Sari Agriculture Sceinces and Natural Resources University

Ecology of Iranian Forests, Vol. 12. Issue. 1, 2024 p: 50-62

OPEN ACCESS

Research Paper

Comparison of Soil Organic Matter in Pure and Mixed Types of Oak in North Zagros (Case Study: Armardeh Baneh Forests)

Saman Maleki[1], Babak Pilehvar[2] and Mohammad Ali Mahmoodi[3]

1- Ph.D. of Forestry and Forest Ecology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khoramabad, Iran
2- Professor, Department of Forestry and Forest Ecology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran, (Corresponding author: babakpilehvar@yahoo.com)
3- Assistant Professor, Department of Soil Science, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

Received: 23 June, 2023 Accepted: 16 January, 2024 Revised: 17 January, 2024 Available Online: 13 March, 2024

Extended Abstract

Background: The spatial patterns of trees, as the main components of a forest ecosystem, depend on their internal characteristics, interspecific relationships, and external environmental and habitat characteristics. The tree species that make up the forest types are among the major factors influencing soil characteristics through the production of litterfall, and they play an essential role in the quantity and quality of soil organic matter and the release of soil nutrients. Organic matter is one of the important parts of the soil, which includes tissue remains of plants and animals, their undecomposed to partially decomposed components, and dead microorganisms. The presence of organic matter, in addition to indicating the soil fertility and quality, is considered a suitable indicator for soil fertility, resulting from the interaction of physical, chemical, and biological processes. By improving soil granulation conditions, organic matter improves soil porosity and permeability; therefore, it has an important role in the stability of the ecosystem. For this reason, examining its various aspects is one of the main needs and the basis of studies on soil quality, carbon cycles, and climate change. Since there is very little information about the organic matter that can be extracted with hot water as a qualitative indicator of soil organic matter in forests, the need to pay attention to better understand the effect of different vegetation types on the soil leads to a more accurate prediction of the effect of species on ecosystems and their optimal management for managers and foresters. The present study investigates soil organic carbon and nitrogen with hot and cold water extraction methods as an indicator of soil material changes in two pure (*Quercus infectoria*) and mixed (*Quercus libani- Quercus infectoria*) types of North Zagros forests (Armardeh Baneh).

Methods: Different forest types were determined using the opinions of forestry experts and statistics in the study area. The forestry characteristics were measured with five random 400 m^2 sample plots in each type. The topsoil of the studied types was collected using 10 mixed samples from a depth of 0-10 cm (after removing the litterfall layer). After transporting the soil samples to the laboratory with plastic bags, the soil samples were passed through a 2 mm sieve and divided into two parts. A part of the sample was immediately exposed to 4 °C to measure the microbial mass of carbon and nitrogen, and a part of the sample was placed in the open air to measure organic carbon and total nitrogen. After measuring the studied variables, the statistical comparison of the average variables in forest types was evaluated using the independent samples t-test, analysis of variance, and their correlations with Pearson's correlation coefficient.

Results: The contents of soil organic carbon and total nitrogen in the pure *Q. infectoria* and *Q. libani-Q. infectoria* types did not show significant differences. Although the amounts of hot and cold water extractable carbon and nitrogen, the microbial carbon, and nitrogen biomass were higher in *Q. libani-Q. infectoria* types, this difference was not significant, except for hot-water extractable carbon. There was a significant correlation between hot-water extractable carbon, microbial biomass of carbon, and cold-water extractable carbon. A significant correlation was also observed between hot-water extractable nitrogen and microbial nitrogen and carbon. Finally, there was a significant correlation between soil nitrogen with microbial biomass carbon and cold-

Copyright ©2024 Maleki et al. Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License which allows users to read, copy, distribute and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

water extractable nitrogen, but the correlation coefficient was lower than that of soil organic carbon with microbial biomass carbon and cold-water extractable carbon.
Conclusion: There is an interaction between trees and soil. The growth and production of trees are related to the soil characteristics; on the other hand, the trees with their leaves and unique characteristics affect the understory soil. Based on the study outcomes, it can be concluded that extractable organic matter with hot water can be used as a sensitive indicator of changes in organic matter quality in forest soils.

Keywords: Hot water extractable organic carbon, Microbial biomass, Pearson's correlation, Soil characteristics

How to Cite This Article: Maleki, S., Pilehvar, B., and Mahmoodi, M. A. (2024). Comparison of Soil Organic Matter in Pure and Mixed Types of Oak in North Zagros (Case Study: Armardeh Baneh Forests). *Ecol Iran For*, 12(1), 50-62. DOI: 10.61186/ifej.12.1.50

مقاله پژوهشی

مقایسه ماده آلی خاک در تیپ‌های خالص و آمیخته بلوط در زاگرس شمالی (مطالعه موردی: جنگل‌های آرمرده بانه)

سامان ملکی[۱]، بابک پیله‌ور[۲] و محمدعلی محمودی[۳]

۱- دانش‌آموخته دکتری جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
۲- استاد، گروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران،
(نویسنده مسوول: babakpilehvar@yahoo.com)
۳- استادیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۴/۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۶ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۰/۲۵ تاریخ انتشار آنلاین: ۱۴۰۲/۱۲/۲۳
صفحه: ۵۰ تا ۶۲

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: گردآمدن درختان به‌عنوان اصلی‌ترین اجزای اکوسیستم جنگل‌ها دارای پراکنش فضایی خاصی بوده و مشخصه‌های رویشگاهی و محیطی نقش به‌سزایی را در این پراکنش دارند. گونه‌های درختی با تشکیل تیپ‌های جنگلی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر ویژگی‌های خاک از طریق تولید لاشبرگ بوده و نقش اساسی در کمیت و کیفیت ماده آلی خاک و آزادسازی عناصر غذایی خاک دارند. ماده آلی یکی از بخش‌های مهم خاک است که شامل بقایای بافتی گیاهان و جانوران، اجزا تجزیه نشده تا جزئی تجزیه شده آنان و ریزجاندارن مرده می‌باشد. وجود ماده آلی علاوه بر اینکه نشان دهنده حاصلخیزی و کیفیت خاک است، شاخص مناسبی برای باروری خاک به‌شمار می‌رود که حاصل برهمکنش فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی است. ماده آلی با بهبود شرایط خاکدانه‌سازی، وضعیت تخلخل و نفوذپذیری خاک را بهبود می‌بخشد؛ بنابراین نقش مهمی در پایداری اکوسیستم داشته و به‌همین دلیل بررسی جنبه‌های مختلف آن یکی از ضرورت‌ها و پایه‌های اصلی در مطالعات کیفیت خاک، چرخه کربن و تغییرات اقلیم است. از آنجایی که اطلاعات بسیار کمی درباره ماده آلی قابل استخراج با آب گرم به عنوان یک شاخص کیفی از ماده آلی خاک در جنگل‌ها وجود دارد و لزوم توجه به شناخت بهتر اثر پوشش‌های گیاهی مختلف بر خاک موجب پیش‌بینی دقیق‌تر اثر گونه‌ها بر بوم‌سازگان و مدیریت بهینه آنها برای مدیران و جنگل‌شناسان می‌شود. پژوهش حاضر به بررسی کربن آلی و نیتروژن خاک با روش‌های استخراج با آب گرم و سرد به‌عنوان شاخصی از تغییرات ماده آلی خاک در دو تیپ مازودار خالص و آمیخته ویول- مازودار در زاگرس شمالی (جنگل‌های آرمرده بانه) می‌پردازد.

مواد و روش‌ها: تعیین تیپ‌های جنگلی مختلف با استفاده از نظرات متخصصین جنگل‌شناسی و همچنین با استفاده از آماربرداری در منطقه مورد مطالعه صورت گرفت. در مطالعه حاضر ویژگی‌های جنگل‌شناسی با ۵ قطعه نمونه ۴۰۰ مترمربعی تصادفی در هر تیپ اندازه‌گیری شد. همچنین خاک زیراشکوب تیپ‌های مورد مطالعه با استفاده از ۱۰ نمونه ترکیبی از عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری (پس از کنار زدن لایه لاشبرگ) برداشت شد. پس از انتقال نمونه خاک‌ها با کیسه‌های پلاستیکی به آزمایشگاه، نمونه خاک‌ها از الک دو میلی‌متری رد و به دو قسمت تقسیم شدند. یک قسمت از نمونه‌ها بلافاصله به دمای ۴ درجه سانتی‌گراد جهت اندازه‌گیری زی‌توده میکروبی کربن و نیتروژن منتقل شد، قسمتی از نمونه‌ها نیز در هوای آزاد جهت اندازه‌گیری کربن آلی و نیتروژن کل قرار گرفتند. پس از اندازه‌گیری متغیرهای مورد مطالعه، مقایسه آماری متغیرها در تیپ‌های جنگلی با استفاده از آزمون t مستقل و همبستگی آنها با ضریب همبستگی پیرسون مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین میزان کربن آلی خاک و نیتروژن کل خاک بین تیپ‌های مازودار خالص و ویول- مازودار مشاهده نشد. هر چند که مقادیر کربن آلی و نیتروژن قابل استخراج با گرم و سرد، زی‌توده میکروبی کربن و نیتروژن در تیپ ویول- مازودار بیشتر بود؛ اما این تفاوت به غیر از کربن آلی قابل استخراج با آب سرد معنی‌دار نشد. بین کربن قابل استخراج با آب گرم با زی‌توده میکروبی کربن و کربن قابل استخراج با آب سرد همبستگی معنی‌داری وجود داشت. همچنین بین نیتروژن قابل استخراج با آب گرم با زی‌توده میکروبی نیتروژن و کربن همبستگی معنی‌دار مشاهده شد. در نهایت همبستگی معنی‌داری بین نیتروژن خاک با زی‌توده میکروبی و نیتروژن قابل استخراج با آب سرد وجود داشت، اما ضریب همبستگی کمتر از همبستگی کربن آلی خاک با زی‌توده میکروبی کربن و کربن قابل استخراج با آب سرد بود.

