Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Ecology of Iranian Forests, Vol. 13, Issue 1, 2025 p: 26-42

OPEN ACCESS

Research Paper

The Effects of Forest Degradation and Land Use Change on the Physical, Chemical, and Respiration Characteristics of Soils in the Semi-Arid Mountain Ecosystems of Kojur, Mazandaran Province

Yahya Kooch[1], Zahra Mohmedi Kartalaei[2], Mojtaba Amiri[3], Mehrdad Zarafshar[4], Saeid Shabani[5] and Majid Mohammady[6]

1 –Associate Professor, Faculty of Natural Resources & Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran, (Corresponding author: yahya.kooch@modares.ac.ir)
2- Ph. D., Faculty of Natural Resources & Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran
3- Associate Professor, Faculty of Natural Resources, Semnan University, Semnan, Iran
4- Associate Professor, Department of Forestry and Wood Technology, Faculty of Technology, Linnaeus University, Växjö, Sweden
5- Research Assistant, Research Department of Natural Resources, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran
6- Associate Professor, Faculty of Natural Resources, Semnan University, Semnan, Iran

Received:19 September, 2024 Revised: 12 November, 2024 Accepted: 20 December, 2024

Extended Abstract

Background: In dry ecosystems, especially in arid and semi-arid regions, which are fragile and vulnerable ecosystems, forest destruction and land use change are considered one of the most important factors affecting the variability of soil characteristics. In this regard, soil respiration, as the main carbon control process in underground processes, is correlated with soil microbial activity, availability of different substrates, soil nutrient content, root dynamics, soil temperature, and moisture, and is considered a good indicator to estimate the productivity of ecosystems. The long-term consequences of land degradation, soil properties, and microbial respiration, which significantly affect global carbon dioxide emissions, are not fully understood. Thus, this study aimed to investigate the effects of forest destruction and land use change on the physical, chemical, and respiration properties of soils in semi-arid mountain ecosystems.

Methods: The current investigation was conducted in the mountainous area of Mikhsaz, Kajur village, which is a part of the Nowshahr City region situated in Mazandaran Province, Northern Iran. The altitude ranges from 1600 to 1700 meters above sea level, with a slope gradient of 10-20%. The area experiences an annual precipitation of 365 mm and a mean annual temperature of 11˚C. Soils are clay loam and are classified under the Alfisoils order according to the Soil Taxonomy (United States Department of Agriculture, 2014). The examined region has the potential for forests (including *Carpinus orientalis* Mill. and *Quercus macranthera* F&M.) and rangelands (including *Artemisia aucheri* Boiss. and *Astragalus podolobus* Boiss. & Hohen). The study area was predominantly covered with forests, but it has been transformed into three distinct uses, forest, forest-woodland, and rangeland due to human activities during the last 30 years. In each of the studied uses (forest, woodland, and rangeland), four sample plots with an area of four hectares (200 × 200 meters) were considered at a distance of 4-6 km from each other. The selected areas were similar in terms of bedrock (dolomite limestone), physiography (average height of 1650 meters above sea level, the slope of the area between 10 and 15%, and the dominant geographical direction northward), climatic conditions (cold mountains), and management conditions (without human intervention, fertilization, and livestock grazing). The soil was sampled (in an area of 30 × 30 cm from two depths of 0-15 and 15-30 cm) from four corners and the center of each of the sample pieces in summer. In total, five samples were collected in each sample plot, and a total of 20 soil samples were collected from each depth of 0-15 and 15-30 cm in each land cover. To investigate the difference or non-difference of the values of the studied characteristics in the studied habitats, a split-plot design was used for physical and chemical characteristics, and the one-way analysis of variance (ANOVA) was used for biological characteristics with SPSS version 20 software. To determine the relationship between vegetation and soil respiration, graphs were drawn using Excel software.

Results: Examining the changes in the physical and chemical characteristics of the soil showed significant differences in the characteristics of micro-aggregate, macro-aggregate, soil stability, weighted mean diameter of soil aggregates, carbon in micro-aggregate, carbon in macro-aggregate, the ratio of carbon in micro to macro-aggregate, nitrogen in micro-aggregate, nitrogen

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-06-27]

[DOI: 10.61186/ifej.2024.570]

Copyright ©2025 Kooch 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.

macro-aggregate, dissolved organic carbon, dissolved organic nitrogen, and dissolved organic matter among three land uses. Moreover, micro-aggregate, macro-aggregate, weighted mean diameter of soil aggregates, carbon in micro-aggregate, carbon in macro-aggregate, nitrogen in micro-aggregate, nitrogen in macro-aggregate, the ratio of nitrogen in micro to macro soil, and dissolved organic matter, carbon and nitrogen showed significant differences in the two soil depths. The results of the changes in soil elements in relation to soil carbon and nitrogen characteristics in three uses of forest, woodland, and rangelands showed that nitrogen in micro-aggregate (0.13, 0.09, 0.05 %), nitrogen in macro-aggregate (0.32, 0.16, 0.08 %), dissolved organic carbon (52.16, 38.05, and 18.41 g kg^{-1}), and dissolved organic nitrogen (27.23, 17.85, and 12.9 g kg^{-1}) showed significant differences ($p < 0.05$) between the three uses in the first soil depth. The results of soil microbial characteristics showed that the substrate-induced respiration in all the treatments used in forest land use was significantly ($p < 0.05$) higher than the other two land covers.

Conclusion: The findings of this study indicate that the physical, chemical, and biological soil properties are influenced by above-ground vegetation, particularly in the topsoil layer. Therefore, the removal of vegetation can lead to significant deterioration of soil properties in semi-arid regions. Considering that the soil in semi-arid areas is highly susceptible to destruction, the reduction and destruction of vegetation play an important role in intensifying these effects and influencing the provision of ecosystem services in such areas. Furthermore, the relationship between soil respiration and carbon dioxide emissions is intrinsically linked to climate change. The results of this research also emphasize that the conversion of forest areas to other ecosystems has led to changes in the carbon and nitrogen cycle and soil microbial respiration. The results of this research can contribute to the development of sustainable management and restoration programs for degraded areas in similar climates because the high quality of the soil of these forests indicates the high potential of woody vegetation (especially *Carpinus orientalis* Mill. and *Quercus macranthera* F&M.) for soil protection and biodiversity. These findings can be the basis for designing educational programs for local communities to preserve natural ecosystems by preventing land use changes and rehabilitating degraded areas. In general, these studies can help improve environmental, economic, and social conditions in different regions. Finally, this study emphasizes the urgent need to use sustainable management practices to prevent further degradation and promote the implementation of restoration techniques in degraded forests.

Keywords: Aggregate Stability, Forest, Land Use Change, Soil Properties, Substrate Induced Respiration

How to Cite This Article: Kooch, Y., Mohmedi Kartalaei, Z., Amiri, M., Zarafshar, M., Shabani, S., & Mohammady, M. (2025). The Effects of Forest Degradation and Land Use Change on the Physical, Chemical, and Respiration Characteristics of Soils in the Semi-Arid Mountain Ecosystems of Kojur, Mazandaran Province. *Ecol Iran For,* 13(1), 26-42. DOI: 10.61186/ifej.2024.570

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: 10.61186/ifej.2024.570]

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مقاله پژوهشی

اثرات تخریب جنگل و تغییر کاربری اراضی بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و تنفس خاک در بوم‌سازگان‌های کوهستانی نیمه‌خشک کجور استان مازندران

یحیی کوچ[۱]، زهرا مهمدی کرتلایی[۲]، مجتبی امیری[۳]، مهرداد زرافشار[۴]، سعید شعبانی[۵] و مجید محمدی[۶]

۱- دانشیار، گروه مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران، (نویسنده مسوول: yahya.kooch@modares.ac.ir)
۲- دکتری، گروه مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
۳- دانشیار، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران
۴- دانشیار گروه جنگلداری و تکنولوژی چوب، دانشکده تکنولوژی، دانشگاه لینه، وکخو، سوئد
۵- استادیار پژوهشی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران
۶- دانشیار، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۲۹ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۳۰
صفحه ۲۶ تا ۴۲

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: در بوم‌سازگان‌های خشکی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که بوم‌سازگان‌های شکننده و آسیب‌پذیر هستند، تخریب جنگل‌ها و تغییر کاربری اراضی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تغییرپذیری ویژگی‌های خاک محسوب می‌شوند. در این راستا، تنفس خاک به‌عنوان اصلی‌ترین فرآیند کنترل کربن در فرایندهای زیرزمینی، با فعالیت میکروبی خاک، در دسترس بودن بسترهای مختلف، محتوای مواد مغذی خاک، دینامیک ریشه، دمای خاک و رطوبت همبستگی دارد و شاخص خوبی به‌منظور برآورد بهره‌وری بوم‌سازگان محسوب می‌شود. نظر به این که پیامدهای بلندمدت تخریب زمین و ویژگی‌های خاک و تنفس میکروبی، که تأثیر قابل‌توجهی بر انتشار دی‌اکسید کربن جهانی دارند، به‌طور کامل شناخته نشده‌اند. این مطالعه با هدف بررسی اثرات تخریب جنگل و تغییر کاربری اراضی بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و تنفس خاک در بوم‌سازگان‌های کوهستانی نیمه‌خشک انجام شد.

مواد و روش‌ها: پژوهش حاضر در منطقه کوهستانی میخساز روستای کجور از توابع شهرستان نوشهر واقع در استان مازندران در شمال ایران انجام شد. ارتفاع از سطح دریا از ۱۶۰۰ تا ۱۷۰۰ متر با شیب ۱۰ تا ۲۰ درصد متغیر است. این منطقه دارای بارندگی سالانه ۳۶۵ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۱ درجه سانتی‌گراد است. خاک‌ها لوم رسی هستند و طبق طبقه‌بندی خاک (وزارت کشاورزی ایالات‌متحده، ۲۰۱۴) در آلفی‌سول طبقه‌بندی می‌شوند. منطقه مورد بررسی دارای پتانسیل جنگل (شامل *Carpinus orientalis*. Mill و *Quercus macranthera*. F&M) و هم‌چنین مرتع (از جمله *Artemisia aucheri*. Boiss و *Astragalus podolobus* Boiss. & Hohen) است. منطقه مورد مطالعه عمدتاً پوشیده از جنگل بود، اما به‌دلیل فعالیت‌های انسانی در طول ۳۰ سال گذشته، به سه کاربری متمایز جنگل، مرتع مشجر و مرتع تبدیل شده است. در هریک از کاربری‌های مورد مطالعه (جنگل، مرتع مشجر و مرتع)، چهار قطعه نمونه به مساحت چهار هکتار (۲۰۰×۲۰۰ متر)، در فاصله ۶-۴ کیلومتری از یکدیگر در نظر گرفته شدند. مناطق انتخاب‌شده از نظر سنگ‌بستر (آهکی دولومیت)، فیزیوگرافی (متوسط ارتفاع ۱۶۵۰ متر از سطح دریا و شیب منطقه بین ۱۰ تا ۱۵ درصد و جهت جغرافیایی غالب شمالی)، شرایط اقلیمی (کوهستانی سرد) و شرایط مدیریت (بدون دخالت انسان، لقاح و چرای دام) مشابه بودند. نمونه‌برداری از خاک (در مساحت ۳۰×۳۰ سانتی‌متر از دو عمق ۰-۱۵ و ۱۵-۳۰ سانتی‌متر) از چهار گوشه و مرکز هریک از قطعات نمونه در فصل تابستان انجام شد. در مجموع در هر قطعه نمونه پنج نمونه و در کل ۲۰ نمونه خاک از عمق ۰ تا ۱۵ سانتی‌متر و ۲۰ نمونه خاک از عمق ۳۰-۱۵ سانتی‌متری از هر پوشش زمین جمع‌آوری شد. به‌منظور بررسی تفاوت یا عدم تفاوت مقادیر مشخصه‌های مورد بررسی در رویشگاه‌های مورد مطالعه، از طرح کرت‌های خرد شده برای مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی و از تحلیل واریانس یک‌طرفه ANOVA برای مشخصه‌های زیستی با نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ استفاده شد. همچنین، به‌منظور تعیین ارتباط پوشش‌های گیاهی با تنفس خاک، ترسیم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

یافته‌ها: بررسی تغییرات ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک نشان داد که ویژگی‌های میکروخاک‌دانه، ماکروخاکدانه، پایداری خاک، میانگین وزنی قطر خاک، کربن در میکروخاکدانه، کربن در ماکروخاکدانه، نسبت کربن در میکرو به ماکرو خاکدانه، نیتروژن در میکروخاکدانه، نیتروژن در ماکروخاک‌دانه، نسبت کربن به نیتروژن در میکروخاکدانه، نسبت کربن به نیتروژن در ماکروخاک‌دانه، کربن آلی محلول، نیتروژن آلی محلول و ماده آلی محلول در بین سه کاربری اختلافات معنی‌داری داشتند. علاوه‌براین میکروخاکدانه، ماکروخاکدانه، میانگین وزنی قطر خاک، کربن در میکروخاکدانه، کربن در ماکروخاک‌دانه، نیتروژن در میکروخاک‌دانه، نیتروژن در ماکروخاک‌دانه، نسبت نیتروژن در میکرو به ماکرو خاک‌دانه و کربن، نیتروژن و ماده آلی محلول نیز در دو عمق خاک اختلافات معنی‌داری را نشان دادند. همچنین، در بررسی اثرات متقابل پوشش گیاهی و عمق بر مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک به‌جز نیتروژن آلی محلول، سایر مشخصه‌ها اختلافات معنی‌داری را نشان ندادند. نتایج بررسی ویژگی‌های میکروبی خاک نشان داد که تنفس ناشی از بستر در تمامی تیمارهای مورد استفاده (یک آمین (ال‌گلوتامین)، پنج اسیدآمینه (الآرژنین، ال‌گلوتامیک اسید، ال‌هیستیدین، ال‌لیزین و ال‌سرین)، پنج کربوهیدرات (D گلوکز، Dمانوز، آرابینوز، Dسوربیتول و Dفروکتوز) و شش اسید کربوکسیلیک (اسید سیتریک، اسید Lآسکوربیک، اسید فوماریک، D1مالیک اسید، اسید اوریک، اسید تارتاریک) در کاربری جنگلی به‌طور معنی‌داری ($P < ۰/۰۵$) بیشتر از دو پوشش دیگر بود.

