه‌های درختی ذخیره‌گاه نژدره گونه‌های زالزالک (*Crataegus azarollus*)، افرا کیکم (*Acer monspessulanum* L. و پسته وحشی (*Pistacia atlantica* Desf. و بادام کوهی (*Amygdalus communis* L. هستند. با توجه به پژوهش‌های قبلی انجام‌شده (Khazani et al. 2022)، سه گونه اصلی زالزالک، افرا و بنه برای بررسی در این پژوهش انتخاب شدند. برای جمع‌آوری اطلاعات از منطقه مورد بررسی، ابتدا منطقه در نرم‌افزار Google Earth مورد بررسی قرار گرفت (بررسی شکل کلی منطقه و تعیین مسیرهای احتمالی پیاده کردن خط نمونه‌ها و دیگر اطلاعات کلی)

تعداد جست برای هر پایه)، نوع گونه، وضعیت سلامت (در دو دسته سالم و ناسالم)، زاویه تنه (در دو دسته قائم و مایل) و مبدأ پایه‌ها (دانه‌زاد یا شاخه‌زاد) (به صورت مشاهده‌ای) مورد اندازه‌گیری و ثبت قرار گرفتند.

در رابطه با انتخاب پایه‌ها از گونه‌های مورد نظر، قابل ذکر است پایه‌هایی انتخاب شدند که: الف) در بین جست‌های موجود تنه اصلی واحد و مشخصی داشته باشند، ب) تاج و سایه پایه انتخاب شده از تاج و سایه درختان مجاور فاصله داشته باشد و ج) درخت سالم بوده و آثار ضعف، زخم و یا بیماری نداشته باشد. در صورتی که برای ثبت اطلاعات، تعداد مورد نظر از هر گونه در مسیر تکمیل نشد، مسیر تصادفی دیگری با نقطه شروع و آزمون مشخص در راستای خطوط تراز با فاصله ۵۰ متر (فاصله ۵۰ متر در جهت شیب غالب) از خط‌نمونه قبلی پیموده شد (Tarighat and Koch, 2018). با استفاده از داده‌های ثبت شده از گونه‌های مورد بررسی، برخی مشخصه‌های کمی و کیفی پایه‌ها مانند میانگین قطر برابر سینه، قطر یقه، میانگین ارتفاع کل، میانگین ارتفاع تاج، میانگین قطر تاج و میانگین تعداد جست برای هر گونه محاسبه شد.

برای برداشت نمونه خاک، از بین پایه‌های انتخاب شده، تعداد ۱۰ پایه برای هر گونه به طور تصادفی انتخاب و از زیر تاج پوشش درخت، نمونه خاک و سیلندر جمع‌آوری شد. به این منظور زیر تاج پوشش هر گونه (فاصله مابین مرز تاج پوشش و تنه درخت) تعداد چهار نقطه در چهار جهت اصلی (شمال، جنوب، شرق، غرب) مشخص و نمونه خاک از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری برداشت شد. در آخر با ترکیب نمونه‌های خاک، یک نمونه خاک مرکب دو کیلوگرمی برای هر پایه منتخب جمع‌آوری شد. برای برداشت نمونه سیلندر نیز از محوطه زیر تاج پوشش درخت، در حد فاصل بین مرز تاج پوشش و تنه اصلی درخت از یک قسمت

دست‌نخورده نمونه سیلندر به عمق ۲۰ سانتی‌متر تهیه و برداشت شد (Mahmoudi et al. 2020). در آخر با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده، خدمات تنظیمی با دو شاخص (تنظیم دی‌اکسیدکربن خاک و تنظیم آب) و خدمات حمایتی با یک شاخص (عناصر غذایی خاک) و ویژگی‌های کمی و کیفی پایه‌ها برای گونه‌های مورد بررسی برآورد شد. درصد کربن آلی خاک، ظرفیت نگهداری آب خاک با استفاده از روش استوانه فلزی (Hamapour Gorabjiri et al. 2011)، نیتروژن، فسفر و پتاسیم با استفاده از روش‌های معمول آزمایشگاهی محاسبه شدند (Nelson and Sommers, 1996) (Jafari haghghi et al. 2012). با استفاده از اطلاعات به دست آمده از آزمایش‌های خاک و با در دست داشتن وزن مخصوص ظاهری خاک شاخص خدمات تنظیمی (ترسیب کربن) و شاخص خدمات حمایتی (عناصر غذایی خاک) به تن در هکتار برای هر گونه محاسبه شدند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای تحلیل داده‌ها ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف اسمیرنوف بررسی شده و مقایسه میانگین شاخص‌های خدماتی و مشخصات کمی بین سه گونه مورد بررسی با استفاده از آزمون ANOVA در نرم‌افزار SPSS 24 انجام شد. همچنین برای مقایسه میانگین مشخصات کیفی بین سه گونه مورد بررسی از آزمون کای اسکور در نرم‌افزار SPSS 24 استفاده شد. برای تعیین خطی و غیرخطی بودن تغییرات مربوط به ماتریس پاسخ که در بررسی حاضر شاخص‌های خدمات بوم‌سازگان است، از آنالیز DCA در نرم‌افزار CANOCO 4.5 استفاده شد. در آخر با بررسی متوسط گرادیان حاصل از آنالیز DCA، برای بررسی ارتباط بین مشخصه‌های کمی گونه‌های مورد بررسی با شاخص‌های خدماتی مورد پژوهش، از آنالیز رج‌بندی افزونگی

(RDA) به‌عنوان روش خطی در نرم‌افزار CANOCO نتایج مربوط به مقایسه میانگین شاخص‌های کمی برای هر سه گونه مورد بررسی در منطقه در جدول ۱ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد میانگین هر سه شاخص قطر تاج، تعداد جست و ارتفاع درخت در گونه افرا بیشتر از گونه‌های دیگر است.