نتیجه‌گیری: در بین درختان و خاک تأثیر متقابل وجود دارد. همان‌طور که رشد و تولید درختان به خصوصیات خاک ارتباط دارد، از طرف دیگر درختان با لاشبرگ و ویژگی‌های منحصربه‌فرد خود بر خاک زیر اشکوب تأثیر می‌گذارند، بر اساس نتایج، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مواد آلی قابل استخراج با آب گرم را می‌توان به‌عنوان یک شاخص حساس از تغییرات کیفیت ماده آلی در خاک‌های جنگلی استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: زی‌توده میکروبی، کربن آلی قابل استخراج با آب گرم، ویژگی‌های خاک، همبستگی پیرسون

مقدمه

گردآمدن درختان به‌عنوان اصلی‌ترین اجزای اکوسیستم جنگل‌ها دارای پراکنش فضایی خاصی بوده و مشخصه‌های رویشگاهی و محیطی نقش بسزایی را در این پراکنش دارند. تیپ جنگلی معمولاً با یک نمای مشخصی از رستنی‌های موجود به نوع خاصی از جنگل اطلاق می‌شود و با ساختار جمعیتی و الگوهای فراوانی و پراکنش گیاهان که مفهوم آن با آمیختگی و ترکیب گونه‌ها قرین است، تعریف می‌شود و به‌عنوان شاخصی برای مقایسه وضعیت اکولوژیک اکوسیستم جنگلی به‌کار گرفته می‌شود (Badehian *et al.*, 2021). این تیپ‌ها در یک منطقه در فرم‌های خالص و آمیخته در مطالعات مختلف دسته‌بندی می‌شوند. جنگل‌های زاگرس خاستگاه چهار گونه‌ی بلوط هستند که زاگرس شمالی بیشتر گونه‌های مازودار (*Quercus infectoria* Olive.)، ویول (*Quercus libani* Olive.) و روبور (*Quercus robur* L.) (در مقیاس کم و تنها در حوالی میرآباد، تکه‌هایی در کردستان و اسکو) را در خود جای داده است. درختان ویول و مازودار از لحاظ ویژگی‌های ریخت‌شناسی و استقرار در محیط تفاوت‌های خاصی با یکدیگر دارند. به این‌صورت که برگ در ویول باریک و نیزه‌ای با قاعده صاف، میوه درشت و پوست تنه صاف می‌باشد و اکثراً دامنه‌های شمالی با خاک‌های با رطوبت زیاد را می‌پسندد. در مقابل برگ مازودار پهن‌تر و با حاشیه کنگره‌دار دارای میوه‌های تقریباً استوانه‌ای و کشیده می‌باشد. تنه دارای شکاف‌های عرضی نامنظم است و نیاز اکولوژیکی آن کمتر از ویول می‌باشد (Naderi shahab,

2016). ماده آلی (Soil organic matter) یکی از بخش‌های مهم خاک است که شامل بقایای بافتی گیاهان و جانوران، اجزا تجزیه نشده تا جزئی تجزیه شده آنان و ریزجاندارن مرده می‌باشد (Edwards & Arancon, 2022). وجود ماده آلی علاوه بر اینکه نشان‌دهنده حاصلخیزی و کیفیت خاک است (Kooch *et al*., 2022)، شاخص مناسبی برای باروری خاک به‌شمار می‌رود که حاصل برهمکنش فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی است. ماده آلی با بهبود شرایط خاکدانه‌سازی، وضعیت تخلخل و نفوذپذیری خاک را بهبود می‌بخشد؛ بنابراین نقش مهمی در پایداری اکوسیستم داشته و به‌همین دلیل بررسی جنبه‌های مختلف آن یکی از ضرورت‌ها و پایه‌های اصلی در مطالعات کیفیت خاک، چرخه کربن و تغییرات اقلیم است (Yang *et al*., 2023). مقدار کربن ناپایدار خاک به‌عنوان یک شاخص حساس به تغییرات ماده آلی خاک شناخته شده است و از روش‌های استخراج با آب سرد و گرم برای تعیین ماده آلی ناپایدار خاک‌ها استفاده می‌شود (Jiang *et al*., 2023). روش استخراج با آب سرد (Cold water extraction) در اواخر دهه ۱۹۸۰ برای تخمین معدنی شدن ماده آلی خاک در علفزارها و خاک‌های جنگلی استفاده شد (Corre *et al*., 1999). روش استخراج با آب گرم (Hot water extraction) نیز توسط برونر و باچلر در سال ۱۹۷۹ برای تخمین معدنی شدن نیتروژن در کشت چغندرقند در اتریش معرفی شد (Bronner & Bachler, 1979). مواد استخراج شده با آب گرم حاوی زی‌توده میکروبی، کربوهیدرات‌های محلول و سایر ترکیبات ساده می‌باشد (Gagnon & Ziadi, 2022). از جمله عوامل متعددی که تغییرات ماده آلی خاک را کنترل می‌کنند، پوشش گیاهی و بقایای ناشی از آن است که به‌عنوان منبع اصلی ماده آلی خاک نقش مستقیمی در ترکیب و تحولات آن دارند (Bayranvand *et al*., 2021). تغییر پوشش گیاهی ممکن است دانه‌های خاک را تغییر دهد و متعاقباً بر ترکیب شیمیایی کربن آلی خاک تأثیرگذار باشد؛ همچنین بر مقدار فنل‌ها و کربوکسیل‌های مشتق شده از لیگنین تأثیر می‌گذارد. تغییرات در ترکیب شیمیایی ماده آلی خاک مرتبط با تغییر پوشش گیاهی ممکن است به الگوهای مختلف معدنی شدن و ورودی‌های کربوهیدرات مشتق شده از گیاه نسبت داده شود (Guo *et al*., 2016). لندگراف و همکاران در مطالعه‌ای بر روی ماده آلی قابل استخراج با آب سرد و گرم به‌عنوان شاخص‌های تجزیه لاشبرگ در خاک‌های جنگلی به این نتیجه رسیدند که سلول‌های رویشی میکروارگانیسم‌ها در استخراج با آب گرم (≤۷۰ درجه سانتی‌گراد) از بین رفته و بسیاری از اجزای زی‌توده میکروبی و همچنین بسیاری از مواد آلی غیر میکروبی استخراج می‌شوند و نسبت به استخراج با آب سرد دارای نرخ تجزیه‌پذیری بسیار بالاتری است (Landgraf *et al*., 2006). چوداک و همکاران طی پژوهشی بیان داشتند که کربن آلی و نیتروژن کل قابل استخراج با آب گرم در خاک‌های جنگلی راش (*Fagus sylvatica*) هیچ اندازه‌گیری بهتری از کربن موجود برای میکروارگانیسم‌های خاک نسبت به کربن آلی و نیتروژن ارائه نمی‌کند، اگرچه مقدار کربن آلی قابل استخراج با آب گرم ارتباط معنی‌داری با زی‌توده میکروبی کربن و نسبت کربن آلی خاک به کل نیتروژن داشت (Chodak *et al*., 2003). همچنین چن و سوو دریافتند که کربن آلی و نیتروژن کل قابل استخراج با آب گرم با کربن آلی کل و نیتروژن نسبت به زی‌توده میکروبی کربن و نیتروژن همبستگی بیشتری دارد (Chen & Xu, 2005).

از آنجایی که اطلاعات بسیار کمی درباره ماده آلی قابل استخراج با آب گرم به‌عنوان یک شاخص کیفی از ماده آلی خاک در جنگل‌ها وجود دارد و لزوم توجه به شناخت بهتر اثر پوشش‌های گیاهی مختلف بر خاک موجب پیش‌بینی دقیق‌تر اثر گونه‌ها بر بوم‌سازگان و مدیریت بهینه آنها برای مدیران و جنگل‌شناسان می‌شود. لذا با توجه ویژگی‌های منحصربه‌فرد مطالعات میکرومرفولوژیک و توجه کم به آن جهت بررسی ماده آلی خاک، در کنار گزارش کمی ویژگی‌های جنگل‌شناسی و خاک منطقه مورد مطالعه این تحقیق در تلاش برای روشن‌تر شدن جنبه‌های جدیدی از تحولات ماده آلی خاک که توسط روش‌های معمول بیوشیمیایی کشف نشده است و در جنگل‌های زاگرس شمالی در آرمرده بانه با توجه به حضور سه گونه‌ی مختلف بلوط که در سطح منطقه تیپ‌های متفاوتی را تشکیل داده‌اند آزمایشات بر روی دو تیپ انتخابی انجام شد. سطح این مطالعه با توجه به تمرکز بر تیپ‌های جنگلی که در منطقه دارای ویژگی‌های زمین‌شناسی و اقلیمی تقریباً برابر می‌باشند تعریف شد. از آنجایی‌که اطلاعات بسیار کمی درباره ماده آلی قابل استخراج با آب گرم به‌عنوان یک شاخص کیفی از ماده آلی خاک در جنگل‌ها وجود دارد و لزوم توجه به شناخت بهتر اثر پوشش‌های گیاهی مختلف بر خاک موجب پیش‌بینی دقیق‌تر اثر گونه‌ها بر بوم‌سازگان و مدیریت بهینه آنها برای مدیران و جنگل‌شناسان می‌شود.