نتیجه‌گیری: یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک تحت تأثیر پوشش گیاهی سطح زمین، به‌ویژه در لایه سطحی خاک است. بنابراین حذف پوشش گیاهی می‌تواند منجر به تغییرات منفی قابل‌توجه خصوصیات خاک در مناطق نیمه‌خشک شود. با توجه به این‌که خاک در مناطق نیمه‌خشک به‌شدت مستعد تخریب است، درنتیجه کاهش و تخریب پوشش گیاهی نقش مهمی در تشدید این اثرات و تأثیرگذاری بر ارائه خدمات اکوسیستمی در این گونه مناطق دارد. همچنین، نتایج حاصل از این پژوهش تأکید می‌کند که تبدیل مناطق جنگلی به بوم‌سازگان‌های دیگر منجر به تغییر چرخه کربن و نیتروژن و تنفس میکروبی خاک شده‌است. این تحقیق نشان می‌دهد که بوم‌سازگان‌های جنگلی در تمامی تیمارهای تنفس برانگیخته از شرایط میکروبی بهتری در مقایسه با مراتع برخوردار هستند. علاوه بر این، میزان تنفس خاک و انتشار دی‌اکسید کربن به‌طور ذاتی با یکدیگر مرتبط هستند و هر گونه تغییر کاربری اراضی از مناطق جنگلی به مراتع منجر به تغییر میزان تنفس خاک و متعاقب آن انتشار دی‌اکسید کربن و خواهد شد. نتایج این تحقیق می‌تواند به توسعه مدیریت پایدار و برنامه‌های احیای مناطق تخریب‌شده در اقلیم‌های مشابه کمک کند، زیرا کیفیت بالای خاک این جنگل‌ها نشان‌دهنده پتانسیل بالای پوشش گیاهی چوبی (به‌ویژه *Carpinus orientalis* Mill. و *Quercus macranthera* F&M.) برای حفاظت خاک و تنوع زیستی است. همچنین این یافته‌ها می‌توانند مبنای طراحی برنامه‌های آموزشی برای جوامع محلی در حفظ اکوسیستم‌های طبیعی با جلوگیری از تغییرات کاربری و احیای مناطق تخریب‌شده شوند. به‌طور کلی، این مطالعات می‌توانند به بهبود شرایط محیطی، اقتصادی و اجتماعی در مناطق مختلف کمک کنند. در نهایت، این مطالعه بر نیاز فوری به استفاده از شیوه‌های مدیریت پایدار برای جلوگیری از تخریب بیشتر و ترویج اجرای تکنیک‌های احیا در جنگل‌های تخریب‌شده تأکید می‌کند.

واژه‌های کلیدی: پایداری خاک‌دانه، تغییر کاربری اراضی، تنفس برانگیخته، جنگل، ویژگی‌های خاک

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-06-27]

[DOI: 10.61186/ifej.2024.570]

مقدمه

تغییر کاربری اراضی یکی از موضوعات اساسی در دنیای امروز است که در آن فعالیت‌های انسانی و توسعه شهری منجر به شکل‌گیری تغییرات عمده در بوم‌سازگان‌های زمینی می‌شود (Sun *et al.,* 2020). عوامل اصلی تغییر کاربری اراضی شامل ترکیبی از عوامل بیوفیزیکی، اجتماعی–اقتصادی و سیاسی است. در میان عوامل اجتماعی–اقتصادی، فشار جمعیت از طریق افزایش جنگل‌زدایی، چرای بی‌رویه، کشت فشرده و بهره‌برداری بیش از حد از سایر منابع طبیعی نقش زیادی در این فرآیند ایفا می‌کند (Geist & Lambin 2004; Dahir *et al.,* 2022). در این میان، تخریب جنگل‌ها و تغییر کاربری از جنگل به سایر کاربری‌ها، نتیجه بهره‌برداری مداوم از درختان است که درنهایت منجر به کاهش بهره‌وری بوم‌سازگان می‌شود و یک نگرانی قابل‌توجه با پیامدهای گسترده مانند افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای (Brown *et al.,* 2020)، کاهش تنوع زیستی (Otte *et al.,* 2007)، کاهش کیفیت و مدیریت آب (Worry, 2013)، کیفیت خاک (Kooch *et al.,* 2023) و کاهش توانایی جنگل‌ها برای ارائه خدمات ضروری بوم‌سازگان (Meyfroidt & Lambin, 2011) ایجاد می‌نماید. تخریب و تغییرات کاربری زمین پیامدهای طولانی مدتی بر خواص پوشش گیاهی و خاک دارد که ممکن است برای یک دوره طولانی یا حتی دائمی باقی بمانند (Dupouey *et al.,* 2002).

از آنجایی که این فعالیت‌های روبه افزایش معمولاً بدون شناخت و علم کافی و لازم از محیط‌زیست و ویژگی‌های خاک صورت گرفته‌است، موجب کاهش توانایی خاک در حمایت از فرآیند تولید غذا و برهم خوردن تعادل در اکوسیستم شده است (Sadwghi *et a.l,* 2018). به‌همین جهت، مسئله تخریب خاک به عنوان یکی از مهم‌ترین مسائل پیش روی بشر مطرح است به طوری که اکثر متخصصین بر این باورند که تخریب خاک عامل اصلی کاهش تولیدات کشاورزی در واحد سطح و نیز تغییرات شدید اکوسیستمی مانند گرم شدن زمین، آلودگی‌های زیست محیطی و کاهش تنوع زیستی است (Mottagian & Mohammadi, 2010). در این بین، خاک‌های جنگلی به‌عنوان یک مخزن کربن عمل می‌کنند و مواد مغذی را برای توسعه گیاه، مدیریت آب و زیستگاه میکروبی فراهم می‌نمایند (Kurniawan *et al.,* 2019). تغییر کاربری زمین، تنوع زیستی و عملکرد بوم‌سازگان را در بیوم‌ها و قاره‌های مختلف تغییر می‌دهد (Karimi *et al.,* 2024; Newbold *et al.,* 2016)، اما پیامدهای چنین تغییراتی اغلب به تغییرات در ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک مرتبط هستند (Kooch *et al.,* 2014) .تبدیل جنگل‌ها به بوم‌سازگان‌های دیگر، به‌ویژه مراتع، پیامدهای زیانباری بر حاصل‌خیزی خاک و پایداری طولانی‌مدت جنگل‌ها دارد که در درجه اول به‌دلیل از دست دادن مقادیر قابل‌توجه کربن آلی خاک و افزایش فرسایش خاک است (Huang *et al.,* 2021; Davari *et al.,* 2020). خاک‌ها به‌عنوان منبع اصلی کربن آلی روی زمین عمل می‌کنند، نقش محوری در پویایی چرخه جهانی کربن دارند و به تغییرات آب و هوایی و همچنین تغییرات ناشی از فعالیت‌های انسان، که منجر به تغییرات کاربری می‌شوند، پاسخ می‌دهند (Huang *et al.,* 2021).

ارائه این خدمات نتیجه مستقیم بسیاری از عوامل پیچیده از جمله آب و هوا، زمین‌شناسی، فعالیت‌های انسانی و متغیرهای زیستی مانند تراکم و ترکیب گونه‌ها و تاریخچه هوازدگی است (Vesterdal *et al.,* 2013; Chen *et al.,* 2023). همچنین حاصل‌خیزی خاک و ترکیب جامعه میکروبی تحت تأثیر پوشش گیاهی است که به‌نوبه خود بر زیست‌توده میکروبی و کارایی در استفاده از کربن آلی خاک تأثیر می‌گذارد. وجود پوشش گیاهی جنگلی تأثیر زیادی بر فرآیندهای میکروبی درگیر در چرخه‌های کربن و نیتروژن، به‌ویژه تنفس خاک (یعنی انتشار CO_2) دارد چرا که کیفیت و کمیت لاشبرگ، ترشحات ریشه و ویژگی‌های خاک بین انواع مختلف پوشش گیاهی متفاوت است (Qiang *et al.,* 2020). در این راستا، تغییر نوع پوشش اراضی اثر قابل‌توجهی بر روی کربن و نیتروژن زیست‌توده میکروبی دارد (Nunes *et al.,* 2012). درک اثرات کاربری مختلف بر تغییرات تنفس خاک می‌تواند اطلاعات مهمی را به منظور اتخاذ شیوه‌های مدیریت بوم‌سازگان فراهم نماید (Liu *et al.,* 2016). در این راستا، نتایج حاصل از چندین مطالعه نشان می‌دهند که تنفس خاک تحت تأثیر تغییرات کاربری قرار گرفته است (Wang *et al.,* 2017)، که این امر به‌دلیل تغییر ویژگی‌هایی نظیر رطوبت، دما، محتوای کربن آلی و نیتروژن است که تنفس خاک را کنترل می‌کنند. تنفس ناشی از بستر (SIR) به‌معنای اندازه‌گیری تنفس میکروبی نمونه‌ها پس از افزودن بیش از حد مواد مغذی به‌منظور تحریک فعالیت میکروبی است. بنابراین، حداکثر پاسخ تنفسی اولیه، که باید برای هر نمونه جدید بهینه‌سازی شود، به میزان زیست‌توده میکروبی زنده فعلی مرتبط است و از این لحاظ از اهمیت فراوانی برخوردار است (Anderson & Domsch, 1978).

مطالعات مختلف به بررسی اثرات تغییرات کاربری اراضی بر مشخصه‌های خاک در داخل و خارج پرداخته‌اند. در این راستا، نتایج پژوهش مهماندوست و همکاران (Mehmandoost *et al.,* 2017) در مورد تغییر کاربری اراضی نشان داد که در پی تغییر کاربری، ماده آلی خاک و ویژگی‌های مرتبط با آن به‌میزان بیشتری تحت تأثیر قرار گرفتند. حیدری و همکاران (Heydari *et al.,* 2022) با مطالعه تغییر کاربری اراضی بر ویژگی‌های خاک بیان نمودند که میانگین وزنی قطری خاکدانه‌ها، کربن آلی، نیتروژن کل و ضریب متابولیکی به تغییر کاربری اراضی حساسیت بالایی داشتند، بنابراین می‌توان از این ویژگی‌ها برای پایش کیفیت خاک استفاده نمود. علاوه بر این، اولیایی و همکاران (Owliaie *et al.,* 2023) بیان نمودند که تبدیل زیست‌بوم‌هایی چون جنگل‌ها به اراضی زراعی و یا جنگل‌تراشی، با کاهش شدید شاخص‌های حاصلخیزی و زیستی خاک همراه خواهد بود. بوم‌سازگان‌های کوهستانی نیمه‌خشک به‌دلیل شرایط اقلیمی منحصر به‌فرد خود بسیار شکننده هستند و خدمات اکوسیستمی آن‌ها ارزش قابل‌توجهی دارد. این بوم‌سازگان‌ها تضاد فصلی مشخصی را نشان می‌دهند، با آب‌وهوای خشک و گرم تابستان که بر فرسایش‌پذیری خاک تأثیر می‌گذارد. این امر در درجه اول به‌دلیل کاهش پوشش

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-06-22]
[DOI: 10.61186/ifej.2024.570]

گیاهی و پایداری کمتر خاکدانه‌ها است (Le Bissonnais *et al.*, 2007). علاوه‌بر این، شدت رویدادهای بارندگی، به‌ویژه در طول فصل پاییز، نقش مهمی در فرسایش خاک ایفا می‌کند (Martínez-Casasnovas & Ramos, 2009). باتوجه به حجم قابل‌توجه، ماهیت شدید، مدت زمان کوتاه و پتانسیل فرسایش حاد، رویدادهای بارش در مناطق نیمه‌خشک کوهستانی یک چالش قابل‌توجه است (Durán-Zuazo *et al.*, 2013). علاوه‌بر این، شرایط اقلیمی منحصربه‌فرد این مناطق، خاک را به‌شدت مستعد تخریب می‌کند. در نتیجه، کاهش و تخریب پوشش گیاهی نقش مهمی در تشدید این اثرات و تأثیرگذاری بر ارائه خدمات اکوسیستمی در چنین مناطقی دارد. اگرچه این بوم‌سازگان‌های خشک و نیمه‌خشک در سراسر جهان یافت می‌شوند که از آسیا، اروپا، آمریکا و آفریقا سرچشمه می‌گیرند، تأثیر کاهش و تخریب پوشش گیاهی بر عملکرد چرخه کربن و انتشار دی‌اکسید کربن کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است و این پژوهش در کشور ما به‌دلیل شرایط اقلیمی خاص و پوشش جنگلی محدود از اهمیت بیشتری برخوردار است.