نتایج

جدول ۱- میانگین مشخصه‌های کمی سه گونه مورد بررسی

Table 1. Average quantitative characteristics of the three studied species

ارتفاع (متر) Height (m)		تعداد جست Number of sprout		قطر تاج (متر) Crown diameter (m)		قطر یقه (سانتی-متر) Basal diameter (cm)		قطر برابر سینه (سانتی-متر) DBH (cm)		گونه Species
انحراف میانگین Mean Sd		انحراف میانگین Mean Sd		انحراف میانگین Mean Sd		انحراف میانگین Mean Sd		انحراف میانگین Mean Sd		
0.92	3.89 ^a	5.01	9.25 ^a	0.81	3.16 ^a	4.53	14.46 ^a	4.33	9.1 ^a	افرا <i>Acer monspessulanum</i>
0.90	3.08 ^b	4.35	6.33 ^b	1.25	2.41 ^b	7.79	13.36 ^a	4.42	7.46 ^a	بنه <i>Pistacia atlantica</i>
0.90	3.39 ^b	4.68	7.75 ^{ab}	1	3.13 ^a	5.97	14.1 ^a	3.82	7.32 ^a	زالزالک <i>Crataegus azarollus</i>

حروف متفاوت نشان دهنده وجود تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان ۵ درصد.

Different letters indicate a significant difference at the 5% confidence level.

همچنین مشاهده می‌شود در هر سه گونه درصد پایه-های شاخه‌زاد بیشتر است.

نتایج مربوط به تجزیه واریانس یک‌طرفه شاخص-های کمی مورد بررسی تحت ۳ گونه افرا، بنه و زالزالک در جدول ۳ ارائه شده است. مشاهده می‌شود که میانگین شاخص‌های تعداد جست، قطر تاج و ارتفاع درخت بین ۳ گونه افرا، زالزالک و بنه تفاوت معنی‌داری دارند.

نتایج مربوط به مقایسه میانگین شاخص‌های کیفی برای هر سه گونه مورد بررسی در منطقه در جدول ۲ ارائه شده است (با توجه به اینکه ۱۰۰ درصد پایه‌ها در هر سه گونه سالم و قائم هستند، آزمون کای اسکور برای این شاخص‌ها انجام نشد). با توجه به جدول ۲ مشاهده می‌شود بین گونه‌های مورد بررسی از نظر دانه-زادی و شاخه‌زادی تفاوت معنی‌داری وجود ندارد.

جدول ۲- میانگین مشخصه‌های کیفی سه گونه مورد بررسی

Table 2. Average qualitative characteristics of the three studied species

آزمون کای اسکور برای مشخصه مبدأ Chi square test for origin		زاویه تنه		کیفیت		مبدأ		گونه Species
		Trunk degree		Quality		Origin		
		مایل Bent	قائم Right	ناسالم Unhealthy	سالم Healthy	شاخه‌زاد Coppice	دانه‌زاد High forest	
1.07	مربع کای Chi square	0	100	0	100	93.3	6.7	افرا <i>Acer monspessulanum</i>
2	درجه آزادی Df	0	100	0	100	90	10	بنه <i>Pistacia atlantica</i>
0.58 ^{ns}	Sig.	0	100	0	100	96.7	3.3	زالزالک <i>Crataegus azarollus</i>

^{ns} عدم تفاوت معنی‌دار^{ns} no significant difference

جدول ۳- تجزیه واریانس یک‌طرفه شاخص‌های کمی مورد بررسی بین سه گونه مورد بررسی

Table 3. One-way analysis of variance of quantitative indicators between the three studied species

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	Sig.	منبع تغییرات
بین گروه‌ها	53.35	2	26.67	1.51	0.22 ^{ns}	Source of variation
Between groups						
داخل گروه‌ها	1535.63	87	17.65			قطر برابر سینه (سانتی‌متر)
Within groups						DBH (cm)
کل	1588.98	89				
Total						
بین گروه‌ها	18.82	2	9.41	0.24	0.78 ^{ns}	Source of variation
Between groups						
داخل گروه‌ها	3395.13	87	39.02			قطر یقه (سانتی‌متر)
Within groups						Basal diameter (cm)
کل	3413.95	89				
Total						
بین گروه‌ها	116.99	2	58.50	2.65	0.04*	Source of variation
Between groups						
داخل گروه‌ها	1786.56	81	22.05			تعداد جست
Within groups						Number of sprouts
کل	1903.56	83				
Total						

*: تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان ۵٪، ns: عدم تفاوت معنی‌دار.

*: Significant difference at one percent confidence level, **: Significant difference at 5% confidence level, ns: no significant difference.

Continued Table 3.