بر اساس نقش‌های مهم ماده آلی خاک در این مطالعه و بررسی مطالعات قبلی در مورد کیفیت ماده آلی خاک، فرضیات ما به این صورت تعریف شدند: (۱) تغییر تیپ‌های جنگلی بر کمیت و کیفیت ماده آلی خاک تأثیر می‌گذارد. (۲) ماده آلی قابل استخراج با آب گرم می‌تواند به‌عنوان شاخص کیفیت ماده آلی خاک در خاک‌های جنگلی استفاده شود؛ بنابراین، اجزای ماده آلی خاک (کربن آلی و نیتروژن قابل استخراج با آب گرم، کربن آلی و نیتروژن قابل استخراج با آب سرد و زی‌توده میکروبی کربن و نیتروژن) برای توصیف کمیت و کیفیت ماده آلی خاک اندازه‌گیری شدند. اهداف این مطالعه عبارت بودند از: (الف) اندازه‌گیری و مقایسه مواد آلی قابل استخراج با آب گرم با زی‌توده میکروبی، ماده آلی قابل استخراج با آب سرد و نسبت آنها به کل کربن آلی و نیتروژن (ب) تأثیر تیپ‌های جنگلی خالص و آمیخته بر کمیت و کیفیت ماده آلی خاک. (ج) ارزیابی اینکه آیا در خاک‌های جنگلی ماده آلی قابل استخراج با آب گرم پتانسیل تبدیل به یک شاخص کیفیت خاک را دارد؟

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

منطقه مورد مطالعه در عرض جغرافیایی ''۴۵'۴۵°۳۵ تا ''۱۵'۵۵°۳۵ شمالی و طول جغرافیایی ''۵۵'۴۰°۴۵ تا

''۴۵°۵۰'۴۵ شرقی در جنگل‌های آرمرده در جنوب غربی شهرستان بانه در استان کردستان قرار دارد. میزان بارندگی سالانه تقریباً ۷۶۰ میلی‌متر و متوسط ارتفاع از سطح دریا ۱۵۵۰ متر است. این منطقه تحت نفوذ دو توده هوایی پرفشار سرد شمال سیبری و توده هوای شرقی مدیترانه می‌باشد و دارای زمستان‌های سرد و طولانی و توام با برف و یخبندان و تابستان‌های معتدل است. نزولات جوی به‌صورت برف در زمستان و باران در اواخر زمستان و اوایل بهار می‌باشد. در طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه بانه دارای اقلیم نیمه‌مرطوب و سرد است. منحنی آمبروترمیک منطقه نشان‌دهنده فصل خشک چهار ماهه است. بیش از ۸۰ درصد پایه‌ها شاخه‌زاد و بقیه دانه‌زاد هستند. بلوط گونه‌ی درختی غالب (۹۴ درصد) در این جنگل‌ها می‌باشد (Valipour *et al.*, 2013). این جنگل‌ها دارای ساختار دو اشکوب که درختان زالزالک در اشکوب دوم قرار دارند و دارای ساختار همسال متقارن و مسن می‌باشند (Valipour *et al.*, 2014). فلور کف تقریبا یکسان و ترکیب اصلی گیاهان کف عبارت‌اند از گراس‌ها یا گندمیان یک یا چندساله مانند انواع فلومیس و پوا و توپلاق و جو و تعدادی از گونه‌های گیاهان خاردار مانند شکرتیغال و کنگر. خاک‌های قهوه‌ای آهکی و خاک‌های جوان از نوع واریزه‌ای لیتوسول و شیست‌های آهکی از عمده خاک‌های این منطقه هستند (Maleki *et al.*, 2022).

روش پژوهش

تعیین تیپ‌های جنگلی مختلف با استفاده از نظرات متخصصین جنگل‌شناسی و همچنین با استفاده از آماربرداری در منطقه مورد مطالعه صورت گرفت و دو تیپ خالص (*Quercus infectoria*) و آمیخته (*Quercus libani-Quercus infectoria*) انتخاب شدند. در هر یک از تیپ‌های موجود تعداد ۵ قطعه نمونه۲۰*۲۰ (۴۰۰) مترمربعی (مجموعاً ۱۰ قطعه نمونه) به‌صورت تصادفی پیاده و آماربرداری شد (Padalia *et al.*, 2022). مشخصه‌های کمی شامل قطر برابرسینه و ارتفاع درخت با استفاده از نوار قطرسنج (سانتی‌متر) و شیب‌سنج سونتو اندازه‌گیری شد. در ادامه تعداد در هکتار و مساحت تاج پوشش در هر یک از تیپ‌های مورد بررسی محاسبه شد (جدول ۱). در هر تیپ جنگلی ۱۰ نمونه خاک به‌روش تصادفی پس از حذف لاشبرگ از عمق ۰–۱۰ سانتی‌متری خاک برداشت گردید (این عمق از خاک در جنگل‌های بلوط بر حسب منابع مختلف (Mohammadi Samani, 2006) بعد از کنار گذاشتن لایه لاشبرگ دارای بیشترین مقدار ماده آلی می‌باشد). نمونه‌برداری با فاصله ۸۰ سانتی‌متری از تنه اصلی درختان انجام و ریشه‌های قابل مشاهده با دست حذف شدند (Busari *et al.*, 2023). پس از انتقال نمونه خاک‌ها با کیسه‌های پلاستیکی به آزمایشگاه، نمونه خاک‌ها از الک دو میلی‌متری رد و به دو قسمت تقسیم شدند. یک قسمت از نمونه‌ها بلافاصله به دمای ۴ درجه سانتی‌گراد جهت اندازه‌گیری زی‌توده میکروبی کربن و نیتروژن منتقل شد، قسمتی از نمونه‌ها نیز در هوای آزاد جهت اندازه‌گیری کربن آلی و نیتروژن کل قرار گرفتند.

جدول ۱– میانگین± اشتباه معیار مشخصه‌های کمی درختان در ارتباط با تیپ‌های مورد بررسی

Table 1. Mean ± standard error quantitative characteristics of trees in relation to the studied types

تیپ‌ها Types		ویژگی‌های جنگل‌شناسی Features of forestry			
		ارتفاع کل درخت (متر) Total height tree (m)	قطر برابر سینه (سانتی‌متر) Diameter at breast height (cm)	مساحت تاج پوشش (مترمربع) Crown canopy (m^2)	تعداد در هکتار Number per hectare
مازودار خالص Pure *infectoria*	مازودار *infectoria*	6.7± 0.10[a]	34± 0.65[a]	11± 0.50[b]	90
	سایر گونه‌ها Other species	5.4± 0.08[b]	25± 0.55[b]	14± 0.32[a]	8
ویول– مازودار *libani-infectoria*	ویول *libani*	6.9± 0.09[a]	37± 0.47[a]	11.5± 0.61[b]	140
	مازودار *infectoria*	6.68± 0.11[a]	35± 0.36[b]	11± 0.60[b]	90
	سایر گونه‌ها Other species	5± 0.08[b]	22± 0.49[c]	12.5± 0.32[a]	12

pHخاک با روش پتانسیومتری و با استفاده از دستگاه pHمتر تعیین گردید (Koković *et al.*, 2022). بافت خاک با استفاده از روش هیدرومتر تعیین شد (Sheldrick *et al.*, 1993). کربن آلی خاک با استفاده از روش تیتراسیون والکلی– بلاک اندازه‌گیری شد (Walkley, 1947). محتوای کل نیتروژن با روش کجلدال ارزیابی شد (Nelson & Sommers, 1980). به‌منظور اندازه‌گیری زی‌توده میکروبی کربن، به‌روش تدخین- استخراج، ابتدا خاک مرطوب با کلروفرم به‌مدت ۲۴ ساعت در درون دسیکاتور تدخین شد. سپس خاک تدخین شده با محلول عصاره‌گیر سولفات پتاسیم نیم‌مولار به‌مدت ۳۰ دقیقه شیک و عصاره‌گیری شد. همین کار با خاک شاهد (تدخین نشده) هم انجام شد. مقدار ۴ میلی‌لیتر از عصاره استخراج شده برداشته و به درون لوله‌های هضم انتقال داده شد. سپس مقدار ۲ میلی‌لیتر پتاسیم دی‌کرومات و ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ به این محلول اضافه شد. پس از آن ۳ قطره از محلول شناساگر اضافه شد و در نهایت با استفاده از فرو آمونیوم سولفات، تیتراسیون نمونه‌ها صورت گرفت. با توجه به تفاوت کربن آلی استخراج شده از خاک نمونه‌ها (تدخین شده) و خاک شاهد (تدخین نشده) مقدار کربن زی‌توده میکروبی خاک برمبنای میلی‌گرم بر کیلوگرم محاسبه شد. جهت اندازه‌گیری زی‌توده میکروبی نیتروژن، به‌روش تدخین– استخراج، نمونه‌های خاک پس از تدخین با کلروفرم با محلول سولفات پتاسیم عصاره‌گیری و عصاره‌ها تا موقع اندازه‌گیری در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. در

نهایت مقدار نیتروژن زی‌توده میکروبی بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد (Witt *et al*., 2000). بـه‌منظور اندازه‌گیری کربن و نیتروژن قابل استخراج بـا آب سـرد مقـدار پـنج گـرم خاک با ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر به‌مدت یک ساعت با سرعت ۳۰ دور بر دقیقه تکان داده شد. سوسپانسیون به‌دست آمده به‌مـدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه تکان داده شد و مقـدار کربن و نیتروژن موجود در عصاره با روش هضم تر اندازه‌گیری شد. برای تعیین کربن و نیتروژن قابل استخراج با آب گرم ۴۰ میلی‌لیتر آب مقطـر بـه حدود پنج گرم خـاک خشـک اضـافه و پـس از تکـان دادن به‌مدت ۱۰ ثانیه در حمام آب گرم با دمای ۸۰ درجه سلسـیوس به‌مدت ۱۶ ساعت قرار گرفـت. پـس از سـانتریفیوژ و عبـور از فیلتر مقدار کربن به‌روش هضم تر اندازه‌گیری شد (Ghani *et al*., 2003).