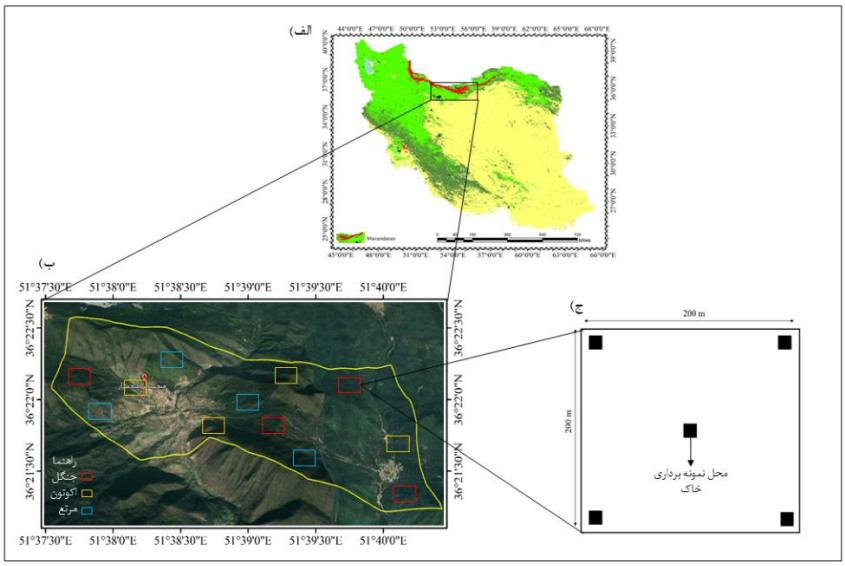
نوآوری این مطالعه در اندازه‌گیری تنفس میکروبی تحت شرایط مختلف با استفاده از منابع متنوع کربنی است، که برخلاف روش‌های سنتی که معمولاً از یک منبع کربن (مانند گلوکز) استفاده می‌کنند، از مجموعه‌ای از منابع کربن شامل کربوهیدرات‌ها، اسیدهای آمینه و اسیدهای کربوکسیلیک (که در بقایای گیاهی با کیفیت‌های مختلف وجود دارند) برای تحریک فعالیت میکروبی بهره می‌برد. این رویکرد به درک بهتر تنوع عملکردی میکروارگانیسم‌ها و ارزیابی تأثیرات مختلف بسترهای کربنی بر تنفس خاک کمک می‌کند. همچنین، نوآوری دیگری که در این تحقیق مطرح شده است، بررسی تفاوت‌های زیست‌محیطی میان بوم‌سازگان‌های جنگلی و مراتع از نظر تنفس میکروبی و کیفیت خاک در مناطق نیمه‌خشک است که کمتر موردتوجه قرار گرفته است. عواملی چون در دسترس بودن ماده آلی خاک و تنوع گونه‌ای به‌عنوان عوامل کلیدی در توضیح این تفاوت‌ها شناسایی شده‌اند. در این راستا، فرضیه این پژوهش بیان می‌کند که تغییرات در انواع پوشش گیاهی در بوم‌سازگان‌های حساس و آسیب‌پذیر، مانند مناطق کوهستانی نیمه‌خشک، موجب تغییراتی در ویژگی‌های خاک، عملکرد کربن آلی و تنفس خاک در مراتع، بوته‌زارها و جنگل‌ها خواهد شد. مطالعه حاضر با هدف بررسی (۱) چگونگی تأثیر تغییرات کاربری و تخریب جنگل بر خواص و عملکرد خاک و (۲) تغییرات میزان تنفس پایه و برانگیخته خاک در رنج وسیعی از بسترهای مختلف در یک بوم‌سازگان کوهستانی نیمه‌خشک انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در بخش ییلاقی روستای میخساز کجور از توابع شهرستان نوشهر در استان مازندران قرار دارد (شکل ۱ الف). این منطقه در محدوده ارتفاعی ۱۶۰۰ تا ۱۷۰۰ متر از سطح دریا قرار دارد و دارای بازه شیب بین ۱۰ تا ۲۰ درصد است. بارندگی سالانه ۳۶۵ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۱ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است. منطقه مورد مطالعه دارای قابلیت اراضی جنگلی شامل تیپ‌های درختی لور (*Carpinus orientalis* Mill.) و اوری (*Quercus macranthera* F&M.)، گونه‌های غالب همراه شامل ولیک (*Crataegus oxycantha* L)، درمنه (*Artemisia aucheri* Boiss.)، گون (*Astragalus podolobus* Boiss. & Hohen) و علف جارو (*Bromus danthoniae* Trin) بوده است. تعداد درختان در هکتار شامل حدود ۲۹۰ درخت در هکتار و درصد پوشش کف حدود ۹۰ درصد هستند. میانگین ارتفاع درختان ۲۰ متر و میانگین قطر ۴۵ سانتی‌متر هستند. در مرتع مشجر، گونه‌های غالب شامل درختچه‌های ارس (*Juniperus excelsa* M. Bieb.)، زرشک (*Berberis integerrima* Bge.)، ولیک (*Crataegus oxycantha* L) به همراه درمنه (*Artemisia aucheri* Boiss) و گون (*Astragalus podolobus* Boiss. & Hohen) و علف جارو (*Bromus danthoniae* Trin) بوده است. در مرتع مشجر، میانگین درختان حدود ۳۰ درخت در هکتار، قطر برابر سینه ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع برابر با ۱۲ متر هستند. کاربری مرتع شامل گونه‌های غالب همراه شامل علف جارو (*Bromus danthoniae* Trin)، درمنه (*Artemisia aucheri* Boiss.) و گون (*Astragalus podolobus* Boiss. & Hohen)، علف بره (*Festuca ovina* L.)، علف بره نی (*Festuca arundinaceae* Schreb) و آویشن (*Thymus transcaspicus* Klokov) بوده است. پوشش کف در هر سه کاربری بین ۸۰–۹۰ درصد بوده است. ولی با توجه به تغییر کاربری‌های صورت گرفته، در حال حاضر به‌صورت کاربری‌های جنگل طبیعی، مرتع مشجر و مرتع مورد استفاده قرار می‌گیرد (Shahpiri, 2021) (شکل ۱ ب).

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-06-22]
[DOI: 10.61186/ifej.2024.570]



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در شمال ایران، استان مازندران (الف)، نمایش قطعات نمونه در منطقه (ب)، طرح نمونه‌گیری برای هر رویشگاه مورد مطالعه (ج).

Figure 1. The location of the studied area in the north of Iran, Mazandaran Province (a), showing sample plots in the area (b) and the sampling plan for each studied habitat (c).

روش نمونه‌برداری

در هر یک از کاربری‌های مورد مطالعه (جنگل، مرتع مشجر و مرتع)، چهار قطعه نمونه به مساحت چهار هکتار (۲۰۰×۲۰۰ متر)، در فاصله ۶-۴ کیلومتری از یکدیگر در نظر گرفته شد. مناطق انتخاب‌شده از نظر سنگ بستر (آهکی دولومیت)، فیزیوگرافی (متوسط ارتفاع ۱۶۵۰ متر از سطح دریا و شیب منطقه بین ۱۰ تا ۱۵ درصد و جهت جغرافیایی غالب شمالی)، شرایط اقلیمی (کوهستانی سرد) و شرایط مدیریت (بدون دخالت انسان، لقاح و چرای دام) مشابه بودند. نمونه‌برداری از خاک (در مساحت ۳۰×۳۰ سانتی‌متر از دو عمق ۰-۱۵ و ۱۵-۳۰ سانتی‌متر) از چهار گوشه و مرکز هریک از قطعات در فصل تابستان انجام شد. در مجموع، در هر قطعه نمونه پنج نمونه و در کل ۲۰ نمونه خاک از عمق ۰ تا ۱۵ سانتی‌متر و ۲۰ نمونه خاک از عمق ۱۵-۳۰ سانتی‌متری از هر پوشش زمین جمع‌آوری شد (Kooch *et al.*, 2024) (شکل ۱ ج). نمونه‌های جمع‌آوری شده خاک جهت انجام آزمایش‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی به محیط آزمایشگاه انتقال داده شدند. یک بخش از نمونه‌های خاک جهت انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی، پس از هوا خشک شدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد و بخش دوم نمونه‌ها برای انجام آزمایش‌های زیستی تا زمان آزمایش در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد (به‌مدت یک هفته) نگهداری شد.

تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

در این پژوهش توزیع اندازه خاک‌دانه‌ها (۰/۰۵۳و ۰/۲۵ میلی‌متر برای خاک‌دانه میکرو و ۰/۲۵ و ۰/۵۰ میلی‌متر برای خاک‌دانه‌های ماکرو) با استفاده از الک مرطوب با قطر ۰/۲۵ و ۰/۵۰ میلی‌متر انجام شد (Cambardella & Elliott, 1992). همچنین به‌منظور اندازه‌گیری میزان پایداری خاک‌دانه‌ها از روش الک تر استفاده شد. به این منظور، مقدار ۵۰ گرم از خاک هواخشک و بدون اینکه خاک توسط کوبه کوبیده شود، از الک با قطر سوراخ ۸ میلی‌متر عبور داده شد .سپس این نمونه‌ی خاک در سری الک‌ها (به‌ترتیب از بالا به پایین ۲، ۱، ۰/۵، ۰/۲۵، و ۰/۱ میلی‌متر) به شکل یکنواخت ریخته شد و درون آب به‌صورت حرکت بالا و پایین تکان داده شد تا خاکدانه‌ها تحت تأثیر تنش قرار گیرند. ارتفاع آب بر روی الک‌ها طوری تنظیم شد که خاکدانه‌های موجود بر روی الک بالایی در مدت زمان الک‌کردن و هنگامی‌که الک‌ها به بالاترین نقطه می‌رسند، اندکی از آب خارج شوند و زمانی‌که به پایین‌ترین نقطه می‌رسند، اندکی توسط آب پوشیده شوند. مدت زمان الک‌کردن برای تمامی نمونه‌ها ۱۰ دقیقه و دامنه‌ی رفت و برگشت ۱/۳ سانتیمتر در نظر گرفته شد. سپس الک‌ها به آرامی از آب خارج گردید، خاکدانه‌های باقیمانده روی هر الک شسته و در آون در دمای ۱۰۵ درجه‌ی سانتی‌گراد خشک شدند. سپس میانگین وزنی قطر خاکدانه (Mean weight diameter) به‌عنوان شاخص ارزیابی پایداری خاک‌دانه‌ها با استفاده از فرمول Kemper & Rosenau (1986) محاسبه گردید. کربن آلی به‌روش اکسیداسیون تر والکلی بلاک (Nelson & Sommers, 1982) و نیتروژن به‌روش کجلدال اندازه‌گیری شد. به‌منظور اندازه‌گیری کربن و نیتروژن آلی محلول، ابتدا عصاره‌ای از نمونه‌های خاک تهیه شد. سوسپانسیون حاصل به‌مدت ۴ ساعت در شیکر دورانی با سرعت ۲۰۰ دور در دقیقه تکان داده شد. سپس نمونه‌ها با سرعت ۹۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ شدند. در پایان، به‌منظور اندازه‌گیری DOC و DON، عصاره‌ها از فیلتر ۰/۴۵ میکرون عبور داده شدند. DOC محلول در عصاره‌ها به‌وسیله دستگاه تجزیه کربن آلی مدل TOC-V CPH Shimdzu اندازه‌گیری شد (Lakzian *et*

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-06-22]
[DOI: 10.61186/ifej.2024.570]

al., 2010). علم استوکیومتری (عنصرسنجی یا قیاس‌سنجی) اکولوژیکی، مطالعه توازن انرژی و عناصر شیمیایی در سیستم زیستی است و ابزار مهمی در مطالعه چرخه عناصر غذایی و درک پویایی و عملکرد اکوسیستم‌های خشک‌زی به‌شمار می‌رود (Zeng *et al.*, 2015؛ Lu *et al.*, 2023). در واقع، مرور منابع حاکی از آن است که بسیاری از پژوهش‌های صورت گرفته در سال‌های پیشین بر مقادیر مطلق مشخصه‌های گیاه و خاک تأکید داشته‌اند، در حالی‌که امروزه (Samadzadeh *et al.*, 2016؛ Ying *et al.*, 2024 و Wasonga *et al.*, 2024) بر نسبت بین مشخصه‌های گیاه و خاک به‌عنوان شاخصی از چرخه‌های عناصر غذایی (به‌ویژه کربن، نیتروژن و فسفر) تأکید می‌شود. در این پژوهش نیز از نسبت‌های مختلف بین متغیرها خاک به‌منظور برآورد بهتر عملکرد بوم‌سازگان استفاده گردیده است.