Sig.	F	میانگین مربعات Mean of square	درجه آزادی DF	مجموع مربعات Sum of squares	منبع تغییرات Source of variation
0/00**	4.94	5.35	2	10.71	بین گروه‌ها Between groups
		1.08	87	94.17	داخل گروه‌ها Within groups
			89	104.88	کل Total
					Crown diameter (m)
0.00**	6.12	5.07	2	10.14	بین گروه‌ها Between groups
		0.82	87	72.07	داخل گروه‌ها Within groups
			89	82.22	کل Total
					ارتفاع (متر) Height (m)

*: تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان یک درصد، **: تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان ۵ درصد، ns: عدم تفاوت معنی‌دار.

*: Significant difference at one percent confidence level, **: Significant difference at 5% confidence level, ns: no significant difference.

نتایج مربوط به تجزیه واریانس یک‌طرفه شاخص -
 های خاک مورد بررسی تحت سه گونه افرا، بنه و
 زالزالک در جدول ۴ ارائه شده است. با توجه به نتایج
 جدول ۴ مشاهده می‌شود که میانگین شاخص‌های
 اسیدیته، هدایت الکتریکی، پتاسیم، نیتروژن، کربن و
 ظرفیت نگهداری آب خاک بین خاک زیر تاج‌پوشش
 سه گونه افرا، زالزالک و بنه تفاوت معنی‌داری دارند.

جدول ۴- تجزیه واریانس یک‌طرفه شاخص‌های خاک مورد بررسی بین سه گونه مورد بررسی

Table 4. One-way variance analysis of studied soil indices between the three studied species

Sig.	F	میانگین مربعات Mean of square	درجه آزادی df	مجموع مربعات Sum of squares	منبع تغییرات Source of variation
0.01*	5.00	0.06	2	0.13	بین گروه‌ها Between groups
		0.01	27	0.36	داخل گروه‌ها Within groups
			29	0.49	کل Total
					اسیدیته pH

*: تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان یک درصد، **: تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان ۵ درصد، ns: عدم تفاوت معنی‌دار.

*: Significant difference at one percent confidence level, **: Significant difference at 5% confidence level, ns: no significant difference.

ادامه جدول ۴.

Continued Table 4.

Sig.	F	میانگین مربعات Mean of square	درجه آزادی df	مجموع مربعات Sum of squares	منبع تغییرات Source of variation
0.00**	14.14	0.21	2	0.42	بین گروه‌ها Between groups
		0.01	27	0.40	داخل گروه‌ها Within groups
			29	0.83	کل Total
0.04*	3.18	2.03	2	4.06	بین گروه‌ها Between groups
		0.63	27	17.20	داخل گروه‌ها Within groups
			29	21.27	کل Total
0.00**	6.19	181.20	2	362.41	بین گروه‌ها Between groups
		29.23	27	789.37	داخل گروه‌ها Within groups
			29	1151.79	کل Total
0.27 ^{ns}	1.36	0.004	2	0.009	بین گروه‌ها Between groups
		0.003	27	0.085	داخل گروه‌ها Within groups
			29	0.094	کل Total
0.01*	5.15	11601.80	2	23203.61	بین گروه‌ها Between groups
		2251.13	27	60780.51	داخل گروه‌ها Within groups
			29	83984.13	کل Total

*: تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان یک درصد، **: تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان ۵ درصد، ns: عدم تفاوت معنی‌دار.

*: Significant difference at one percent confidence level, **: Significant difference at 5% confidence level, ns: no significant difference.

ادامهٔ جدول ۴.

Continued Table 4.

Sig.	F	میانگین مربعات Mean of square	درجه آزادی df	مجموع مربعات Sum of squares	منبع تغییرات Source of variation
0.00**	16.53	592.87	2	1185.75	بین گروه‌ها Between groups
		35.86	27	968.26	داخل گروه‌ها Within groups
			29	2154.01	کل Total

*: تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان یک درصد، **: تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان ۵٪، ns: عدم تفاوت معنی‌دار.

*: Significant difference at one percent confidence level, **: Significant difference at 5% confidence level, ns: no significant difference.

نتایج مربوط به مقایسه میانگین شاخص‌های اسیدیته خاک در گونه‌های بنه و زالزالک بیشتر از گونه افرا بوده و میانگین هدایت الکتریکی خاک در گونه‌های زالزالک و افرا بیشتر از گونه بنه است. نتایج نشان می‌دهد مقدار شاخص معنی‌دار خاک بین سه گونه مورد بررسی در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین شاخص‌های خاک بین سه گونه مورد بررسی

Table 5. The results of the comparison of average soil indices between the three studied species

گونه Species	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC (dS/m)
افرا <i>Acer monspessulanum</i>	7.38 ^b	0.56 ^a
بنه <i>Pistacia atlantica</i>	7.54 ^a	0.35 ^b
زالزالک <i>Crataegus azarollus</i>	7.50 ^a	0.63 ^a

حروف متفاوت نشان دهنده وجود تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان ۵ درصد

Different letters indicate a significant difference at the 5% confidence level

نتایج مربوط به مقایسه میانگین شاخص‌های خدمات تنظیمی و حمایتی معنی‌دار بین سه گونه مورد بررسی در جدول ۶ ارائه شده است. در رابطه با شاخص‌های خدمات تنظیمی، میانگین شاخص ترسیب کربن خاک در گونه افرا و میانگین شاخص ظرفیت نگهداری آب خاک در گونه بنه بیشترین مقدار را دارا است. در رابطه با شاخص‌های خدمات حمایتی مشاهده می‌شود مقدار شاخص‌های نیتروژن در گونه افرا و پتاسیم نیز در گونه‌های افرا و زالزالک بیشتر از گونه بنه است.