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل‌های آماری با نرم‌افزارهای Origin Pro و SPSS انجام شد. برای مقایسه ویژگی‌های ماده آلی خاک از آزمون t مستقل استفاده شد. همبستگی پیرسون برای ارزیابی روابط بین کربن و نیتروژن قابل استخراج با آب گرم و سایر بخش‌های ماده آلی و خواص فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج و بحث

مقادیر کربن آلی بین تیپ‌های خالص و آمیخته تفاوت معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۲). این نتیجه همسو با نتایج حق‌وردی و کوچ (Haghverdi & Kooch, 2019) بود. اگرچه وانگ و همکاران به این نتیجه رسیدند که مقدار کربن آلی در تیپ‌های خالص نسبت به آمیخته کمتر است (Silong *et al*., 2000). این نتیجه می‌تواند به‌دلیل یکسان بودن شرایط خاک در عمق سطحی باشد (Foltran & Lamersdorf, 2023). برخلاف نتایج کرمر و همکاران (Cremer *et al*., 2016) نیتروژن خاک در تیپ خالص مازودار نسبت به تیپ ویول- مازودار اختلاف معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۲). با توجه به گزارشات مختلف در مورد نیتروژن در تیپ‌های مختلف در مجموع می‌توان این‌گونه نتیجه‌گیری نمود که تغییرات نیتروژن خاک در تیپ‌های خالص و آمیخته از الگوی خاصی پیروی نمی‌کند (Joshi & Garkoti, 2021). نتایج اسیدیته خاک بین تیپ‌های مورد بررسی اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. اعداد به‌دست آمده با نتایج ملکی و همکاران مطابقت داشت (Maleki *et al*., 2023). مشابه با این نتیجه مونتاگنینی نیز در بررسی ویژگی‌های خاک بین تیپ‌های خالص و آمیخته تفاوت معنی‌داری را در مقدار اسیدیته خاک گزارش نکرد (Montagnini, 2000). بافت خاک در تیپ مازودار خالص لومی- رسی و در تیپ ویول- مازودار رسی بود (جدول ۲) بافت خاک به‌دلیل تفاوت در مقدار سیلت و شن کلاسه آن در لومی- رسی و رسی متفاوت است و تأثیر رس که عامل مهمی بر ماده آلی خاک است تفاوت محسوسی را بین تیپ‌ها نشان نمی‌دهد. در کل برخلاف نتایج پلیز-آلوارز و همکاران ذرات شن و سیلت دارای اختلاف معنی‌داری بودند (Plaza-Álvarez *et al*., 2019). نتایج بافت خاک منطقه با نتایج بایز شریف و همکاران در منطقه بانه همخوانی دارد (Baiz Sharif et al, 2023).

جدول ۲- میانگین (± اشتباه معیار) ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک سطحی در تیپ‌های مازودار خالص و ویول- مازودار
Table 2. Mean (± standard error) physicochemical characteristics of surface soil in Pure *infectoria* and *libani- infectoria*

	مازودار خالص Pure *infectoria*	ویول- مازودار *libani- infectoria*
کربن آلی خاک (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Soil organic C (mg kg^{-1})	6.86±0.51^{a}	7.86±0.56^{a}
نیتروژن خاک (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Soil N (mg kg^{-1})	5.99±0.76^{a}	4.15±0.53^{a}
اسیدیته خاک Soil pH	0.66±0.01^{a}	0.65±0.05^{a}
شن (٪) Sand (٪)	34.8±1.44^{b}	27.8±3.34^{a}
سیلت (٪) Silt (٪)	33.4±3.42^{a}	43±3.04^{b}
رس (٪) Clay (٪)	31.8±2.72^{a}	29.2±3.64^{a}
بافت Texture	لومی- رسی	لومی

حروف متفاوت لاتین نشان دهنده اختلاف معنی‌داری و حروف مشابه نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌داری است.
The different letters indicate significant difference and the same letters indicate non-significant difference.

طبق جدول ۳ در تیپ مازودار خالص کربن آلی قابل استخراج با آب گرم همبستگی معنی‌داری با پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک نشان نداد. کربن قابل استخراج با آب گرم با رس و شن همبستگی منفی را نشان دادند. مطابق با نتایج وانگ و همکاران نیتروژن قابل استخراج با آب گرم با کربن آلی خاک (در سطح ۹۹ درصد) و شن (در سطح ۹۵ درصد) دارای همبستگی معنی‌داری بود (Wang & Wang, 2007). در تیپ ویول- مازودار کربن آلی و نیتروژن قابل استخراج با آب گرم با هیچ‌یک از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک همبستگی معنی‌داری را نشان ندادند (جدول ۳). همچنین کربن آلی قابل استخراج با آب گرم با سیلت همبستگی منفی و نیتروژن قابل استخراج با آب گرم با رس و شن همبستگی منفی را نشان دادند (جدول ۳). مطالعه بارتیمج و همکاران (Woś *et al*., 2022) در مقایسه ماده آلی با سایر ویژگی‌های خاک در تیپ‌های مختلف نشان داد که کربن آلی قابل استخراج با آب گرم با شن همبستگی منفی و با سیلت همبستگی مثبت دارد.

جدول ۳- همبستگی مواد آلی قابل استخراج با آب گرم با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در تیپ‌های مازودار خالص و ویول- مازودار

Table 3. Correlation organic matter extractable with hot water and physical and chemical characteristics of soil in pure *infectoria* and *libani- infectoria*

ویژگی‌های خاک Soil Properties							تیپ‌ها Types
شن (٪) Sand (٪)	سیلت (٪) Silt (٪)	رس (٪) Clay (٪)	اسیدیته خاک Soil pH	نیتروژن خاک Soil N	کربن آلی خاک Soil organic C		
-0.441	0.470	-0.361	0.110	0.377	0.479	کربن آلی قابل استخراج با آب گرم Hot-water extractable C	مازودار خالص Pure *infectoria*
0.582*	-0.015	-0.111	0.088	0.199	0.720**	نیتروژن قابل استخراج با آب گرم Hot-water organic N	
0.274	-0.316	0.274	0.458	0.501	0.345	کربن قابل استخراج با آب گرم Hot-water extractable C	ویول- مازودار *libani- infectoria*
-0.001	0.394	-0.324	0.514	0.306	0.433	نیتروژن قابل استخراج با آب گرم Hot-water extractable N	

*و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح P<0.05 و P<0.01.

*,** Respectively significant at P<0.05 and P<0.01.

مقادیر کربن آلی و نیتروژن قابل استخراج با آب گرم و نیتروژن قابل استخراج با آب سرد در تیپ مازودار خالص و ویول- مازودار تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند (جدول ۴) که با مشاهدات ژو و ژو در استان ژجیانگ مطابقت داشت (Xu & Xu, 2003). همچنین غنی و همکاران (Ghani *et al*., 2003) گزارش کردند که مقدار کربن آلی قابل استخراج با آب گرم در بوته‌زارها بیشتر از مراتع است. در این مطالعه نسبت کربن و نیتروژن قابل استخراج با آب گرم کمتر از مقدار گزارش شده توسط کوداک و همکاران (Chodak *et al*., 2003) در خاک‌های معدنی در عمق ۰-۲۰ سانتی‌متر در جنگل‌های راش بود. اما مقدار کربن آلی قابل استخراج با آب سرد تفاوت معنی‌داری را بین دو تیپ مورد بررسی نشان داد (جدول ۴). این نتیجه همسو با نتایج سینگ و همکاران (Singh *et al*., 2012) بود. زی‌توده میکروبی که حساس‌ترین بخش ماده آلی خاک است، تأثیر بالایی در عملکردهای مختلف خاک دارد (Ge et al., 2011). هرچند که نتایج پژوهش وانگ و همکاران (Wang *et al*., 2005) نشان داد که زی‌توده میکروبی کربن و نیتروژن در خاک مزارع *C. lanceolata* به‌طور قابل‌توجهی کمتر از جنگل‌های پهن‌برگ آمیخته بود. در مطالعه حاضر، مقدار زی‌توده میکروبی کربن و نیتروژن در تیپ خالص مازودار در مقایسه با تیپ ویول- مازودار معنی‌دار نبود (جدول ۴). فعالیت آنزیم‌ها یا pH خاک و ظرفیت تبادل کاتیونی از مهمترین عوامل تأثیرگذار بر فعالیت زی‌توده میکروبی خاک هستند (Devi & Yadava, 2006)، که به‌نظر می‌رسد به‌دلیل یکسان بودن pH در دو تیپ مورد مطالعه مقدار زی‌توده میکروبی کربن و نیتروژن در بین تیپ‌ها فاقد اختلاف معنی‌دار بوده است.