ویژگی‌های زیستی خاک

برای اندازه‌گیری تنفس پایه (BR) خاک از روش بطری بسته استفاده شد. تنفس برانگیخته (SIR) خاک، همانند روش تنفس پایه اندازه‌گیری شد با این تفاوت که به نمونه خاک، مواد غذایی (۰/۵ گرم گلوکز + ۰/۰۱ گرم دی‌پتاسیم فسفات + ۰/۰۷۵ گرم کلرید آمونیوم) افزوده شد و پس از ۳ روز، سود درون جارها با اسیدکلریدریک ۰/۲ نرمال تیتر گردید. تنفس ناشی از بستر (SIR) شامل اندازه‌گیری تنفس میکروبی نمونه‌ها پس از اصلاح آن‌ها با افزودن یک منبع مواد مغذی بیش‌ازحد برای تحریک و فعالیت میکروبی است. گلوکز معمولاً به‌عنوان یک بستر معمول برای اندازه‌گیری تنفس برانگیخته استفاده می‌شود، چراکه اکثر میکروارگانیسم‌های خاک می‌توانند به‌راحتی از آن به‌عنوان منبع کربن استفاده کنند. در این رابطه، تنفس برانگیخته در بسترهای مختلف نشان‌دهنده جمعیت فعال میکروبی و گاهی فراهمی زیستی برای سایر جوامع میکروبی است (Mahmoodi *et al.*, 2021). در این مطالعه، از سایر منابع کربن (مانند کربوهیدرات‌ها، اسیدهای آمینه و اسیدهای کربوکسیلیک) به‌دلیل تأثیر آن‌ها بر تنوع عملکردی میکروارگانیسم‌ها و سپس تنفس خاک استفاده شد. در دسترس بودن بستر به‌عنوان یک عامل اساسی مهم مؤثر بر تنفس خاک پیشنهاد شده است (Tian *et al.*, 2015). به‌منظور اندازه‌گیری سایر تنفس برانگیخته، Garland و Mills (1991) BIOLOG MicroPlate1 را بر اساس الگوهای استفاده از ۹۵ منبع تک کربنی (در ۳ گروه) معرفی کردند. آخرین مورد با استفاده از سیستم بیولوژیک (Tian *et al.*, 2015؛ Garland & Mills, 1991) و با در نظر گرفتن بسترهای زیر ارزیابی شد: در این روش ترکیبات آلی به نمونه‌های خاک اضافه شد که این ترکیبات آلی شامل یک آمین (ال‌گلوتامین)، پنج اسیدآمینه (ال‌آرژنین، ال‌گلوتامیک اسید، ال‌هیستیدین، ال‌لیزین و ال‌سرین)، پنج کربوهیدرات (D گلوکز، Dمانوز، آرابینوز، Dسوربیتول و Dفروکتوز) و شش اسید کربوکسیلیک (اسید سیتریک، اسیدL آسکوربیک، اسید فوماریک، D1مالیک اسید، اسید اوریک، اسید تارتاریک) بود. تنفس برانگیخته با افزودن ترکیبات آلی به نمونه‌های خاک و اندازه‌گیری پاسخ‌های تنفسی اندازه‌گیری شد.

روش‌های تجزیه و تحلیل اطلاعات

طرح آماری مورد استفاده در این تحقیق برای ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، به‌دلیل وجود عمق‌های مختلف (دو عمق ۰–۱۵ و ۱۵–۳۰ سانتی‌متر)، از نوع کرت خرد شده و در قالب طرح کاملاً تصادفی طراحی شده است. در این طرح، رویشگاه‌ها به‌عنوان فاکتور اصلی و عمق به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شده‌اند. این طراحی امکانی را فراهم می‌آورد تا تفاوت‌های میان رویشگاه‌ها و اثرات عمق خاک بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بررسی شود. به‌منظور بررسی تفاوت یا عدم تفاوت مقادیر این ویژگی‌ها از رویشگاه‌های مورد مطالعه، از آنالیز آماری GLM[1] استفاده شد. در این تحلیل، اثرات فاکتور اصلی (رویشگاه‌ها) و فاکتور فرعی (عمق خاک) مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین، به منظور بررسی تفاوت یا عدم تفاوت ویژگی‌های زیستی خاک (در عمق ۱۵–۰ سانتی‌متر)، از تحلیل واریانس یک‌طرفه ANOVA[2] استفاده شد. در این حالت، فرضیه صفر عدم وجود تفاوت معنی‌دار میان مقادیر ویژگی‌های زیستی در رویشگاه‌های مختلف است. نرمال بودن باقی‌مانده‌های مدل در هر دو تحلیل به‌وسیله آزمون کولموگروف–اسمیرنوف مورد بررسی قرارگرفت. مقایسه میانگین متغیرها در بین کاربری‌های مختلف با استفاده از آزمون چند دامنه دانکن برای بررسی تفاوت‌های بین رویشگاه‌ها و مقایسه میانگین در بین عمق‌های مختلف خاک با استفاده از آزمون تی‌تست انجام گرفت. تجزیه و تحلیل آماری در سطح ۱ و ۵ درصد برای کلیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ صورت پذیرفت. همچنین، ارتباط بین پوشش‌های گیاهی و تنفس خاک با استفاده از ترسیم نمودارها، از طریق نرم‌افزار Excel انجام گردید.

نتایج و بحث

نتایج آنالیز واریانس بررسی تغییرات ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از روش آماری کرت خرد شده نشان داد که ویژگی‌های میکروخاک‌دانه، ماکروخاک‌دانه، پایداری خاک، میانگین وزنی قطر خاک، کربن در میکروخاک‌دانه، کربن در ماکروخاک‌دانه، نسبت کربن در میکرو به ماکرو خاک‌دانه، نیتروژن در میکروخاک‌دانه، نیتروژن در ماکروخاک‌دانه، نسبت کربن به نیتروژن در میکروخاک‌دانه، نسبت کربن به نیتروژن در ماکروخاک‌دانه، کربن آلی محلول، نیتروژن آلی محلول و ماده آلی محلول در بین سه کاربری اختلافات معنی‌داری (۰/۰۵ > P) داشتند. نسبت خاک‌دانه میکرو به ماکرو و نسبت نیتروژن در میکرو به ماکرو خاک‌دانه اختلافات معنی‌داری را نشان ندادند (جدول ۱). نتایج حاصل از بررسی تغییرات عناصر خاک در رابطه با ویژگی‌های کربن و نیتروژن خاک نشان داد که از بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، میکروخاک‌دانه، ماکروخاک‌دانه، میانگین وزنی قطر خاک، کربن در

1- Generalized Linear Model
2- Analysis of Variance

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-06-22]
[DOI: 10.61186/ifej.2024.570]

میکروخاک‌دانه، کربن در ماکروخاک‌دانه، نیتروژن در میکروخاک‌دانه، نیتروژن در ماکروخاک‌دانه، نسبت نیتروژن در میکرو به ماکرو خاک‌دانه، کربن آلی محلول، نیتروژن آلی محلول و ماده آلی محلول در دو عمق خاک اختلافات معنی‌داری ($P<$ ۰/۰۵) را نشان دادند. این در حالی است که نسبت خاک‌دانه میکرو به ماکرو، پایداری خاک‌دانه، نسبت کربن در میکرو به ماکروخاک‌دانه، نسبت کربن به نیتروژن در میکروخاک‌دانه و نسبت کربن به نیتروژن در ماکروخاک‌دانه اختلافات معنی‌داری را نشان ندادند. هم‌چنین، در بررسی اثرات متقابل پوشش گیاهی و عمق بر مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، به‌جز نیتروژن آلی محلول، سایر مشخصه‌ها اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند (جدول ۱). نتایج حاصل از مقایسه میانگین متغیرها در بین کاربری‌های مختلف با استفاده از آزمون دانکن نشان داد که میکروخاک‌دانه، ماکروخاک‌دانه، پایداری خاک‌دانه، میانگین وزنی قطری خاک‌دانه، نیتروژن در ماکروخاک‌دانه، نسبت کربن به نیتروژن در میکروخاک‌دانه، کربن، نیتروژن و ماده آلی محلول در کاربری جنگل به‌طور معنی‌داری ($p<$ ۰/۰۵) بیشتر از دو کاربری دیگر بود. در حالی‌که کربن در میکروخاک‌دانه و ماکروخاک‌دانه، نیتروژن در میکروخاک‌دانه و نسبت کربن به نیتروژن در ماکروخاک‌دانه در دو کاربری جنگل و مرتع مشجر بیشتر از کاربری مرتع بودند (جدول ۲).

جدول ۱- تجزیه واریانس ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در کاربری‌ها (جنگل، مرتع مشجر و مرتع) و عمق‌های مختلف خاک (۰- ۱۵ و ۱۵- ۳۰ سانتی‌متر) مورد مطالعه

Table 1. Analysis of variance for soil's physical and chemical characteristics in different studied land uses (forest, woodland, and rangeland) and soil depths (0-15 and 15-30 cm)

منابع (Sources)	پوشش گیاهی Land cover	عمق Depth	پوشش گیاهی × عمق Land cover × Depth
درجه آزادی (df)	2	1	2
میکروخاکدانه (Micro-aggregate)	8.30**	27.68**	0.27ns
ماکروخاکدانه (Macro-aggregate)	15.56**	38.05**	0.82ns
نسبت خاکدانه میکرو به ماکرو (Micro/ Macro-aggreg)	0.72ns	1.29ns	0.00ns
پایداری خاکدانه (Aggregate stability)	44.74**	0.76ns	0.00ns
میانگین وزنی قطری خاکدانه (Weighted Mean Diameter of Soil Aggregates)	8.16**	10.05**	0.44ns
کربن در میکروخاکدانه (C in Micro-aggregate)	10.90**	4.09*	1.35ns
کربن در ماکروخاکدانه (C in Macro-aggregate)	7.82**	10.71**	0.11ns
نسبت کربن در میکرو به ماکرو خاکدانه (C in Micro/ Macro-aggregate)	6.53**	2.65ns	0.36ns
نیتروژن در میکروخاکدانه (N in Micro-aggregate)	13.75**	5.42*	0.81ns
نیتروژن در ماکروخاکدانه (N in Macro-aggregate)	16.95**	23.67**	5.64 ns
نسبت نیتروژن در میکرو به ماکرو خاکدانه (N in Micro/ Macro-aggregate)	2.49ns	3.88*	1.18ns
نسبت کربن به نیتروژن در میکروخاکدانه (C/N in Micro-aggregate)	3.47*	0.32ns	6.79 ns
نسبت کربن به نیتروژن در ماکروخاکدانه (C/N in Macro-aggregate)	4.27*	0.65ns	0.43ns
ماده آلی محلول (Dissolved organic matter)	46.51**	11.36**	0.16ns
نیتروژن آلی محلول (Dissolved organic N)	27.63**	38.22**	4.16*
کربن آلی محلول (Dissolved organic C)	73.46**	34.05**	0.93ns

**، * و ns: به‌ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ و ۰/۰۵ و عدم معنی‌داری.

جدول ۲- میانگین (± اشتباه معیار) ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در اثرات اصلی کاربری‌ها (جنگل، مرتع مشجر و مرتع) و عمق‌های مختلف خاک (۰- ۱۵ و ۱۵- ۳۰ سانتی‌متر) مورد مطالعه

Table 2. Means (± standard error) of physical and chemical characteristics of the soil in the main effects of different studied land uses (forest, woodland, and rangeland) and soil depths (0-15 and 15-30 cm)

ویژگی‌های خاک Soil properties	کاربری جنگل Forest	مرتع مشجر Woodland	کاربری مرتعی Rangeland	عمق ۰-۱۵ سانتی‌متری خاک 0-15 cm soil depth	عمق ۱۵-۳۰ سانتی‌متری خاک 15-30 cm soil depth
میکروخاکدانه (درصد) (Micro-aggregate)	35.79 ± 3.37a	26.72 ± 2.95b	21.62 ± 2.27b	35.61 ± 2.39a	20.48 ± 2.15b
ماکروخاکدانه (درصد) (Macro-aggregate)	20.33 ± 1.89a	14.00 ± 1.30b	10.55 ±1.05b	19.43 ± 1.37a	10.48 ± 0.88b
نسبت خاکدانه میکرو به ماکرو (Micro/ Macro-aggregate)	0.90 ± 0.18a	0.70 ± 0.06a	0.62 ± 0.07a	0.74 ± 0.11a	0.74 ± 0.07a
پایداری خاکدانه (درصد) (Aggregate stability)	71.64 ± 1.46a	56.18 ± 2.05b	49.15 ± 2.16c	58.12 ± 2.14a	59.86 ± 1.79a
میانگین وزنی قطری خاکدانه (درصد) Weighted Mean Diameter of Soil Aggregates	0.35 ± 0.03a	0.25 ± 0.03b	0.21 ± 0.02b	0.31 ± 0.02a	0.22 ± 0.02b
کربن در میکروخاکدانه (درصد) (C in Micro-aggregate)	1.96 ± 0.26a	2.05 ± 0.21a	1.01 ± 0.18b	1.04 ± 0.11a	0.79 ± 0.09b
کربن در ماکروخاکدانه (درصد) (C in Macro-aggregate)	1.32 ± 0.13a	0.79 ± 0.13a	0.63 ± 0.08b	2.07 ± 0.21a	1.29 ± 0.14b
نسبت کربن در میکرو به ماکرو خاکدانه (C in Micro/ Macro-aggregate)	1.88 ± 0.32b	11.36 ± 2.77a	5.15 ± 2.05b	7.90 ± 2.16a	4.36 ± 1.01a
نیتروژن در میکروخاکدانه (N in Micro-aggregate)	0.11 ± 0.01a	0.08 ± 0.00a	0.04 ± 0.00b	0.09 ± 0.00a	0.06 ± 0.00b
نیتروژن در ماکروخاکدانه (N in Macro-aggregate)	0.22 ± 0.03a	0.13 ± 0.01b	0.06 ± 0.01c	0.19 ± 0.02a	0.08 ± 0.01b
نسبت نیتروژن در میکرو به ماکرو خاکدانه N in Micro/ Macro-aggregate	2.82 ± 0.41a	1.85 ± 0.28a	2.00 ± 0.29a	2.60 ± 0.30a	1.84 ± 0.23b
نسبت کربن به نیتروژن در میکروخاکدانه C/N in Micro-aggregate	20.30 ± 3.42a	15.15 ± 1.82ab	25.97 ± 3.83b	19.51 ± 1.66a	21.43 ± 3.31a
نسبت کربن به نیتروژن در ماکروخاکدانه C/N in Macro-aggregate	11.09 ± 1.41a	20.80 ± 2.06a	22.17 ± 4.20b	16.66 ± 1.75a	19.38 ± 2.87a
کربن آلی محلول (گرم بر کیلوگرم) (Dissolved organic C)	48.84 ± 3.90a	31.88 ± 3.11b	13.95 ± 1.26c	36.54 ± 2.73a	26.58 ± 3.20b
نیتروژن آلی محلول (گرم بر کیلوگرم) (Dissolved organic N)	2.025 ± 2.29a	13.33 ± 1.18b	7.13 ± 0.61c	18.03 ± 1.62a	9.11 ± 0.86b
ماده آلی محلول (گرم بر کیلوگرم) (Dissolved organic matter)	69.10 ± 4.86a	45.22 ± 3.64b	21.09 ± 1.69c	54.57 ± 3.83a	35.70 ± 3.58b