جدول ۶- نتایج مقایسه میانگین شاخص‌های خدمات تنظیمی و حمایتی بین سه گونه مورد بررسی

Table 6. The results of comparing the average indicators of regulating and supporting services between the three studied species

خدمات حمایتی Supporting services		خدمات تنظیمی Regulation services		گونه Species
پتاسیم (تن در هکتار) Potassium (tons per hectare)	نیتروژن (تن در هکتار) Nitrogen (tons per hectare)	ظرفیت نگهداری آب خاک (درصد) Soil water holding capacity (Percent)	ترسیب کربن خاک (تن در هکتار) Soil carbon sequestration (tons per hectare)	
1.91 ^a	13.57 ^a	65.51 ^b	124.55 ^a	افرا <i>Acer monspessulanum</i>
1.11 ^b	5.39 ^b	73.88 ^a	56.96 ^b	بنه <i>Pistacia atlantica</i>
1.87 ^a	7.43 ^b	58.50 ^c	83.37 ^{ab}	زالزالک <i>Crataegus azarollus</i>

حروف متفاوت نشان دهنده وجود تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد.

Different letters indicate a significant difference at the 5% confidence level.

نتایج آنالیز DCA (جدول ۷) نشان داد متوسط طول گرادیان هر یک از محورها کمتر از ۳ است، از این رو برای بررسی ارتباط بین متغیرهای پاسخ (خدمات بوم‌سازگان) و متغیرهای مستقل (مشخصه‌های کمی گونه‌های مورد بررسی) از روش آماری RDA به عنوان روش خطی استفاده شد.

جدول ۷- نتایج آنالیز تطبیقی قوس‌گیری شده (DCA) بر مبنای دو محور

Table 7. Results of DCA based on two axes

محور Axe	طول گرادیان Gradient length	مقدار ویژه Special amount	درصد واریانس تجمعی Cumulative variance percentage
1	0.38	0.0010	56.56
2	0.22	0.0036	77.29
3	0.15	0.0008	81.71
4	0.14	0.0004	83.79

در شکل ۲ پراکنش گونه‌های مورد بررسی در فضای حاصل از درجه‌بندی شاخص‌های خدمات بوم-سازگان و مشخصه‌های کمی درختان ارائه شده است. با توجه به شکل ۲ مشاهده می‌شود جهت بردار مشخصه-های قطر تاج، ارتفاع درخت، تعداد جست و قطر برابر سینه همسو با حضور گونه افرا بوده و همچنین بیشتر بودن این میانگین‌ها سبب افزایش تولید سطح

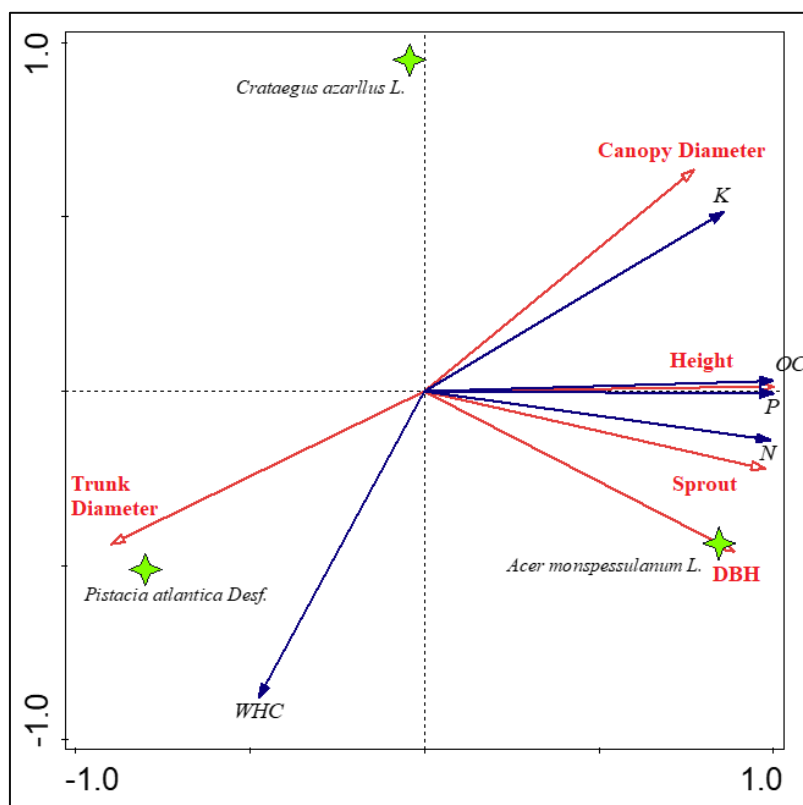
نتایج حاصل از انجام آنالیز خطی افزونگی (RDA) نیز در جدول ۸ ارائه شده است که بر مبنای آن، ارتباط بین شاخص‌های خدمات بوم‌سازگان و مشخصه‌های کمی گونه‌های مورد بررسی است. نتایج حاصل از آنالیز RDA نشان می‌دهد ۹۷/۷۷ درصد واریانس‌ها توسط دو مولفه اول تبیین می‌شود که حد بالایی از تبیین واریانس است.