جدول ۴- نتایج مقایسه میانگین‌ها بین کربن و نیتروژن قابل استخراج با آب گرم، کربن و نیتروژن قابل استخراج با آب سرد و زی‌توده میکروبی کربن و نیتروژن خاک سطحی (میانگین± اشتباه معیار) در تیپ‌های مازودار خالص و ویول- مازودار

Table 4. Hot-water extractable Carbon and nitrogen, Cold-water extractable carbon and nitrogen and microbial biomass of carbon and nitrogen surface soil (mean ± standard error) in pure *infectoria* and *libani- infectoria*

مازودار خالص Pure *infectoria*	ویول- مازودار *libani- infectoria*	
588.6±92.64[a]	765.2±64.61[a]	کربن آلی قابل استخراج با آب گرم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Hot-water extractable organic C (mg kg^{-1})
29.126±3.37[a]	35.4±4.69[a]	نیتروژن قابل استخراج با آب گرم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Hot-water extractable total N (mg kg^{-1})
118.3±9.853[b]	181.1±22.94[a]	کربن آلی قابل استخراج با آب سرد (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Cold-water extractable organic C (mg kg^{-1})
6.36±0.58[a]	7.91±1.55[a]	نیتروژن قابل استخراج با آب سرد (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Cold-water extractable total N (mg kg^{-1})
148.19±13.72[a]	161.03±11.17[a]	زی‌توده میکروبی کربن (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Microbial biomass C (mg kg^{-1})
60.72±6.72[a]	69.81±12.94[a]	زی‌توده میکروبی نیتروژن (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Microbial biomass N (mg kg^{-1})

حروف متفاوت لاتین نشان دهنده اختلاف معنی‌داری و حروف مشابه نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌داری است.

The different letters indicate significant difference and the same letters indicate non-significant difference.

نتایج آزمون معنی‌داری بین کربن و نیتروژن قابل استخراج با آب گرم، کربن آلی و نیتروژن با زی‌توده میکروبی کربن و نیتروژن، کربن قابل استخراج با آب سرد و نیتروژن قابل استخراج با آب سرد همبستگی معنی‌داری (در سطح ۹۹ درصد) را نشان دادند (جدول ۵). همبستگی کربن آلی قابل استخراج با آب گرم با زی‌توده میکروبی کربن در تیپ مازودار خالص ۸۲ درصد (شکل ۱ الف) و در تیپ ویول- مازودار ۸۶ درصد بود (شکل ۱ ب). همچنین همبستگی بین کربن آلی قابل استخراج با آب گرم با کربن آلی قابل استخراج با آب سرد به‌ترتیب در تیپ‌های مازودار خالص و ویول- مازودار ۷۶ و ۸۰ درصد بود (شکل ۱ ج و د). همبستگی مربوط به نیتروژن قابل استخراج با آب گرم با زی‌توده میکروبی نیتروژن در تیپ مازودار خالص ۸۳ درصد (شکل ۲ الف) و در تیپ ویول- مازودار ۸۸ درصد بود (شکل ۲ ب). همچنین همبستگی مربوط به نیتروژن قابل استخراج با آب گرم با نیتروژن قابل استخراج با آب سرد در تیپ‌های مازودار خالص و ویول- مازودار به‌ترتیب ۸۵ و ۹۲ درصد بود (شکل ۲ ج و د). این نتایج هم راستا با نتایج وانگ و وانگ (۲۰۰۷) بود و در مجموع ماهیت کلی ماده آلی را نشان می‌دهد.

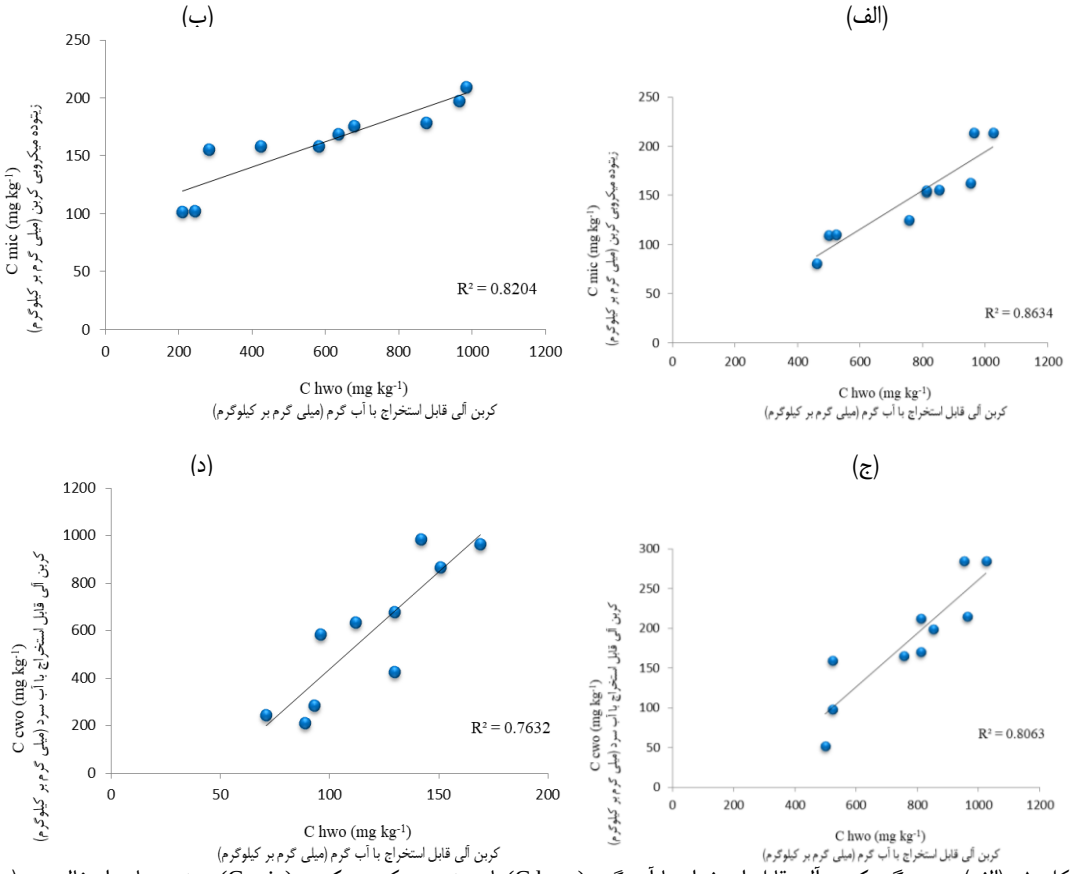
جدول ۵- نتایج آزمون معنی‌داری بین ویژگی‌های ماده آلی خاک

Table 5. The results of the significance test between the characteristics of soil organic matter

نیتروژن قابل استخراج با آب سرد Cold-water extractable N		زیتوده میکروبی نیتروژن Microbial biomass N		کربن آلی قابل استخراج با آب سرد Cold-water extractable C		زیتوده میکروبی کربن Microbial biomass C		
ویول- مازودار Infectoria-Libani	مازودار خالص Pure Infectoria	ویول- مازودار Infectoria-Libani	مازودار خالص Pure Infectoria	ویول- مازودار Infectoria-Libani	مازودار خالص Pure Infectoria	ویول- مازودار Infectoria-Libani	مازودار خالص Pure Infectoria	
				0.000**	0.001**	0.000**	0.001**	کربن آلی قابل استخراج با آب گرم Hot-water extractable C
0.000**	0.000**	0.000**	0.000**					نیتروژن قابل استخراج با آب گرم Hot-water extractable N
				0.007**	0.000**	0.003**	0.006**	کربن آلی خاک Soil organic C
0.001**	0.003**	0.000**	0.001**					نیتروژن خاک Total N