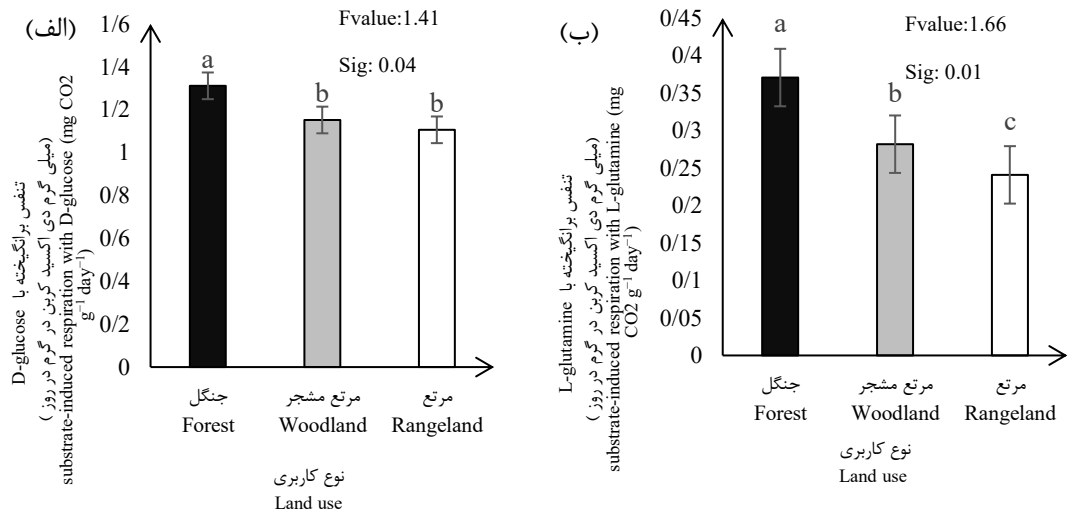
[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: 10.61186/ifej.2024.570]

جدول ۳- میانگین (± اشتباه معیار) ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در اثرات متقابل کاربری نوع پوشش × عمق خاک مورد مطالعه
Table 3. Means (± standard error) of physical and chemical characteristics of the soil in the interaction effects of studied land uses × soil depths

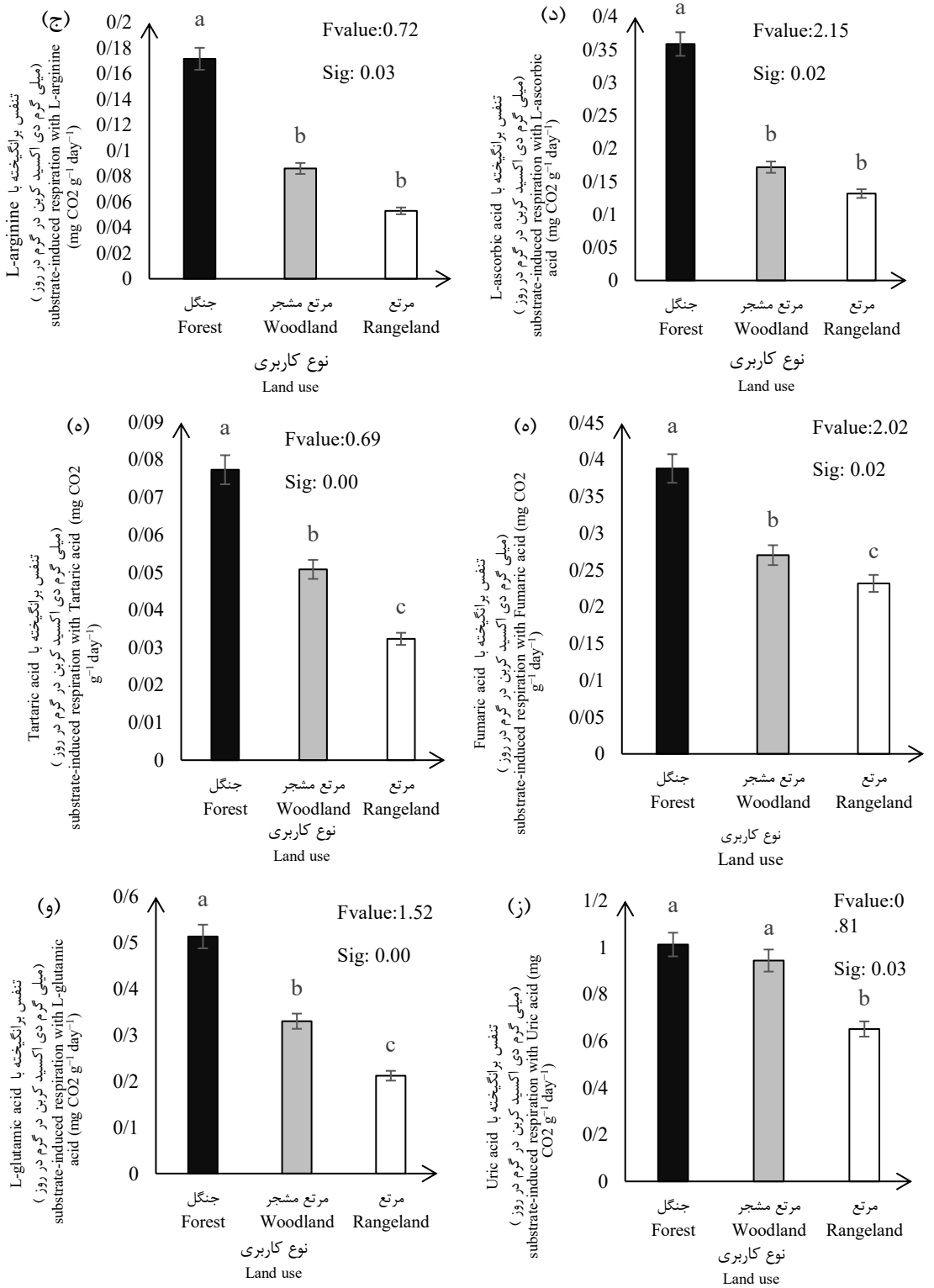
ویژگی‌های خاک Soil properties	کاربری جنگل × عمق ۰-۱۵ سانتی‌متری خاک Forest × 0-15 cm soil depth	کاربری جنگل × عمق ۱۵-۳۰ سانتی‌متری خاک Forest × 15-30 cm soil depth	مرتع مشجر × عمق ۰-۱۵ سانتی‌متری خاک Woodland × 0-15 cm soil depth	مرتع مشجر × عمق ۱۵-۳۰ سانتی‌متری خاک) Woodland ×15-30 cm soil depth	کاربری مرتعی × عمق ۰-۱۵ سانتی‌متری خاک) Rangeland × 0-15 cm soil depth	کاربری مرتعی × عمق ۱۵-۳۰ سانتی‌متری خاک Rangeland ×15-30 cm soil depth)
میکروخاکدانه (درصد) Micro-aggregate	44.15 ± 3.85a	27.15 ± 4.91a	34.60 ± 4.60a	18.85 ± 2.87a	27.75 ± 3.15a	15.50 ± 2.73 a
ماکروخاکدانه (درصد) Macro-aggregate	25.95 ± 2.06 a	14.70 ± 2.19 a	18.45 ± 2.21 a	9.55 ± 0.55 a	13.90 ±3.76 a	7.20 ± 0.86 a
نسبت خاکدانه میکرو به ماکرو Micro/ Macro-aggregate	0.98 ± 0.01 a	0.82 ± 0.17 a	0.68 ± 0.03 a	0.72 ± 0.09 a	0.57 ± 0.05 a	0.68 ± 0.12 a
پایداری خاکدانه (درصد) Aggregate stability	70.85 ± 2.27 a	72.43 ± 1.88 a	55.37 ± 3.21 a	56.99 ± 2.62 a	48.14 ± 3.66 a	50.16 ± 2.40 a
میانگین وزنی قطری خاکدانه (درصد) Weighted Mean Diameter of Soil Aggregates	0.42 ± 0.03 a	0.28 ± 0.05 a	0.28 ± 0.03 a	0.21 ± 0.05 a	0.25 ± 0.02 a	0.17 ± 0.03 a
کربن در میکروخاکدانه (درصد) C in Micro-aggregate	1.33 ± 0.20 a	2.30 ± 0.16 a	1.06 ± 0.32 a	2.42 ± 0.11 a	0.75 ± 0.13 a	1.48 ± 0.11 a
کربن در ماکروخاکدانه (درصد) C in Macro-aggregate	2.30 ± 0.43 a	1.63 ± 0.30 a	2.42 ± 0.37 a	1.68 ± 0.17 a	1.48 ±0.29 a	0.55 ± 0.15 a
نسبت کربن در میکرو به ماکرو خاکدانه C in Micro/ Macro-aggregate	2.37 ± 0.55 a	1.39 ± 0.33 a	13.98 ± 5.16 a	8.74 ± 2.04 a	7.35 ± 3.61 a	2.95 ± 1.93 a
نیتروژن در میکروخاکدانه N in Micro-aggregate	0.13 ± 0.01 a	0.08 ± 0.02 a	0.09 ± 0.01 a	0.07 ± 0.01 a	0.05 ± 0.00 a	0.04 ± 0.00 a
نیتروژن در ماکروخاکدانه N in Macro-aggregate	0.32 ± 0.05 a	0.11 ± 0.05 a	0.16 ± 0.03 a	0.10 ± 0.03 a	0.08 ± 0.01 a	0.04 ± 0.01 a
نسبت نیتروژن در میکرو به ماکرو خاکدانه N in Micro/ Macro-aggregate	3.58 ± 0.05 a	2.05 ± 0.38 a	1.91 ± 0.03 a	1.80 ± 0.44 a	2.31 ± 0.01 a	1.69 ± 0.41 a
نسبت کربن به نیتروژن در میکروخاکدانه C/N in Micro-aggregate	11.40 ± 1.06 a	29.20 ± 6.21 a	21.34 ± 2.23 a	8.96 ± 2.18 a	25.80 ± 3.76 a	26.14 ± 6.80 a
نسبت کربن به نیتروژن در ماکروخاکدانه C/N in Macro-aggregate	8.58 ± 1.36 a	13.59 ± 2.39 a	18.36 ± 1.95 a	23.25 ± 3.62 a	23.04 ± 4.15 a	21.31 ± 7.42 a
کربن آلی محلول (گرم بر کیلوگرم) Dissolved organic C	52.16 ± 4.75 a	44.52 ± 6.16 a	38.05 ± 3.35 a	25.72 ± 4.95 a	18.41 ± 1.92 a	9.51 ± 0.87 a
نیتروژن آلی محلول (گرم بر کیلوگرم) Dissolved organic N	27.23 ± 3.54a	13.28 ± 1.97bc	17.85 ± 1.59b	8.81 ± 1.04cd	9.12 ± 0.92cd	5.25 ± 0.56d
ماده آلی محلول (گرم بر کیلوگرم) Dissolved organic matter	80.39 ± 6.32 a	57.81 ± 6.61 a	55.90 ± 4.08 a	34.54 ± 5.07 a	27.42 ± 2.56 a	14.76 ± 1.04 a

نتایج تحلیل واریانس یک‌طرفه تغییرات ویژگی‌های زیستی خاک نشان داد که تنفس برانگیخته با منابع مختلف کربن در بین سه کاربری دارای اختلاف معنی‌دار ($P< ۰/۰۵$) شد (شکل ۲). هم‌چنین، نتایج حاصل از مقایسه میانگین متغیرها در بین کاربری‌های مختلف با استفاده از آزمون دانکن نشان داد که تنفس برانگیخته در تمام تیمارهای مورد استفاده (یک آمین (ال‌گلوتامین)، پنج اسید آمینه (الآرژنین، ال‌گلوتامیک اسید، ال‌هیستیدین، ال‌لیزین و ال‌سرین)، پنج کربوهیدرات (Dگلوکز، Dمانوز، آرابینوز، Dسوربیتول و Dفروکتوز) و شش اسید کربوکسیلیک (اسید سیتریک، اسید Lآسکوربیک، اسید فوماریک، D1مالیک اسید، اسید اوریک، اسید تارتاریک) در کاربری جنگل به‌طور معنی‌داری ($p < ۰/۰۵$) بیشتر از دو کاربری دیگر بود (شکل ۲).