خدماتی مانند چرخه عناصر غذایی خاک (افزایش تن در هکتار نیتروژن، پتاسیم و فسفر) و ترسیب کربن خاک شده است. همچنین افزایش میانگین قطر یقه و ظرفیت نگهداری آب خاک در رابطه با گونه بنه مشاهده می‌شود. در رابطه با گونه زالزالک نیز چنین نتیجه می‌شود که در رابطه با حضور این گونه شاهد افزایش نسبی میانگین شاخص قطر تاج و افزایش پتاسیم خاک هستیم.

جدول ۸- نتایج حاصل از آنالیز افزونگی (RDA) بر روی شاخص‌های خدمات بوم‌سازگان و مشخصه‌های گونه‌های مورد بررسی

Table 8. The results of the redundancy analysis (RDA) on the indicators of ecosystem services and the characteristics of the studied species

محور	مقدار ویژه	واریانس توجیه شده	درصد تبیین واریانس تجمعی
Axe	Eigen value	Justified variance	Cumulative variance explanation percentage
1	0.1308	83.82	83.82
2	0.0218	13.95	97.77
3	0.0024	1.56	99.33
4	0.0009	0.57	99.90



شکل ۲- نمودار پراکنش شاخص‌های خدمات بوم‌سازگان در ارتباط با مشخصه‌های کمی گونه‌های مورد بررسی (DBH: قطر

برای سینه، Sptout: تعداد جست، Height: ارتفاع، Canopy diameter: قطر تاج و Trunk diameter: قطر یقه)

Figure 2. Distribution chart of ecosystem service indicators in relation to the quantitative characteristics of the studied species. (DBH: diameter at breast height, Sptout: number of banches, Height: tree height, Canopy diameter: crown diameter and Trunk diameter: trunk collar diameter)

بحث

خدمات اکوسیستمی زمینه تعادل فیزیکی، فرهنگی و اقتصادی انسان را با عرصه‌های طبیعی فراهم می‌کنند، طبقه‌بندی و اولویت‌بندی گونه‌های مختلف با توجه به این خدمات، راهنمایی برای سیاست‌گذاری و چگونگی حفاظت و مدیریت منابع طبیعی را روشن خواهد ساخت. اهمیت موضوع جنگل‌ها که نقش مهمی در حفاظت از آب و خاک، سلامت آب و هوا و حفظ تنوع زیستی گیاهی و جانوری دارند در کشوری مانند ایران که دارای سطح محدودی از جنگل‌های طبیعی است، دو چندان است. بنابراین موضوع حفاظت از بوم‌سازگان‌های جنگلی وابسته به شناخت ویژگی‌های مختلف گونه‌های درختی موجود و همچنین اثرگذاری آن‌ها بر دیگر شرایط حاضر در بوم‌سازگان، دارای اهمیت بالایی است. از نتایج چنین پژوهش‌هایی می‌توان در بهبود روش‌های مختلف مدیریت بوم‌سازگان‌های طبیعی به‌ویژه جنگل‌ها بهره‌مند شد. افزایش ذخیره‌سازی کربن و نیتروژن می‌تواند بر حاصلخیزی خاک و باروری بوم‌سازگان تأثیر به‌سزایی داشته باشد. مطابق پژوهش‌های انجام‌شده اجزای بافت خاک نقش بسیار مهمی بر مقدار ذخیره‌سازی کربن و نیتروژن خاک دارند. یافته‌های Varamesh et al. (2011) نشان که بین مقدار انباشتگی کربن آلی و نیتروژن با درصد رس و سیلت خاک رابطه مثبت معنی‌داری وجود دارد. در مقدار کربن موجود در خاک توده‌ها تفاوتی که وجود دارد، به دلیل توانایی‌های متفاوت گونه‌های مختلف و در نتیجه تأثیرشان بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک است (Augusto et al, 2002). بر اساس اصول علمی، یکی از راه‌های مدیریت تنوع گونه‌ای تمرکز بر مدیریت عناصر غذایی خاک و تاج‌پوشش است.

در این پژوهش اثر ۳ گونه افرا، بنه و زالزالک بر

برخی مشخصه‌های خاک و همچنین برخی شاخص‌های خدمات تنظیمی و حمایتی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از بررسی مشخصه‌های کمی گونه‌های مورد بررسی نشان داد، تعداد جست، قطر تاج و ارتفاع درختان گونه افرا بیشتر از دو گونه بنه و زالزالک بوده و در مورد قطر تاج گونه میانگین مربوط به گونه زالزالک بیشتر از گونه بنه است. به نظر می‌رسد شرایط محیطی بوم‌سازگان مورد بررسی مناسب رشد گونه افرا بوده و پایه‌های این گونه با قطر و ارتفاع بیشتری نسبت به سه گونه دیگر حضور داشته است.

نتایج نشان داد که میانگین شاخص pH خاک در گونه‌های بنه و زالزالک بیشتر از گونه افرا است و هدایت الکتریکی در گونه‌های زالزالک و افرا بیشتر از گونه بنه است. تجمع لاشبرگ در زیرآشکوب گونه‌های درختی موجب تغییرات ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک می‌شود (Zheng et al, 2013)، به‌طوری‌که طی فرآیند برگشت و تجزیه زی‌توده و لاشبرگ بر مقدار تنوع عناصر غذایی موجود در خاک تأثیرگذارند (Hojjati and Asadiyan, 2014).