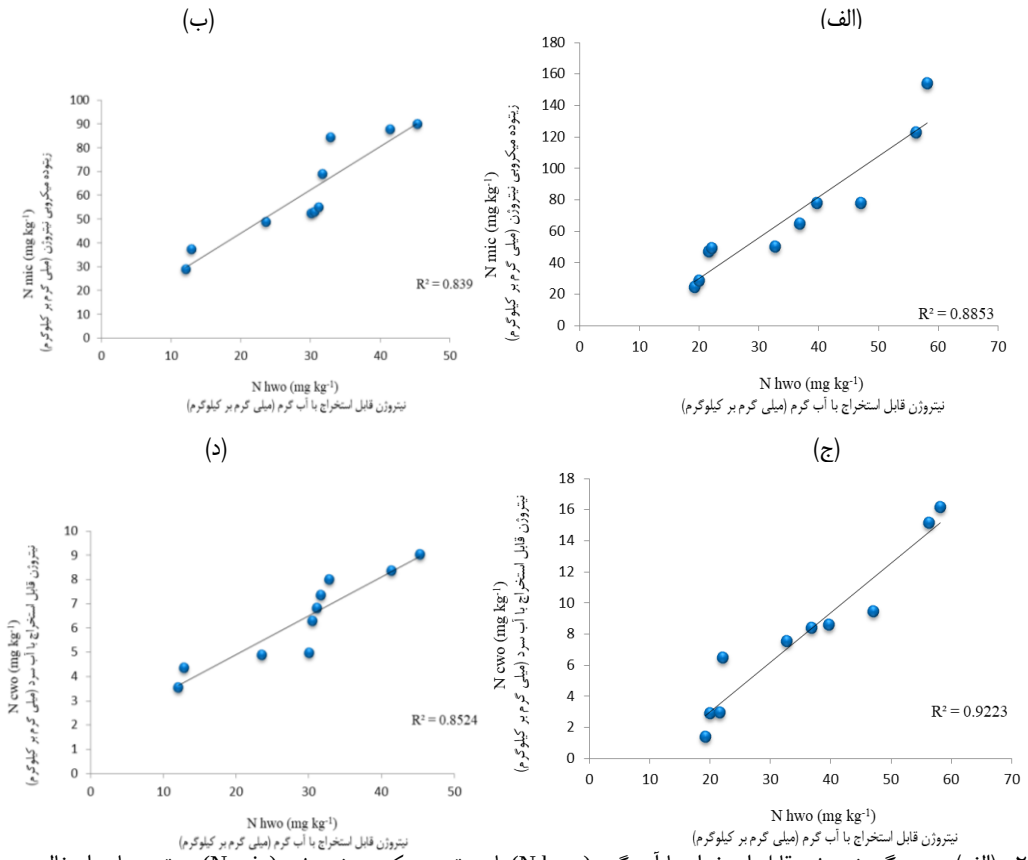
** Significant at the 0.01 level.

** معنی‌دار در سطح ۰/۰۱



شکل ۱- (الف) همبستگی کربن آلی قابل استخراج با آب گرم (C hwo) با زی‌توده میکروبی کربن (C mic) در تیپ مازودار خالص و (ب) تیپ ویول- مازودار- (ج) رابطه کربن آلی قابل استخراج با آب گرم (C hwo) با کربن آلی قابل استخراج با آب سرد (C cwo) در تیپ مازودار خالص و (د) تیپ ویول- مازودار

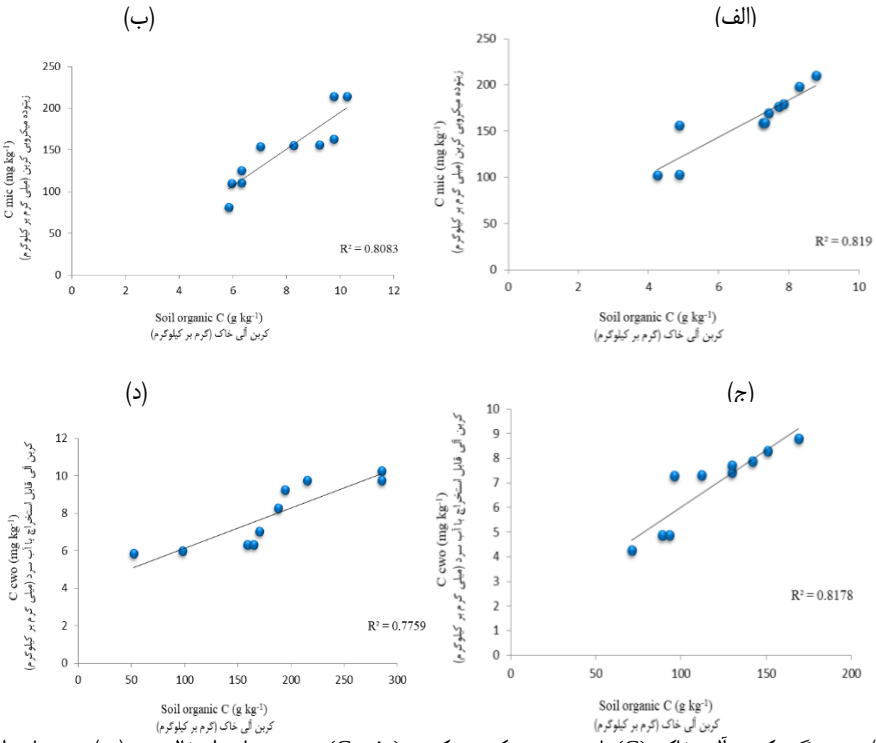
Figure 1. (a) The correlation between hot water extractable carbon (C hwo) and the microbial biomass carbon (C mic) in pure *infectoria* type and (b) *libani- infectoria* types - (c) the correlation of hot water extractable carbon (C hwo) with cold water extractable carbon (C cwo) in pure *infectoria* type and (d) *libani- infectoria* types



شکل ۲- (الف) همبستگی نیتروژن قابل استخراج با آب گرم (N hwo) با زی‌توده میکروبی نیتروژن (N mic) در تیپ مازودار خالص و (ب) تیپ ویول- مازودار- (ج) همبستگی نیتروژن قابل استخراج با آب گرم (N hwo) با نیتروژن قابل استخراج با آب سرد (N cwo) در تیپ مازودار خالص و (د) تیپ ویول - مازودار

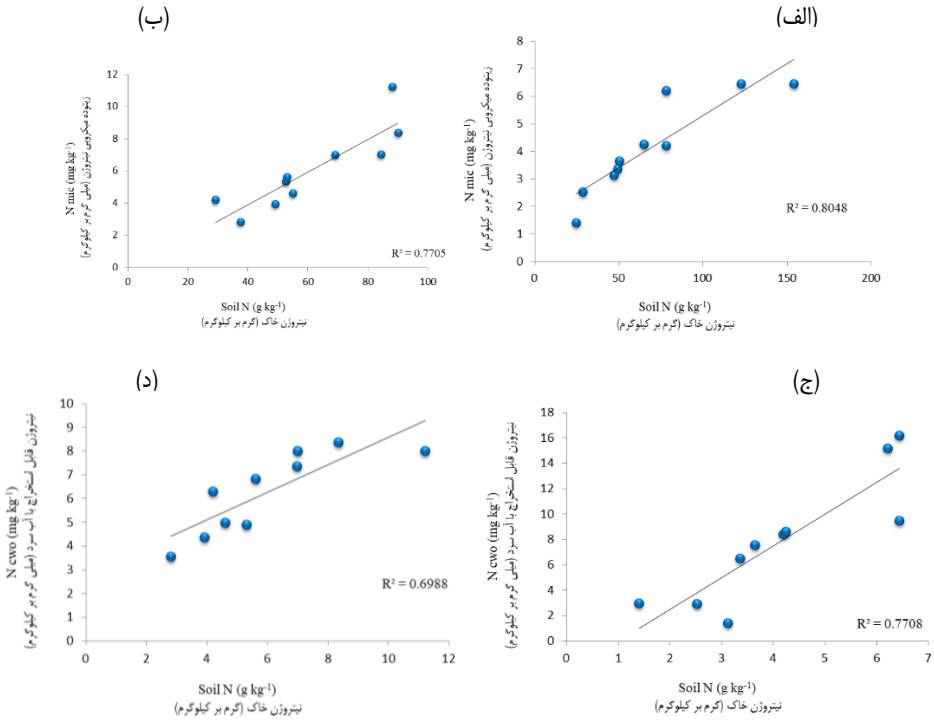
Figure 2. (a) The correlation between hot water extractable nitrogen (N hwo) and the microbial biomass nitrogen (N mic) in pure *infectoria* type and (b) *libani- infectoria* types - (c) the correlation of hot water extractable nitrogen (N hwo) with cold water extractable nitrogen (N cwo) in pure *infectoria* type and (d) *libani- infectoria* types

نتایج همبستگی بین کربن آلی خاک با زی‌توده میکروبی کربن در تیپ مازودار خالص ۸۰ درصد (شکل ۳ الف) و در تیپ ویول- مازودار ۸۱ درصد را نشان داد (شکل ۳ ب). همچنین مقدار همبستگی کربن آلی با کربن قابل استخراج با آب سرد نیز در تیپ ویول- مازودار با مقدار ۸۱ درصد (شکل ۳ ج) بیشتر از تیپ مازودار خالص (۷۷ درصد) بود (شکل ۳ د). در نهایت نتایج مربوط به نیتروژن خاک با زی‌توده میکروبی نیتروژن مقادیر ۷۷ و ۸۰ درصد را به ترتیب در تیپ‌های مازودار خالص و ویول- مازودار نشان داد (شکل ۴ الف و ب). نتایج همبستگی نیتروژن خاک با نیتروژن قابل استخراج با آب سرد نیز برای تیپ مازودار خالص مقادیر ۶۹ درصد و برای تیپ ویول- مازودار ۷۷ درصد را نشان دادند (شکل ۴ ج و د).



شکل ۳- (الف) همبستگی کربن آلی خاک (C) با زی‌توده میکروبی کربن (C mic) در تیپ مازودار خالص و (ب) تیپ مازودار- ویول- (ج) همبستگی کربن آلی خاک (C hwo) با کربن آلی محلول در آب سرد (C cwo) در تیپ مازودار خالص و (د) تیپ مازودار- ویول.

Figure 3. (a) The correlation between soil organic carbon (C) and microbial biomass carbon (C mic) in the pure *infectoria* types and (b) *libani- infectoria* types- (c) The correlation between soil organic carbon (C hwo) and cold water extractable carbon (C cwo) the pure *infectoria* types and (b) *libani- infectoria* types.



شکل ۴- (الف) همبستگی نیتروژن خاک (N) با زی‌توده میکروبی نیتروژن (N mic) در تیپ مازودار خالص و (ب) تیپ ویول- مازودار- (ج) رابطه نیتروژن خاک (N hwo) با نیتروژن قابل استخراج با آب سرد (N cwo) در تیپ مازودار خالص و (د) تیپ ویول- مازودار.