شکل ۲- میانگین (± اشتباه معیار) تنفس میکروبی خاک در کاربری‌های مختلف (جنگل، مرتع مشجر و مرتع)
Figure 2. Mean (± standard error) soil microbial respiration in different land uses (forest, woodland, and rangeland)

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-06-22]
[DOI: 10.61186/ifej.2024.570]

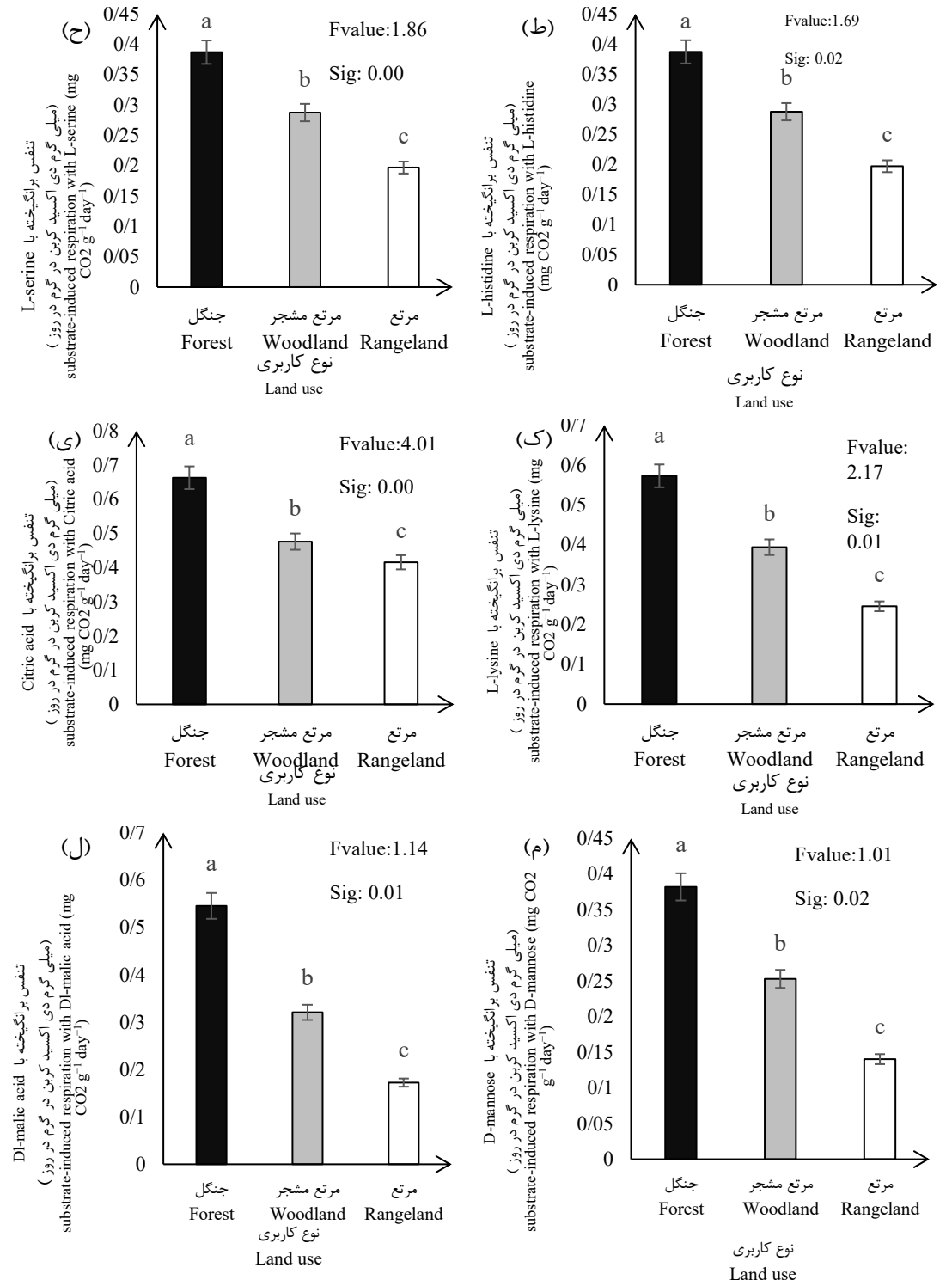


شکل ۲- میانگین (± اشتباه معیار) تنفس میکروبی خاک در کاربری‌های مختلف (جنگل، مرتع مشجر و مرتع)

Figure 2. Mean (± standard error) soil microbial respiration in different land uses (forest, woodland, and rangeland)

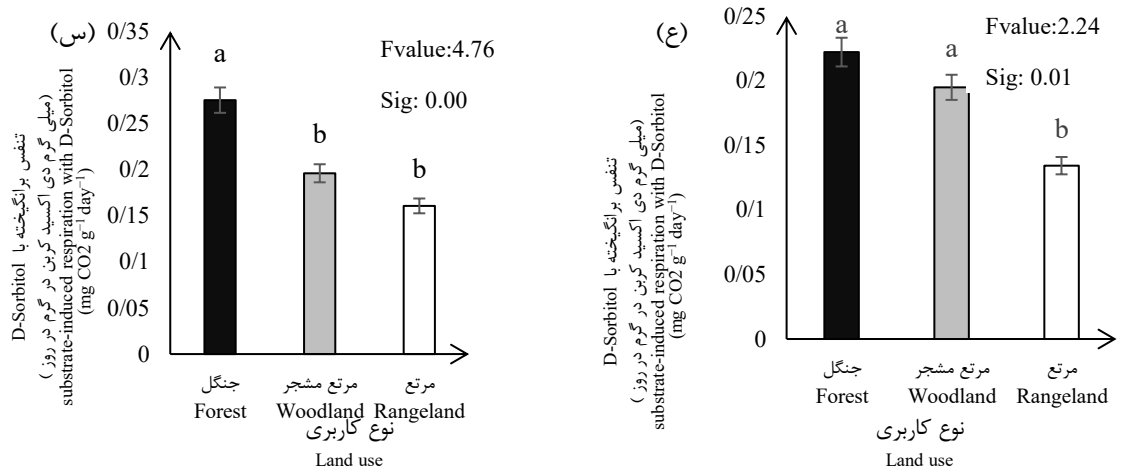
[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: 10.61186/ifej.2024.570]



شکل ۲- میانگین (± اشتباه معیار) تنفس میکروبی خاک در کاربری‌های مختلف (جنگل، مرتع مشجر و مرتع)
Figure 2. Mean (± standard error) soil microbial respiration in different land uses (forest, woodland, and rangeland)

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-06-22]
[DOI: 10.61186/ifej.2024.570]



شکل ۲- میانگین (± اشتباه معیار) تنفس میکروبی خاک در کاربری‌های مختلف (جنگل، مرتع مشجر و مرتع)
Figure 2. Mean (± standard error) soil microbial respiration in different land uses (forest, woodland, and rangeland)

تخریب زمین به‌دلیل اثرات زیان‌بار آن بر بهره‌وری، محیط‌زیست، خواص خاک و پیامدهای آن بر امنیت غذایی و کیفیت کلی زندگی، در طول قرن بیست و یکم یک نگرانی مهم جهانی خواهد بود (Modaberi *et al.,* 2022; Chalise *et al.,* 2019; Eswaran *et al.,* 2019). تخریب خاک در کنار تخریب زمین به‌عنوان یک موضوع نگران‌کننده در عرصه محیط‌زیست مطرح می‌شود. این پدیده به‌عنوان یک "همه‌گیری جهانی" شناخته شده‌است و توجه به آن نشان‌دهنده اهمیت جدی تخریب خاک به‌عنوان یک چالش جهانی است. تخریب خاک نه‌تنها پیامدهای زیست‌محیطی و اقتصادی دارد، بلکه می‌تواند تأثیرات عمیقی بر امنیت غذایی و سلامت بوم‌سازگان‌ها نیز بگذارد. بنابراین، ضرورت توجه و اقدام فوری در این زمینه بیش از پیش حس می‌شود (Gomiero *et al.,* 2016). نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که از بین ویژگی‌های فیزیکی، میکروخاک‌دانه، ماکروخاک‌دانه، پایداری خاک‌دانه و میانگین وزنی قطری خاک‌دانه در سه کاربری پوشش گیاهی دارای اختلافات معنی‌دار بودند. میزان میکرو و ماکروخاک‌دانه و منافذ خاک معمولاً برای تعیین سطح پایداری خاک در رابطه با بهره‌برداری از زمین و فعالیت‌های مدیریت خاک ارزیابی می‌شود (Lipiec & Håkansson, 2000). ماکروخاک‌دانه بیشتر از ریشه و هیف‌ها و میکروخاک‌دانه از ترکیبات هومیک تشکیل شده‌اند (Wagner *et al.,* 2007) و به‌همین دلیل ماکروخاک‌دانه پایداری کمتری از میکروخاک‌دانه دارد و ممکن است به‌دلیل تغییرات رطوبت و تغییرات مکانیکی خاک از هم متلاشی شده و در نتیجه ماده آلی آن دچار تغییر شود. در نتیجه، تبدیل کاربری اراضی به یکدیگر می‌تواند اثرات متفاوتی بر فاکتورهای میکرو و ماکروخاک‌دانه بگذارد. خاکدانه‌های خاک و پایداری آن ارتباط نزدیکی با ترکیب ذرات خاک، ماده آلی، نوع کاربری و ویژگی‌های ریشه دارد (Li *et al.,* 2023). ریشه‌ها سهم عمده‌ای در تشکیل ماده آلی ایفا می‌کنند و می‌توانند تجمع خاک را از طریق درهم تنیدگی فیزیکی یا ترشحات مواد سیمانی افزایش دهند (Poirier *et al.,* 2018). افزایش ماده آلی و سیستم ریشه‌ای گسترده‌تر می‌تواند از دلایل افزایش میکرو و ماکرو خاکدانه در جنگل شود.

بر اساس نتایج حاصل از بررسی اثرات اصلی، پایداری خاک‌دانه در دو عمق مختلف بیشترین مقادیر را در کاربری جنگل نشان داد. خاک‌دانه‌های خاک واحد اساسی ساختمان خاک هستند (Lynch & Bragg, 1985; Tang et al., 2022) و پایداری خاک‌دانه به‌طور کلی به‌عنوان شاخص کیفیت خاک در نظر گرفته می‌شود (Pulido Moncada *et al,* 2015). پایداری خاک‌دانه‌ها تحت تأثیر عوامل اتصال‌دهنده مختلف ازجمله مواد آلی قرار می‌گیرد (Six *et al.,* 2004). در نتیجه، انتظار می‌رود شیوه‌های مدیریت اراضی با تأثیر بر ویژگی‌های مختلف خاک، مانند ظرفیت آب در دسترس گیاه، ورودی لاش‌برگ و محتوای کربن آلی خاک موجب تغییر در پایداری شوند (Kooch *et al.,* 2024). اساساً، پایداری خاک‌دانه‌ها با عوامل اتصال بین ذرات خاک تعیین می‌شود و مواد آلی عامل اتصال غالب در خاک محسوب می‌شوند (Liu *et al.,* 2019). بنابراین، تفاوت در زیست‌توده گیاهی روزمینی تحت کاربری‌های مختلف اراضی به‌خصوص در بوم‌سازگان جنگل (Zhang *et al.,* 2004; Liu *et al.,* 2019) بر ورودی‌های مواد آلی و پایداری خاکدانه‌ها تأثیر می‌گذارد که در نهایت منجر به تغییر میانگین وزنی قطر خاک‌دانه می‌گردد. در این رابطه میانگین وزنی قطر (MWD) خاک‌دانه‌های خاک اغلب برای تعیین کمیت پایداری خاک‌دانه‌ها استفاده می‌شود (Choudhury *et al.,* 2014) و بهترین شاخص بررسی کمی ساختمان خاک، فاکتور میانگین وزنی قطر خاکدانه است (Zhu *et al.,* 2018). از این‌رو، مقادیر بیشتر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در کاربری جنگل نسبت به سایر کاربری‌ها می‌تواند نشان‌دهنده پایداری بیشتر خاک جنگل باشد. نتایج مطالعات نشان می‌دهند که ساختمان خاک با تجمع خاک‌دانه‌های تشکیل می‌شوند که در آن ذرات خاک باواسطه کربن آلی خاک، بیوتا، پل کاتیونی، خاک رس و کربنات‌ها با یکدیگر اتصال پیدا

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-06-22]
[DOI: 10.61186/ifej.2024.570]

می‌کنند (Guo *et al.,* 2020). هر گونه تغییر در فاکتورهای مذبور منجر به تغییر پایداری خاک‌دانه‌های خاک می‌شود (Gan *et al.,* 2024). نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که مقادیر کربن آلی خاک در مرتع مشجر و مرتع نسبت به جنگل کاهش یافته است.

نتایج حاصل از بررسی تغییرات عناصر خاک در رابطه با ویژگی‌های کربن و نیتروژن خاک نشان داد که از بین ویژگی‌های شیمیایی خاک، کربن در میکروخاک‌دانه، کربن در ماکروخاک‌دانه، نسبت کربن در میکرو به ماکرو خاک‌دانه، نیتروژن در میکروخاک‌دانه، نیتروژن در ماکروخاک‌دانه، نسبت کربن به نیتروژن در میکروخاک‌دانه، نسبت کربن به نیتروژن در ماکروخاک‌دانه، کربن آلی محلول، نیتروژن آلی محلول و ماده آلی محلول در سه کاربری پوشش گیاهی اختلافات معنی‌داری را نشان دادند. همچنین، نتایج حاصل از بررسی اثرات متقابل پوشش گیاهی و عمق، معنی‌داری نیتروژن الی محلول را در بین مشخصه‌های دیگر نشان داد. در این راستا، آفیونگ و ایوارا (Offiong & Iwara., 2012) بیان نمودند که تبدیل بوم‌سازگان‌های جنگلی به سایر کاربری‌ها می‌تواند منجر به تغییراتی در سطوح کربن آلی خاک شود که می‌تواند به نوسانات دما، رطوبت خاک و ترکیب گونه‌های گیاهی نسبت داده شود. چنین تغییراتی همچنین می‌تواند بر کمیت و کیفیت زیتوده آلی که به خاک بازگردانده می‌شود تأثیر بگذارد. در پژوهش پیش‌رو، تغییرات کربن در ماکرو و میکروخاک‌دانه، به‌دلیل حضور گونه‌های درختی در کاربری جنگل است. در همین رابطه، مطالعات مختلف بیان نمودند که با توجه به ساختمان خاک، مقادیر کربن و نیتروژن و همچنین درصد میکرو و ماکروخاک‌دانه‌ها در انواع کاربری‌ها متفاوت است (Tong *et al.,* 2021; Zhao *et al.,* 2021).