از دلایل مهم افزایش عناصر غذایی و کربن آلی خاک، می‌توان به تجزیه لاشبرگ ورودی به کف توده، افزایش فعالیت‌های بیولوژیکی در خاک، تغییر در خرد اقلیم، افزایش فعالیت‌های ریشه در گردش عناصر و همچنین تأثیر مثبت تاج‌پوشش درختان در کاهش آبخشوی عناصر و فرسایش اشاره کرد. (Hagen Thom et al, 2004). نتایج مربوط به کربن آلی خاک نشان داد مقدار این شاخص در خاک زیر تاج گونه افرا و سپس زالزالک بیشتر از گونه بنه است. بالا بودن مواد آلی در زیر تاج گونه افرا منجر به ایجاد تبادلات شیمیایی و در نتیجه سبب کاهش pH خاک و در نتیجه افزایش اسیدیته در خاک گونه افرا شد. همچنین با توجه به نتایج حاصل

عمل کرده و سبب افزایش توان نگه‌داشت رطوبت خاک و حفظ رطوبت خاک می‌شوند (Varamesh et al, 2011). افزایش مواد آلی در گونه افرا و سپس زالزالک منجر به افزایش رطوبت نگهداری خاک می‌شود. با توجه به اینکه ظرفیت نگهداری آب خاک در گونه بنه بیشتر از دو گونه دیگر است می‌تواند به دلیل وجود صمغ حاصل از این گونه باشد که از طریق ریزش اندام‌های این گونه و در نتیجه انتقال آن به خاک سبب ایجاد همبستگی میان ذرات خاک شده و در نتیجه توان خاک در نگهداری رطوبت را بالا برده باشد.

بررسی نتایج مربوط به شاخص عناصر غذایی خاک از خدمات حمایتی نشان داد که مقدار شاخص پتاسیم در گونه افرا و زالزالک بیشتر از گونه بنه است. پتاسیم برای تشکیل ماده خشک، فتوسنتز، تشدید رشد و توسعه ریشه و سازگاری با تنش‌های محیطی بسیار مهم است (Alizadeh et al, 2022). پژوهشگران بیان کرده‌اند هر چه قدر مقدار کربن آلی در زیر تاج درخت بیشتر باشد ظرفیت تبادل کاتیونی بیشتر شده و در نتیجه سبب تجمع پتاسیم در خاک می‌شود (Hosseini et al, 2012). یکی از دلایل کاهش این عنصر نیز در اثر تخریب و متعاقب آن کاهش تنوع گونه‌ای است که به دلیل کاهش مواد آلی و ظرفیت کم تبادل کاتیونی است (Dahlgren et al, 1994) و (Dahlgren et al, 2003). نتایج نشان داد که مقدار کربن آلی در خاک گونه‌های افرا و زالزالک بیشتر از گونه بنه است. در رابطه با میانگین شاخص نیتروژن مشاهده شد که مقدار این شاخص نیز در گونه افرا و سپس گونه زالزالک بیشترین مقدار است. پژوهشگران در رابطه با تأثیرپذیری وقایع درون خاک در تقابل با درختان بیان کرده‌اند افزایش فعالیت میکروبی در خاک و در نتیجه افزایش نیتروژن خاک منجر به افزایش خدمات ذخیره کربن در خاک می‌شود (Magnani et al., 2007; Janssens et al., 2007).

از مشخصه‌های کمی نتیجه شد که میانگین شاخص‌های تعداد جست، قطر تاج و ارتفاع درختان در گونه افرا بیشتر از گونه‌های دیگر بوده که همین عوامل منجر به افزایش لاشریزی به زیر پای درخت و در نتیجه افزایش مواد آلی در زیر تاج این گونه شد.

نتایج در رابطه با گونه زالزالک نشان داد که این گونه در مقدار اسیدیته ۷/۵ حضور دارد. Khan hasani et al. (2013) در بررسی برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در رویشگاه‌های زالزالک (*Crataegus pontica Koch*) در استان کرمانشاه گزارش دادند این گونه تنها به مقدار pH خاک وابستگی نشان می‌دهد و در خاک‌هایی با pH کمی بالاتر از خنثی حضور دارد و دیگر عوامل مانند سیلت، شن، رس، درصد کربن آلی، هدایت الکتریکی و کربنات کلسیم خاک نقش تعیین‌کننده‌ای در پراکنش این گونه ندارند. چنین گفته می‌شود که مواد آلی موجبات فعالیت هرچه بیشتر جانوران خاکری را فراهم کرده است. این عوامل سبب کاهش pH خاک، آزادسازی یون‌های معدنی، افزایش غلظت املاح محلول و در نتیجه بالارفتن مقدار هدایت الکتریکی خاک می‌شود (Schoenholtz et al., 2000). افزایش pH و کاهش هدایت الکتریکی خاک در پژوهش حاضر در زیر تاج گونه‌های بنه و سپس زالزالک نیز به دلیل کم‌بودن نسبی مواد آلی و کندی تجزیه و برگشت سریع لاشبرگ، به دنبال آن تأخیر در بازگشت کاتیون‌های بازی به خاک توجیه می‌شود.