Figure 4. (a) The correlation between soil nitrogen (N) and microbial biomass nitrogen (N mic) in the pure *infectoria* types and (b) *libani- infectoria* types - (c) The correlation between soil nitrogen (N hwo) and cold water extractable nitrogen (N cwo) the pure *infectoria* types and (b) *libani- infectoria* types.

در بین درختان و خاک تأثیر متقابل وجود دارد. همان‌طور که رشد و تولید درختان به خصوصیات خاک ارتباط دارد، از طرف دیگر درختان با لاشبرگ و ویژگی‌های منحصربه‌فرد خود بر خاک زیر اشکوب تأثیر می‌گذارند، در مطالعات مختلف داخلی به اهمیت آمیختگی گونه‌ها بر خاک اشاره شده است (Bayranvand *et al*, 2022: Jafarisarabi *et al*., 2020). اولیایی و همکاران گزارش دادند که درختان بلوط در منطقه یاسوج موجب افزایش معنی‌دار کربن آلی و نیتروژن می‌شوند. محمدی سمانی و همکاران در تحقیقی مقدار رابطه برخی از خصوصیات شیمیایی خاک با چند تیپ درختی را در جنگل‌های مریوان بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که بین تیپ‌های مختلف مقدار کربن و ازت اختلاف معنی‌داری بین تیپ‌ها دارد. در این تحقیق نوع گونه، هوموس و سطح تاج پوشش از مهمترین دلایل بین تیپ‌ها ذکر شده است (Mohammadi Samani, 2006). در بررسی شاخص کیفیت خاک در جنگل‌های آرمرده بانه ملکی و همکاران نتایج متغیری بین تیپ‌های مختلف گزارش کردند (Maleki *et al*., 2023). در رابطه با قسمت‌های مختلف ماده آلی اسپارلینگ و همکاران (Sparling *et al*., 1998) گزارش کردند که محتوای کربن آلی قابل استخراج با آب گرم خاک‌های معدنی تقریباً ۴۳ درصد از زی‌توده میکروبی کربن است. همچنین در تحقیقی چن و ژو (Chen & Xu, 2005) تائید کردند که کربن آلی قابل استخراج با آب گرم و نیتروژن کل تا حدودی از میکروارگانیسم‌های خاک مشتق شده‌اند. نسبت درصد زی‌توده میکروبی کربن به کربن آلی خاک و زی‌توده میکروبی نیتروژن به نیتروژن خاک منعکس‌کننده در دسترس بودن ماده آلی به میکروارگانیسم‌های خاک و بخشی از مواد مقاوم در خاک است و این نسبت‌ها با کاهش غلظت مواد آلی موجود به‌شدت کاهش می‌یابد (Anderson & Domsch, 1986). مواد آلی قابل استخراج با آب سرد در خاک که از لحاظ مواد مولکولی مانند اسیدهای آلی و اسیدهای آمینه نسبتاً فقیر هستند، نقش مهمی در بیوژئوشیمی عناصر غذایی ایفا می‌کنند. کربن آلی قابل استخراج با آب سرد بین تیپ خالص مازودار و ویول- مازودار تفاوت معنی‌داری را نشان داد. نتایج پژوهش پیکون (Peikun, 2005) نشان داد که کربن آلی قابل استخراج با آب سرد در مزارع خالص *C. lanceolata* به‌طور قابل‌توجهی کمتر از جنگل‌های پهن‌برگ همیشه‌سبز است. با این‌حال، ژو و ژو (Xu & Xu, 2003) مشاهده کردند که تفاوت معنی‌داری در کربن آلی قابل استخراج با آب سرد بین توده‌های *C. lanceolata* و جنگل‌های پهن‌برگ همیشه‌سبز وجود ندارد. در فرایند مواد آلی قابل استخراج با آب گرم کربن‌های تجزیه‌پذیر و سایر مواد مغذی حساس نیز استخراج می‌شوند (Ghani *et al*., 2003). در مطالعه حاضر، مواد آلی قابل استخراج با آب گرم با کربن آلی و نیتروژن خاک در هر دو نوع تیپ جنگلی همبستگی مثبت داشتند. برخی مطالعات نیز این همبستگی را گزارش کرده‌اند (Bankó *et al*., 2021). برخی از محققین پیشنهاد کرده‌اند که کربن آلی در حال معدنی شدن با اندوخته‌های قابل دسترس نیتروژن آلی را می‌توان به‌راحتی با روش استخراج آب گرم تعیین کرد (Bankó *et al*., 2021)؛ بنابراین، کاهش کربن آلی قابل استخراج با آب گرم یا نیتروژن کل می‌تواند نشانه اولیه کاهش کربن آلی و نیتروژن کل خاک باشد که نتایج غنی و همکاران این موضوع را تائید می‌کند (Ghani *et al*., 2003). زی‌توده میکروبی کربن و نیتروژن و مواد آلی قابل استخراج با آب سرد ارتباط نزدیکی با کربن آلی یا نیتروژن کل خاک داشتند (شکل ۳ و ۴)، اما ضرایب همبستگی آنها کمتر از همبستگی مواد آلی قابل استخراج با آب گرم، کربن یا نیتروژن خاک بود که با نتایج وانگ و همکاران (Wang *et al*., 2005) مطابقت داشت. این نتیجه برخلاف مشاهدات چوداک و همکاران (Chodak *et al*., 2003) بود.

گونه‌های درختی بوم‌سازگان‌های جنگلی با تأثیر از طریق ویژگی‌های متفاوتشان در تولید لاشبرگ و به تبع آن بازگرداندن عناصر غذایی و ترکیبات شیمیایی از مهمترین عوامل مؤثر بر تغییر ویژگی‌های خاک می‌باشند. در مطالعه حاضر میزان نیتروژن کل و کربن آلی خاک دو تیپ مورد بررسی تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند. هر چند که مقادیر کربن آلی و نیتروژن قابل استخراج با گرم و سرد، زی‌توده میکروبی کربن و نیتروژن در تیپ ویول- مازودار بیشتر بود؛ اما این تفاوت به‌غیر از کربن آلی قابل استخراج با آب سرد معنی‌دار نشد. بین کربن آلی قابل استخراج با آب گرم با زی‌توده میکروبی کربن و کربن قابل استخراج با آب سرد همبستگی معنی‌داری وجود داشت. همچنین بین نیتروژن قابل استخراج با آب گرم با زی‌توده میکروبی نیتروژن و کربن همبستگی معنی‌دار مشاهده شد. در نهایت همبستگی معنی‌داری بین نیتروژن خاک با زی‌توده میکروبی و نیتروژن قابل استخراج با آب سرد وجود داشت، اما ضریب همبستگی کمتر از همبستگی کربن آلی خاک با زی‌توده میکروبی کربن و کربن قابل استخراج با آب سرد بود؛ بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مواد آلی قابل استخراج با آب گرم را می‌توان به عنوان یک شاخص حساس از تغییرات کیفیت ماده آلی در خاک‌های جنگلی استفاده کرد.

References

Anderson, T., & Domsch, K. (1986). Carbon link between microbial biomass and soil organic matter. *Perspectives in microbial ecology*, 467-471.

Badehian, Z., Mansouri, M. and Soleymani, N. (2021). Quantitative analysis of oak stands in relation to the physiographic traits in le Goran, Kermanshah Province. *Journal of Environmental Science and Technology*, *23*(3), 1-12. https://doi.org/10.30495/JEST.2018.25775.3470

Baiz Sharif, H., Khaleghpanah, N., Davari, M., Rahimzadeh, M., (2023). Investigating the performance of check dams in granularity of sedimentation in a watershed affected by debris flow (Nanor, Baneh). Journal of Water and Soil Conservation, 30(1), 111-130. https://doi.org/10.22069/JWSC.2023.21077.3621

Bankó, L., Tóth, G., Marton, C. L., & Hoffmann, S. (2021). Hot-water extractable C and N as indicators for 4p100 ·goals in a temperate-climate long-term field experiment: A case study from Hungary. *Ecological Indicators*, *126*, 107364. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107364

Bayranvand, M. B., Akbarinia, M., Salehi Jouzani, G., Gharechahi, J., & Kooch, Y. (2021). Humus index assessment in relation to forest cover variables and altitude gradient. *Ecology of Iranian Forest*, *9*(18), 169-178. 10.52547/ifej.9.18.169

Bronner, H., & Bachler, W. (1979). hydrolysierbare Stickstoff als Hilfsmittel fur die Schatzung des Stickstoffnachlieferungsvermogens von Zuckerrubenboden. *Landwirtschaftliche Forschung*.

Busari, M.A., Bankole, G.O., Adiamo, I.A., Abiodun, R.O. and Ologunde, O.H., (2023). Influence of mulch and poultry manure application on soil temperature, evapotranspiration and water use efficiency of dry season cultivated okra. *International Soil and Water Conservation Research*, *11*(2), 382-392. https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2022.09.003

Chen, C., & Xu, Z. (2005). Soil carbon and nitrogen pools and microbial properties in a 6-year-old slash pine plantation of subtropical Australia: impacts of harvest residue management. *Forest Ecology and Management*, *206*(1-3), 237-247. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.11.005

Chodak, M., Khanna, P., & Beese, F. (2003). Hot water extractable C and N in relation to microbiological properties of soils under beech forests. *Biology and fertility of soils*, *39*, 123-130. https://doi.org/10.1007/s00374-003-0688-0

Corre, M., Schnabel, R., & Shaffer, J. A. (1999). Evaluation of soil organic carbon under forests, cool-season and warm-season grasses in the northeastern US. *Soil Biology and Biochemistry*, *31*(11), 1531-1539 .