در این راستا، تغییرپذیری محتویات کربن و نیتروژن در اجزای خاک‌دانه بسیار متغیر و تابع شرایط رویشگاه و نوع پوشش گیاهی روزمینی است (Sofo *et al.,* 2020). طبق نتایج حاصل از اثرات اصلی، بیشترین میزان نیتروژن ماکرو و میکروخاک‌دانه در کاربری جنگل در عمق اول مشاهده شد، که این مسئله به‌دلیل وجود گونه‌های برگ‌ریز و لاش‌برگ با غلظت بالای نیتروژن در کاربری جنگل است (Scanes, 2018; Mao *et al.,* 2010). همچنین، مقدار افزایش نیتروژن در کاربری جنگلی در مقایسه با سایر کاربری‌ها ممکن است به افزایش قابل‌توجه محتوای ماده آلی خاک در بوم‌سازگان جنگل نسبت داده شود. درختان جنگلی به‌دلیل حجم بیشتری از اجزای گیاهان، از جمله برگ‌ها، شاخه‌ها، پوست و قسمت‌های زیرزمینی، در انباشت مواد آلی در خاک نسبت به سایر کاربری‌ها کارآمدتر هستند (Zhang *et al.,* 2015; Kooch *et al.,* 2022). گونه‌های درختی در رویشگاه جنگلی منطقه مورد مطالعه (به‌عنوان مثال، بلوط اوری و لور از خانواده ممرز) برگریز با کیفیت بستر بالا (محتوای مواد مغذی بالا، نسبت C/N پایین) هستند (Aubert *et al*., 2003) که حاصلخیزی خاک را در جنگل در مقایسه با سایر کاربری‌ها افزایش می‌دهند. همچنین، تجزیه لاش‌برگ از مکانیسم‌های اصلی خاک محسوب می‌شود که منجر به تجمع ماده آلی و مواد مغذی در خاک می‌گردد. با این‌حال، به‌دلیل این که فرایند تجزیه لاش‌برگ در مراتع کندتر انجام می‌شود، در نتیجه از میزان ورودی مواد آلی و مغذی کاسته می‌شود (Qi *et al.,* 2015). هم‌چنین، اثرات غیرمستقیم تغییرات کاربری از جنگل به مرتع منجربه تغییر در شرایط ریزاقلیم خاک (یعنی رژیم‌های رطوبت و دما) به‌دلیل حذف پوشش درختان در بوم‌سازگان است. علاوه بر این، با توجه به تخریب رویش‌گاه‌های جنگلی و تغییر پوشش‌های زمین، میزان مواد آلی وارد شده به خاک و هم‌چنین کیفیت بقایای گیاهی به‌طور چشم‌گیری تغییر می‌کند از میزان عناصر غذایی و حاصل‌خیزی خاک کاسته می‌شود (Francaviglia *et al.,* 2017; Sun *et al.,* 2021; Kooch *et al.,* 2023).

نتایج ویژگی‌های میکروبی خاک نشان داد که تنفس برانگیخته در تمام تیمارهای مورد استفاده (یک آمین (ال‌گلوتامین)، پنج اسیدآمینه (ال‌آرژنین، ال‌گلوتامیک اسید، ال‌هیستیدین، ال‌لیزین و ال‌سرین)، پنج کربوهیدرات (Dگلوکز، Dمانوز، آرابینوز، Dسوربیتول و Dفروکتوز) و شش اسید کربوکسیلیک (اسید سیتریک، اسید Lآسکوربیک، اسید فوماریک، D1مالیک اسید، اسید اوریک، اسید تارتاریک) در کاربری جنگل به‌طور معنی‌داری بیشتر از دو کاربری دیگر بود. حاصلخیزی خاک، ترکیب جامعه میکروبی و تنفس خاک تحت تأثیر پوشش گیاهی است که به‌نوبه خود بر زیتوده میکروبی و کارایی در استفاده از کربن آلی خاک و در نهایت تنفس خاک تأثیر می‌گذارد (Bargali, 1996). وجود پوشش گیاهی جنگلی تأثیر زیادی بر فرآیندهای میکروبی درگیر در چرخه‌های کربن و نیتروژن، به‌ویژه تنفس خاک (یعنی انتشار CO_2) دارد. دلیل این امر آن است که کیفیت و کمیت لاش‌برگ، ترشحات ریشه و ویژگی‌های خاک بین انواع مختلف پوشش گیاهی متفاوت است که همین امر بر میزان تنفس خاک و انتشار دی‌اکسید کربن اثرگذار می‌باشد (Bargali *et al.,* 2015; Raj *et al.,* 2022). ترکیب و فراوانی زیتوده میکروبی و تنفس خاک به‌عنوان شاخص‌های مؤثر تغییرات در انواع مواد مغذی، گونه‌های گیاهی و آب و هوا عمل می‌کند (Spohne *et al.,* 2016). مقدار کربنی که در زیتوده میکروبی وجود دارد تحت تأثیر عوامل مختلف مانند ریزاقلیم، نسبت ترکیبات آلی، تراکم ریشه، تنوع گیاهی و ساختار خاک است (Moore *et al.,* 2000). در مجموع تغییر در شرایط عادی هر بوم‌سازگان و تخریب زیستگاه‌های طبیعی می‌تواند بر عوامل (به‌عنوان مثال، کیفیت و کیفیت لاش‌برگ، گونه‌های مختلف، شکاف‌های تاج‌پوش، ریز اقلیم و غیره) تأثیرگذار بر فعالیت‌های میکروبی و انتشار دی‌اکسید کربن خاک تأثیر بگذارد (Tiamgne *et al.,* 2021). همچنین، فعالیت‌های میکروبی خاک به‌شدت توسط عوامل محیطی مانند دما، محتوای آب، اسیدیته و ترکیب جامعه روزمینی هدایت می‌شود (Sherman & Coleman, 2020). بنابراین، اثرات کاربری‌های مختلف بر تنفس اتوتروف و میکروبی خاک به‌دلیل برهمکنش قوی بین عوامل غیر زیستی و زیستی چالش‌برانگیز است. افزایش شاخص‌های فوق در کاربری جنگل می‌تواند به‌دلیل در دسترس بودن بیشتر کربن و شرایط محیطی بهتر (به‌عنوان مثال دما و محتوای آب خاک) با بیومس میکروبی بالاتر در بوم‌سازگان جنگلی مرتبط باشد.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-06-22]
[DOI: 10.61186/ifej.2024.570]

علاوه بر این، کاربری‌های مختلف در منطقه خشک کوهستانی به‌شدت بر تنفس میکروبی برانگیخته، مستقل از بسترهای مورد استفاده تأثیر می‌گذارند. نتایج حاصل از این پژوهش تأکید می‌کند که تبدیل مناطق جنگلی به بوم‌سازگان‌های دیگر منجر به تغییر چرخه کربن و نیتروژن و تنفس میکروبی خاک شده است. این تحقیق نشان می‌دهد که بوم‌سازگان‌های جنگلی از زیست‌توده میکروبی بالاتر و کیفیت خاک بهتر در مقایسه با مراتع برخوردار هستند. این را می‌توان به عواملی مانند در دسترس بودن ماده آلی خاک، تنوع لاش‌برگ و وجود ریز ریشه‌ها نسبت داد. بنابر این، تبدیل جنگل به مرتع مستلزم خطرات قابل‌توجهی برای عملکرد خاک است.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی، یافته‌های این پژوهش بر حساسیت ویژگی‌های مختلف خاک در کاربری‌های مختلف تأکید می‌نماید، که نشان می‌دهد انواع مختلف پوشش زمین مستقیماً بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک تأثیر می‌گذارند که به‌نوبه خود بر ویژگی‌های میکروبی و تنفس خاک اثرگذار هستند. این نتایج، راهنمایی ارزشمندی را برای مطالعات آینده در رابطه با حفاظت خاک، مدیریت و پایداری بلندمدت خاک در شرایط اقلیمی کوهستانی و خشک ارائه می‌دهد. در نهایت، این مطالعه بر نیاز فوری به پیشبرد شیوه‌های مدیریت پایدار برای جلوگیری از تغییرات کاربری و ترویج اجرای تکنیک‌های احیا و بازسازی تأکید می‌کند. علاوه‌بر این، با اجرای شیوه‌های حفاظتی از پوشش‌های جنگلی در این زیستگاه‌ها، می‌توان شرایط خاک در این بوم‌سازگان‌ها را بهبود بخشید. هم‌چنین، به‌منظور احیای مناطق تخریب‌شده در اقلیم‌های مشابه، استفاده از گونه‌های بومی برای تضمین حفظ پایداری اکوسیستم توصیه می‌شود.

تشکر و قدردانی

این اثر تحت حمایت مادی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF) برگرفته شده از طرح شماره «۴۰۱۴۷۷۸» انجام شده است.

References

Anderson, J.P.E., & Domsch, K.H. (1978). A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 10, 215–221.

Aubert, M., Hedde, M., Decaens, T., Bureau, F., Margerie, P., & Alard, D. (2003). Effects of tree canopy composition on earthworms and other macro-invertebrates in beech forests of Upper Normandy (France). *Pedobiologia*, 47, 904–912.

Bargali, S.S. (1996). Weight loss and N release in decomposing wood litter in a eucalypt plantation age series. *Soil Biology and Biochemistry*, 28, 699-702.

Bargali, S.S., Shukla, K., Singh, L., Ghosh, L., & Lakhera, M.L. (2015). Leaf litter decomposition and nutrient dynamics in four tree species of dry deciduous forest. *Tropical Ecology*, 56(2), 191-200.

Brown, S., Mahmood, A.R., Goslee, K.M., Pearson, T.R., Sukhdeo, H., Donoghue, D.N., & Watt, P. (2020). Accounting for greenhouse gas emissions from forest edge degradation: Gold mining in Guyana as a case study. *Forests*, 11(12), 1307.

Cambardella, C.A., & Elliott, E.T. (1992). Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal*, 56, 777-783.

Chalise, D., Kumar, L., & Kristiansen, P. (2019). Land degradation by soil erosion in Nepal: A review. *Soil Systems*, 3(1), 12.

Chen, X., Taylor, A.R., Reich, P.B., Hisano, M., Chen, H.Y., & Chang, S.X. (2023). Tree diversity increases decadal forest soil carbon and nitrogen accrual. *Nature*, 618(7963), 94-101.

Dahir, Y.A., Derege, T.M., & Tadeos, S.W. (2022). Variability of soil chemical properties in lower Wabishebele Sub-Basin in Somali Region South-eastern Ethiopia, as influenced by land use and land cover. *African Journal of Agricultural Research*, 18(2), 153-161.

Davari, M., Gholami, L., Nabiollahi, K., Homaee, M., & Jafari, H. J. (2020). Deforestation and cultivation of sparse forest impacts on soil quality (case study: West Iran, Baneh). *Soil and Tillage Research*, 198, 104504.

Dupouey, J.L., Dambrine, É., Laffite, J.D., & Moares, C. (2002). Irreversible impact of past land use on forest soils and biodiversity. *Ecology*, 83(11), 2978-2984.

Durán-Zuazo, V.H., Francia-Martínez, J.R., García-Tejero, I., & Tavira, S.C. (2013). Implications of land-cover types for soil erosion on semiarid mountain slopes: Towards sustainable land use in problematic landscapes. *Acta Ecologica Sinica*, 33(5), 272-281.

Eswaran, H., Lal, R., & Reich, P.F. (2019). Land degradation: an overview. *Response to land degradation*, 20-35.

Francaviglia, R., Renzi, G., Ledda, L. & Benedetti, A. (2017). Organic carbon pools and soil biological fertility are affected by land use intensity in Mediterranean ecosystems of Sardinia, Italy. *Science of the Total Environment*, 599, 789-796.

Gan, F., Shi, H., Gou, J., Zhang, L., Dai, Q., & Yan, Y. (2024). Responses of soil aggregate stability and soil erosion resistance to different bedrock strata dip and land use types in the karst trough valley of Southwest China. *International Soil and Water Conservation Research*, 12(3), 684-696.

Garland, J.L., & Mills, A.L (1991). Classification and characterization of heterotrophic microbial communities on the basis of patterns of community-level sole-carbon-source utilization. *Applied and Environmental Microbiology*, 57(8), 2351-2359.

Gomiero, T. (2016). Soil degradation, land scarcity and food security: Reviewing a complex challenge. *Sustainability*, 8(3), 281.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-06-27]

[DOI: 10.61186/ifej.2024.570]

Guo, L., Shen, J., Li, B., Li, Q., Wang, C., Guan, Y., D'Acqui, L.P., Luo, Y., Tao, Q., Xu, Q., & Li, H. (2020). Impacts of agricultural land use change on soil aggregate stability and physical protection of organic C. *Science of the Total Environment*, 707, 136049.

Heydari, N., Mousavi, S.B., Beheshti Al-Agha, A., Rakhsh, F., & Karimi, I. (2022). The effect of land use change on some physical, chemical and biological characteristics of soil. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53 (7): 1625-1643.

Huang, J., Liu, W., Yang, S., Yang, L., Peng, Z., Deng, M., Xu, S., Zhang, B., Ahirwal, J., & Liu, L. (2021). Plant carbon inputs through shoot, root, and mycorrhizal pathways affect soil organic carbon turnover differently. *Soil Biology and Biochemistry*, 160, 108322.

Huang, Y., Li, P., An, Q., Mao, F., Zhai, W., Yu, K., & He, Y. (2021). Long-term land use/cover changes reduce soil erosion in an ionic rare-earth mineral area of southern China. *Land Degradation & Development*, 32(14), 4042-4055.

Hydari, N., Mousavi, S.B., Beheshti Ale Agha, A., Rakhsh, F., & Karimi, I. (2022). The effect of land use change on some physical, chemical and biological characteristics of soil. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53(7), 1625-1643.