مقدار شاخص ظرفیت نگهداری آب خاک در خاک زیر تاج گونه بنه بیشتر از گونه افرا و در گونه افرا بیشتر از گونه زالزالک است. در زیر تاج درختان مواد آلی با کاهش تبخیر و تعرق و افزایش نرخ نفوذ آب در خاک، منجر به نگهداشت مقدار قابل توجهی رطوبت در خاک می‌شوند. از طرفی مواد آلی به واسطه افزایش ژل‌های مترشحه میکروارگانیزم‌های خاک به عنوان اسفنج

رابطه با حفظ رطوبت شده که این عامل منجر به بهبود شرایط خاک در راستای ایجاد محیط مناسب برای استقرار زادآوری و حفظ پایداری می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش بیانگر آن است که حضور توده‌های مختلف، تأثیر متفاوت و چشمگیری بر مشخصه‌های کیفی لاشبرگ و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و زیستی خاک دارد که می‌تواند برای سیاست‌گذاران حفاظت جنگل‌ها و کسانی که سعی در احیاء و افزایش توان تولیدی آن‌ها دارند، مفید واقع شود و می‌تواند به‌عنوان ورودی مدل‌های ارزیابی بوم‌سازگان‌ها مورد استفاده واقع شود. علاوه بر موارد ذکرشده نتایج این پژوهش می‌تواند زیربنایی برای پژوهش‌های پیشرفته‌تر در مورد ارزش خدمات بوم‌سازگان و همچنین رابطه بین خدمات مختلف، در این منطقه و دیگر مناطق مشابه ایجاد کند.

(Chen et al., 2013; 2010). نیتروژن به‌عنوان یک شاخص کیفی خاک مطرح است (Reganold et al., 1995) و گیاهان به این عنصر مهم برای رشد و استقرار نیاز دارند. در این پژوهش مشاهده شد که مقدار شاخص نیتروژن در خاک زیر تاج گونه افرا و زالزالک بیشتر از گونه بنه بوده و همین روند در رابطه با شاخص ترسیب کربن نیز مشاهده شد.

آنالیز RDA نشان داد که گونه افرا نسبت به گونه زالزالک و بنه با داشتن مشخصه‌های کمی بهتر منجر به ایجاد سطح بالاتری از خدمات بوم‌سازگان مورد بررسی شده است. به‌نظر می‌رسد در درجه اول گونه افرا با شرایط محیطی منطقه مورد بررسی تطابق بیشتری داشته و توانایی ارائه خدمات بوم‌سازگان بیشتری نسبت به دو گونه دیگر دارد. بنابراین می‌توان از گونه افرا در احیای مناطق جنگلی این منطقه برای افزایش سطح خدمات تولیدشده استفاده کرد. از طرفی در درجه دوم صمغ مترشح از گونه بنه نیز منجر به افزایش توان خاک در

References

- Alizadeh, T.; Matinizadeh, M.; Habashi, H.; Sadeghi, S. M., Comparison of soil biological properties and carbon storage of *Prosopis cineraria* and *Prosopis juliflora* (Case study: Assaluyeh). *Journal of Wood and Forest Science and Technology* **2022**, 29 (1), 89-105. (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.
- Chen, G.; Yang, Y.; Robinson, D., Allocation of gross primary production in forest ecosystems: allometric constraints and environmental responses. *New Phytologist* **2013**, 200 (4), 1176-1186.
- Chen, S.; Wang, W.; Xu, W.; Wang, Y.; Wan, H.; Chen, D.; Tang, Z.; Tang, X.; Zhou, G.; Xie, Z., Plant diversity enhances productivity and soil carbon storage. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **2018**, 115 (16), 4027-4032.
- Dahlgren, R.; Horwath, W.; Tate, K.; Camping, T., Blue oak enhances soil quality in California oak woodlands. *California Agriculture* **2003**, 57 (2), 42-47.
- Dahlgren, R.; Singer, M., Nutrient cycling in managed and non-managed oak woodland-grass ecosystems: Final Report. *Integrated Hardwood Range Management Program, Davis, CA* **1994**.
- DeGroot, R. S.; Alkemade, R.; Braat, L.; Hein, L.; Willemen, L., Challenges in integrating the concept to ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity* **2010**, 7, 260-272.
- Hagen-Thorn, A.; Callesen, I.; Armolaitis, K.; Nihlgård, B., The impact of six European tree species on the chemistry of mineral topsoil in forest plantations on former agricultural land. *Forest ecology and management* **2004**, 195 (3), 373-384.