Cremer, M., Kern, N. V., & Prietzel, J. (2016). Soil organic carbon and nitrogen stocks under pure and mixed stands of European beech, Douglas fir and Norway spruce. *Forest Ecology and Management*, *367*, 30-40. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.02.020

Devi, N. B., & Yadava, P. (2006). Seasonal dynamics in soil microbial biomass C, N and P in a mixed-oak forest ecosystem of Manipur, North-east India. *Applied Soil Ecology*, *31*(3), 220-227. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2005.05.005

Edwards, C. A., & Arancon, N. Q. (2022). The Role of Earthworms in Organic matter and nutrient cycles. In *Biology and ecology of earthworms*, 233-274.

Foltran, E. C., & Lamersdorf, N. (2023). Tree Species Identity Drives Soil Carbon and Nitrogen Stocks in Nutrient-Poor Sites. *bioRxiv*, 2023.2005. 2015.540797. https://doi.org/10.1101/2023.05.15.540797

Gagnon, B., & Ziadi, N. (2022). Soil carbohydrate and aggregation as affected by carbohydrate composition of paper mill biosolids. *Canadian Journal of Soil Science*, *102*(2), 371-384. https://doi.org/10.1139/CJSS-2021-0136

Ge, T., Nie, S. a., Wu, J., Shen, J., Xiao, H. a., Tong, C., Huang, D., Hong, Y., & Iwasaki, K. (2011). Chemical properties, microbial biomass, and activity differ between soils of organic and conventional horticultural systems under greenhouse and open field management: a case study. *Journal of Soils and Sediments*, *11*, 25-36. 10.1007/S11368-010-0293-4

Ghani, A., Dexter, M., & Perrott, K. (2003). Hot-water extractable carbon in soils: a sensitive measurement for determining impacts of fertilisation, grazing and cultivation. *Soil Biology and Biochemistry*, *35*(9), 1231-1243. https://doi.org/10.1016/S0038-0717(03)00186-X

Guo, X., Meng, M., Zhang, J., & Chen, H. Y. (2016). Vegetation change impacts on soil organic carbon chemical composition in subtropical forests. *Scientific reports*, *6*(1), 29607.

Haghverdi, K., & Kooch, Y. (2019). Effects of diversity of tree species on nutrient cycling and soil-related processes. *Catena*, *178*, 335-344. https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.03.041

Jafari, S.H., Pilehvar, B., Abrari, V.K. and Waez, M.S.M., (2021). Changes in carbon sequestration and some edaphic traits in forest types of central Zagros (Case study: The forests of Lorestan province). *9*(17), 142-151. https://doi.org/ 10.52547/ifej.9.17.142

Jiang, P., Zheng, X., He, S., Xiao, L., & Liu, M. (2023). Distribution Characteristics of Labile Soil Organic Carbon in Longmenshan Seismic Fault Zone, Sichuan Province. *Eurasian Soil Science*, 1-10. https://doi.org/10.1134/S1064229323600045

Joshi, R. K., & Garkoti, S. C. (2021). Influence of Nepalese alder on soil physico-chemical properties and fine root dynamics in white oak forests in the central Himalaya, India. *Catena*, *200*, 105140. https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.105140

Koković, N., Jačimović, G., Sikirić, B., Čirić, V., Ugrenović, V., Zhapparova, A., & Saljnikov, E. (2022). Changes in Eutric Cambisol due to long-term mineral fertilisation: A case study in Serbia. *Italian Journal of Agronomy*, *17*(2).

Kooch, Y., Tarighat, F. S., & Haghverdi, K. (2022). Effect of Forest and Non-Forest Land Covers on Soil Organic Matter, Fulvic and Humic Acids. *Ecology of Iranian Forest*, 39-46.

Landgraf, D., Leinweber, P., & Makeschin, F. (2006). Cold and hot water–extractable organic matter as indicators of litter decomposition in forest soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, *169*(1), 76-82. https://doi.org/10.1002/jpln.200521711

Maleki, S., Pilehvar, B., & Mahmoodi, M. A. (2022). Daily and seasonal changes of soil respiration under the influence of temperature and moisture factors in different types of oak. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, *29*(4), 59-73. 10.22069/JWFST.2023.20825.1993

Maleki, S., Pilehvar, B. and Mahmoodi, M.A., (2023). Assessment of soil quality in different types of forests in North Zagros (Case study: Armardeh Baneh Forests). *Journal of Natural Environment*. https://doi.org/10.22059/JNE.2023.356996.2540

Maleki, S., Pilehvar, B., & Mahmoodi, M. A. (2023). Assessing the vegetation diversity of different oak types in relation with soil characteristics in the forests of north Zagros (Case study: Armardeh Baneh). *Journal of Natural Environment*. https://doi.org/10.22059/JNE.2023.356996.2540

Mohammadi Samani, K., Jalilvand, H., Salehi, A., Shahabi, M. and Goleij, A., (2006). Relationship between some soil chemical characteristics and few tree types of Zagros forests: case study of Marivan. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, *14*(2), 158-148.

Montagnini, F. (2000). Accumulation in above-ground biomass and soil storage of mineral nutrients in pure and mixed plantations in a humid tropical lowland. *Forest Ecology and Management*, *134*(1-3), 257-270. https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00262-5

Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1980). Total nitrogen analysis of soil and plant tissues. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, *63*(4), 770–778.

Padalia, K., Bargali, S. S., Bargali, K., & Manral, V. (2022). Soil microbial biomass phosphorus under different land use systems of Central Himalaya. *Tropical Ecology*, 1-19. https://doi.org/10.1007/s42965-021-00184-z

Peikun, J. (2005). Soil active carbon pool under different types of vegetation. *Scientia Silvae Sinicae*.

Plaza-Álvarez, P., Lucas-Borja, M., Sagra, J., Zema, D., González-Romero, J., Moya, D., & De las Heras, J. (2019). Changes in soil hydraulic conductivity after prescribed fires in Mediterranean pine forests. *Journal of environmental management*, *232*, 1021-1027. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.12.012

Sheldrick, B., Wang, C., & Carter, M. (1993). Soil sampling and methods of analysis. *Particle Size Distribution. Canadian Society of Soil Science, Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, USA.* 499-511.

Silong, W ,Liping, L., Xiaojun, Y., & Hong, G. (2000). Changes of nutritional nitrogen and phosphrous during ecological restoration of degraded Chinese fir plantation soil. *Chin J Appl Ecol*, *11*, 185-190.

Singh, K., Singh, B., & Singh, R. (2012). Changes in physico-chemical, microbial and enzymatic activities during restoration of degraded sodic land: Ecological suitability of mixed forest over monoculture plantation. *Catena*, *96*, 57-67. https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.04.007

Sparling, G., Vojvodić-Vuković, M., & Schipper, L. (1998). Hot-water-soluble C as a simple measure of labile soil organic matter: the relationship with microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry*, *30*(10-11), 1469-1472.

Valipour, A., Plieninger, T., Shakeri, Z., Ghazanfari, H., Namiranian, M. and Lexer, M.J., (2014). Traditional silvopastoral management and its effects on forest stand structure in northern Zagros, Iran. *Forest ecology and management*, *327*, 221-230. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.05.004

Valipour, A., Namiranian, M., Ghazanfari, H., Heshmatol Vaezin, S.M., Lexer, M.J. and Plieninger, T., (2013). Relationships between forest structure and tree's dimensions with physiographical factors in Armardeh forests (Northern Zagros). *Iranian journal of Forest and Poplar research*, *21*(1), 30-47. https://doi.org/10.22092/IJFPR.2013.3336

Walkley, A. (1947). A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Science*, *63*(4), 251-264.

Wang, Q., & Wang, S. (2007). Soil organic matter under different forest types in Southern China. *Geoderma*, *142*(3-4), 349-356. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.09.006

Wang, Q., Wang, S ,Gao, H., & Yu, X. (2005). Dynamics of soil active organic matter in Chinese fir plantations. *Ying Yong Sheng tai xue bao= The Journal of Applied Ecology*, *16*(7), 1270-1274

Witt, C., Gaunt, J. L., Galicia, C. C., Ottow, J. C., & Neue, H.-U. (2000). A rapid chloroform-fumigation extraction method for measuring soil microbial biomass carbon and nitrogen in flooded rice soils. *Biology and fertility of soils*, *30*, 510-519 .

Woś, B., Pająk, M., & Pietrzykowski, M. (2022). Soil organic carbon pools and associated soil chemical properties under two pine species (Pinus sylvestris L. and Pinus nigra Arn.) introduced on reclaimed sandy soils. *Forests*, *13*(2), 328. https://doi.org/10.3390/f13020328

Xu, Q., & Xu, J. (2003). Changes in soil carbon pools induced by substitution of plantation for native forest. *Pedosphere*, *13*(3), 271-278 .

Yang, R. M., Huang, L. M., Zhang, X., Zhu, C. M., & Xu, L. (2023). Mapping the distribution, trends, and drivers of soil organic carbon in China from 1982 to 2019. *Geoderma*, *429*, 116232. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.116232