- Hamapour Gorabjiri, M., Rasolzadeh, A., Ismaili Avari, A (2011) Measuring and comparison of some physical properties of forest floor litters and their effects on water loss, The fourth regional conference of new ideas in agriculture, Islamic Azad University, Khorasgan branch (Isfahan), Faculty of Agriculture, pp128-132. (In Persian)
- Hojjati, M.; Asadiyan, M., Impact of traditional livestock husbandry on forest soil physical, chemical and biological characteristics (A case study: Parchinak forest-Sari). *Water and Soil* **2014**, 28 (4), 778-786. (In Persian)
- Hosseini, V.; Akhavan, R.; Tahmasebi, M., Effect of pistachio (*Pistacia atlantica*) canopy on the spatial distribution of soil chemical characteristics (case study: Sarvabad, Kurdistan). *Iranian Journal of Forest* **2012**, 4 (1), 13-24.
- Jafari Haghighi, M., (2012), methods of soil analysis (sampling and important physical and chemical analysis), Nedaya Zohi Publications, p 236. (In Persian)
- Janssens, I.; Dieleman, W.; Luyssaert, S.; Subke, J.-A.; Reichstein, M.; Ceulemans, R.; Ciais, P.; Dolman, A. J.; Grace, J.; Matteucci, G., Reduction of forest soil respiration in response to nitrogen deposition. *Nature geoscience* **2010**, 3 (5), 315-322.
- Karimian, V.; Heshmati, G., Evaluation effects of Tree and shrub species (*ziziphus spina cristi*, *ziziphus numolaria* and *Astragalus fasciculifolius*) on the Soil Surface Indices in Winter Rangelands (case Study: Khashab Stream Rangelands, Southern Kohgiluyeh and Boyerahmad). *Iranian Journal of Range and Desert Research* **2018**, 24 (4), 730-741. (In Persian)
- Khanhasani, M.; Khodakarami, Y.; Saghebalebi, K.; Safari, H., Impact of soil factors on presence of Hawthorn (*Crataegus pontica* C. Koch) in forests of Kermanshah province. *Journal of Wood and Forest Science and Technology* **2013**, 20 (3), 153-166. (In Persian)
- Khazani, M. A.; Alijanpour, A.; Motamedi, J.; Sheidai Karkaj, E., The effect of the canopy cover of forest trees on the diversity of substratum herbaceous species (Case study: Nejadreh Reserve, Urmia, West Azerbaijan). *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)* **2022**, 35 (2), 418-433. (In Persian)
- Khazani, M. A.; Alijanpour, A.; Motamedi, J.; Sheidai Karkaj, E., The effect of the canopy cover of forest trees on the diversity of substratum herbaceous species (Case study: Nejadreh Reserve, Urmia, West Azerbaijan). *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)* **2022**, 35 (2), 418-433. (In Persian)
- Khorshidi, N.; Soltani, A.; Pajouhesh, M., Effect of tree species on soil organic carbon and total nitrogen in a mixed central Zagrosian forest. *Iranian Journal of Forest* **2020**, 12 (3), 377-390. (In Persian)
- Koch, Y. S. M., Hosseini, (2014) Forest soil ecology book (concepts and algorithms). Academic Jihad Publications, Mazandaran Branch, Mazandaran, 1st edition, p 414. (In Persian)
- Ma, S.; Wang, Q.; Zhang, Y.; Yan, L.; Cui, D.; Xu, L., Effects of natural forest conversion and plantation tree species composition on soil macrofauna communities in Northeast China mountains. *Journal of Forestry Research* **2023**, 1-15.
- Magnani, F.; Mencuccini, M.; Borghetti, M.; Berbigier, P.; Berninger, F.; Delzon, S.; Grelle, A.; Hari, P.; Jarvis, P. G.; Kolari, P., The human footprint in the carbon cycle of temperate and boreal forests. *Nature* **2007**, 447 (7146), 849-851.
- Mahmoodi, M.; Kooch, Y.; Kianmehr, A., Effect of broadleaved tree species on chemical and microbial soil properties in plain forest of Noor. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2020**, 28 (1), 85-96. (In Persian)
- Mahmoodi, M.; Ramezani, E.; Eshaghi-Rad, J.; Rikan, M. H., On the relationship between vegetation cover and physiographic factors in a gallery forest in southern Urmia, NW Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2015**, 23 (2), 279-293. (In Persian)
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA). Ecosystems and Human Wellbeing: Synthesis. Island Press; Washington; DC; 2005.
- Motamedi, J.; Sheidai Karkaj, E.; Ghasemi, F.; Souri, M., Ecological, habitat and morphological characteristics of the Ephedra procera CA Mey. in the mountain rangelands of Urmia. *Iranian Journal of Plant Biology* **2018**, 10 (3), 1-20. (In Persian)
- Nelson, D. W.; Sommers, L. E., Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods*

- of soil analysis: Part 3 Chemical methods* **1996**, 5, 961-1010.
- Reganold, J. P.; Palmer, A. S., Significance of gravimetric versus volumetric measurements of soil quality under biodynamic, conventional, and continuous grass management. *Journal of Soil and Water Conservation* **1995**, 50 (3), 298-305.
- Saedpanah, M.; Ghaderzadeh, H.; Reisi, M.; Moradi, A., The effect of tree species on carbon storage in biomass and soil; Study of Toos Nozar forest park, Sanandaj. *Journal of Natural Environment* **2022**, 75 (3), 527-538.
- Schoenholtz, S. H.; Van Miegroet, H.; Burger, J., A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. *Forest ecology and management* **2000**, 138 (1-3), 335-356.
- Tarighat, F.; 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. (In Persian)
- Tiemann, A.; Ring, I., Towards ecosystem service assessment: Developing biophysical indicators for forest ecosystem services. *Ecological Indicators* **2022**, 137, 108704.
- Timo, P., Effect of species composition on ecosystem services in European boreal forest. *Journal of Forestry Research volume* **2018**, 29, 261-272.
- van Oijen, D.; Feijen, M.; Hommel, P.; den Ouden, J.; de Waal, R., Effects of tree species composition on within-forest distribution of understorey species. *Applied Vegetation Science* **2005**, 8 (2), 155-166.
- Varamesh, S.; Abdi, N., Effect of Afforestation with Broadleaf Species on Carbon Sequestration in Soil of Chitgar Forest Park of Tehran. *Iranian journal of soil research* **2011**, 25 (3), 187-196. (In Persian)
- Wallace, K. J., Classification of ecosystem services: problems and solutions. *Biological conservation* **2007**, 139 (3-4), 235-246.
- Zheng, H.; Wang, Z.; Deng, X.; Herbert, S.; Xing, B., Impacts of adding biochar on nitrogen retention and bioavailability in agricultural soil. *Geoderma* **2013**, 206, 32-39.