Jafari Haqiqi, M. (1382). Methods of soil analysis, sampling and important physical and chemical analyzes with emphasis on theoretical and practical principles, Mashhad. *Naday Zohi Publications* [In Persian]

Karimi, Y., Omid, E., Nouraei, A. S. (2024). Ten-Year Monitoring of the Vegetation Composition of the Sisangan Forest Park before and after the Cydalima perspectali Outbreak. *Ecology of Iranian Forest*, 12(1), 1-15.

Kebebew, S., Bedadi, B., Erkossa, T., Yimer, F., & Wogi, L. (2022). Effect of different land-use types on soil properties in Cheha District, South-Central Ethiopia. *Sustainability*, 14(3), 1323.

Kemper, W.D., & Rosenau, R.C. (1986). Aggregate stability and size distribution. Methods of soil analysis: *Part 1 Physical and mineralogical methods*, 5, 425-442.

Kooch, Y., Ghorbanzadeh, N., Haghverdi, K. & Francaviglia, R. (2023). Soil quality cannot be improved after thirty years of land use change from forest to rangeland. *Science of The Total Environment*, 856, 159132.

Kooch, Y., Ghorbanzadeh, N., Kuzyakov, Y., Praeg, N. & Ghaderi, E. (2022). Investigation of the effects of the conversion of forests and rangeland to cropland on fertility and soil functions in mountainous semi-arid landscape. *Catena*, 210, 105951.

Kooch, Y., Heidari, F., Nouraei, A., Wang, L., Ji, Q.Q., Francaviglia, R., & Wu, D. (2024). Can soil health in degraded woodlands of a semi-arid environment improve after thirty years? *Science of The Total Environment*, 928, 172218.

Kooch, Y., Mohmedi Kartalaei, Z., Amiri, M., Zarafshar, M., Shabani, S., & Mohammady, M. (2024). Soil health reduction following the conversion of primary vegetation covers in a semi-arid environment. *Science of The Total Environment*, 921, 171113.

Kooch, Y., Theodose, T., & Samonil, P. (2014). Role of deforestation on spatial variability of soil nutrients in a Hyrcanian forest. *Ecopersia*, 2(4), 779-803.

Kurniawan, S., Utami, S.R., Mukharomah, M., Navarette, I.A., & Prasetya, B. (2019). Land use systems, soil texture, control carbon and nitrogen storages in the forest soil of UB forest, Indonesia. *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*, 41(3), 416-427.

Lakzian A., Halajnia A., & Rahmani, H. (2010). The effect of alternating cycles of dry and wet soil on organic carbon, phosphorus and organic and mineral nitrogen. *Water and Soil Journal*, 24, 234-243 [In Persian]

Le Bissonnais, Y., Blavet, D., De Noni, G., Laurent, J.Y., Asseline, J., & Chenu, C. (2007). Erodibility of Mediterranean vineyard soils: relevant aggregate stability methods and significant soil variables. *European Journal of Soil Science*, 58(1), 188-195.

Li, Y., Ma, Z., Liu, Y., Cui, Z., Mo, Q., Zhang, C., Sheng, H., Wang, W. & Zhang, Y. (2023). Variation in soil aggregate stability due to land use changes from alpine grassland in a high-altitude watershed. *Land*, 12(2), 393.

Lipiec, J. & Håkansson, I. (2000). Influences of degree of compactness and matric water tension on some important plant growth factors. *Soil and Tillage Research*, 53(2), 87-94.

Liu, M., Han, G., & Zhang, Q. (2019). Effects of soil aggregate stability on soil organic carbon and nitrogen under land use change in an erodible region in Southwest China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(20), 3809.

Liu, M., Han, G., Li, Z., Zhang, Q., & Song, Z. (2019). Soil organic carbon sequestration in soil aggregates in the karst Critical Zone Observatory, Southwest China. *Plant, Soil & Environment*, 65(5), 253-259.

Liu, X., Zhang, W., Zhang, B., Yang, Q., Chang, J., & Hou, K. (2016). Diurnal variation in soil respiration under different land uses on Taihang Mountain, North China. *Atmospheric Environment*, 125, 283-292.

Lu, M., Zeng, F., Lv, S., Zhang, H., Zeng, Z., Peng, W., Song, T., Wang, K. & Du, H. (2023). Soil C: N: P stoichiometry and its influencing factors in forest ecosystems in southern China. *Frontiers in Forests and Global Change*, 6, 1142933.

Lynch, J.M., & Bragg, E. (1985). Microorganisms and soil aggregate stability. *In Advances in Soil Science*: 2 (pp. 133-171). Springer New York.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: 10.61186/ifej.2024.570]

Ma, J., Qin, J., Ma, H., Zhou, Y., Shen, Y., Xie, Y., & Xu, D. (2022). Soil characteristic changes and quality evaluation of degraded desert steppe in arid windy sandy areas. *Peer J*, 10, 13100.

Mahmoodi, M.B., Kooch, Y. & Alberti, G. (2023). Tree species is more effective than season dynamics on topsoil function and CO2 emissions in the temperate forests. *Ecological Research*, 38(1), 134-145.

Mao, R., Zeng, D.H., Ai, G.Y., Yang, D., Li, L.J., & Liu, Y.X. (2010). Soil microbiological and chemical effects of a nitrogen-fixing shrub in poplar plantations in semi-arid region of Northeast China. *European Journal of Soil Biology*, 46(5), 325-329.

Mehmandoost, F., Owliaie, H., Adhami, E., & Naghiha, R. (2018). Effect of land use change on some physicochemical and biological properties of the soils of Servak plain, Yasouj region. *Water and Soil*, 32(3), 587-599.

Meyfroidt, P., & Lambin, E.F. (2011). Global forest transition: prospects for an end to deforestation. *Annual Review of Environment and Resources*, 36, 343-371.

Moore, J.M., Klose, S., & Tabatabai, M.A. (2000). Soil microbial biomass carbon and nitrogen as affected by cropping systems. *Biology and Fertility of Soils*, 31,.200-210.

Motaghian, H.R., & Mohammadi, J. (2011). Comparison of Some Soil Physical Quality Indices in Different Land Uses in Marghmalek Catchment, Shahrekord (Chaharmahal-va-Bakhtiari Province). *Water and Soil*, 25(1), 115-124 [In Persian]

Mottagian, H., & Mohammadi, J. (2010). Comparison of some soil physical indicators in different land uses in Shahrekord Murghmolek area (Chahar Mahal and Bakhtiari Provinces), *Water and Soil Journal*, 25, 56-62.

Nelson, D.W., & Sommers, L.E. (1982). Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (Eds.). *Methods of soil analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties*, 9, 539-579.

Newbold, T., Hudson, L.N., Arnell, A.P., Contu, S., De Palma, A., Ferrier, S., Hill, S.L., Hoskins, A.J., Lysenko, I., Phillips, H.R., & Burton, V.J. (2016). Has land use pushed terrestrial biodiversity beyond the planetary boundary? A global assessment. *Science*, 353(6296), 288-291.

Nunes, J. S., Araujo, A. S. F., Nunes, L. A. P. L., Lima, L. M., Carneiro, R. F. V., Salviano, A. A. C., & Tsai, S. M. (2012). Impact of land degradation on soil microbial biomass and activity in Northeast Brazil. *Pedosphere*, 22, 88-95.

Offiong, R.A., & Iwara, A.I. (2012). Quantifying the stock of soil organic carbon using multiple regression model in a fallow vegetation, Southern Nigeria. *Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management*, 5(2), 166-172.

Otte, A., Simmering, D., & Wolters, V. (2007). Biodiversity at the landscape level: recent concepts and perspectives for multifunctional land use. *Landscape Ecology*, 22(5), 639-642.

Owliaie, H.M., Adhami, A., & Najafi Ghairi, M. (2023). The effects of land use change on some soil fertility and biological characteristics in Yasouj forest area. *Journal of Water and Soil Sciences*. 27 (3), 57-75.

Patiño, S., Hernández, Y., Plata, C., Domínguez, I., Daza, M., Oviedo-Ocaña, R., Buytaert, W., & Ochoa-Tocachi, B.F. (2021). Influence of land use on hydro-physical soil properties of Andean páramos and its effect on streamflow buffering. *Catena*, 202, 105227.

Poirier, V., Roumet, C. & Munson, A.D. (2018). The root of the matter: Linking root traits and soil organic matter stabilization processes. *Soil Biology and Biochemistry*, 120, 246-259.

Pulido Moncada, M., Gabriels, D., Cornelis, W., & Lobo, D. (2015). Comparing aggregate stability tests for soil physical quality indicators. *Land Degradation & Development*, 26(8), 843-852.

Qi, L.D.X., Long, R., & Tourrand, T.Y.J.F. (2015). Rangeland management in the Qilian Mountains, Tibetan plateau, China. *Livestock Farming & Local Development*, 68(2-3), 69-74.

Qiang, W., He, L., Zhang, Y., Liu, B., Liu, Y., Liu, Q., & Pang, X. (2021). Aboveground vegetation and soil physicochemical properties jointly drive the shift of soil microbial community during subalpine secondary succession in southwest China. *Catena*, 202, 105251.

Raj, A., Jhariya, M.K., Banerjee, A., Meena, R.S., Bargali, S.S., & Kittur, B.H. (2022). CO_2 Capture, Storage, and Environmental Sustainability: Plan, Policy, and Challenges. *In Plans and Policies for Soil Organic Carbon Management in Agriculture* (pp. 159-189). Singapore: Springer Nature Singapore.

Sadeghi, M., Ajurlo, M., & Shahriari, A. (2018). Comparison of the quality of Lashberg of three pasture types and its relationship with some soil characteristics. *Journal of Water and Soil Conservation Research*, 26 (1), 218-205.

Samadzadeh, B., Y. Kooch and S.M. Hosseini. (2016). The effect of tree covers on topsoil biological indices in a plain forest ecosystem. *Journal of Water and Soil Conservation*, 23(5), 105-121 [In Persian]

Scanes, C.G. (2018). Human activity and habitat loss: destruction, fragmentation, and degradation. *In Animals and human society* (pp. 451-482). Academic Press.

Shahpiri, A. (2021). Analysis of detritivors and decomposers changes related to stoichiometry of plant and soil quality characters. Faculty of Natural Resources and Marine Sciences. Tarbiat Modares University.

Sherman, L., & Coleman, M.D. (2020). Forest soil respiration and exoenzyme activity in western North America following thinning, residue removal for biofuel production, and compensatory soil amendments. *GCB Bioenergy*, 12(3), 223-236.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: 10.61186/ifej.2024.570]

Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S., & Denef, K. (2004). A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil and Tillage Research*, 79(1), 7-31.
Sofo, A., Mininni, A.N., & Ricciuti, P. (2020). Soil macrofauna: A key factor for increasing soil fertility and promoting sustainable soil use in fruit orchard agrosystems. *Agronomy*, 10(4), 456.
Spohn, M., Pötsch, E.M., Eichorst, S.A., Woebken, D., Wanek, W., & Richter, A. (2016). Soil microbial carbon use efficiency and biomass turnover in a long-term fertilization experiment in a temperate grassland. *Soil Biology and Biochemistry*, 97, 168-175.
Sun, X., Ye, Y., Ma, Q., Guan, Q. & Jones, D.L. (2021). Variation in enzyme activities involved in carbon and nitrogen cycling in rhizosphere and bulk soil after organic mulching. *Rhizosphere*, 19, 100376.
Sun, Y., Luo, C., Jiang, L., Song, M., Zhang, D., Li, J., Li, Y., Ostle, N.J., & Zhang, G. (2020). Land-use changes alter soil bacterial composition and diversity in tropical forest soil in China. *Science of the Total Environment*, 712, 136526.
Tang, X., Qiu, J., Xu, Y., Li, J., Chen, J., Li, B., & Lu, Y. (2022). Responses of soil aggregate stability to organic C and total N as controlled by land-use type in a region of south China affected by sheet erosion. *Catena*, 218, 106543.
Teimouri M., Mataji A., & Khazai Pol P. (2011). Changes in geographic directions and its effect on plant diversity in the forest (case study: Seri Garrazban of Khairud Forest). *Journal of Forest Science and Engineering Research*, 3, 35-42.
Tiamgne, X.T., Kalaba, F.K., & Nyirenda, V.R. (2021). Land use and cover change dynamics in Zambia's Solwezi copper mining district. *Scientific African*, 14, 01007.
Tian, J., McCormack, L., Wang, J., Guo, D., Wang, Q., Zhang, X., Yu, G., Blagodatskaya, E., & Kuzyakov, Y. (2015). Linkages between the soil organic matter fractions and the microbial metabolic functional diversity within a broad-leaved Korean pine forest. *European Journal of Soil Biology*, 66, 57-64.
Tong, H., Simpson, A.J., Paul, E.A., & Simpson, M.J.(2021). Land-use change and environmental properties alter the quantity and molecular composition of soil-derived dissolved organic matter. *ACS Earth and Space Chemistry*, 5(6), 1395-1406.
Tufa, M., Melese, A., & Tena, W. (2019). Effects of land use types on selected soil physical and chemical properties: The case of Kuyu District, Ethiopia. *Eurasian Journal of Soil Science*, 8(2), 94-109.
van der Wal, A., & De Boer, W. (2017). Dinner in the dark: illuminating drivers of soil organic matter decomposition. *Soil Biology and Biochemistry*, 105, 45-48.
Vesterdal, L., Clarke, N., Sigurdsson, B.D., & Gundersen, P. (2013). Do tree species influence soil carbon stocks in temperate and boreal forests? *Forest Ecology and Management*, 309, 4-18.
Wagner, S., Cattle, S.R., & Scholten, T. (2007). Soil-aggregate formation as influenced by clay content and organic-matter amendment. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, *170*(1), 173-180.
Wang, X., Zhou, M., Li, T., Ke, Y., & Zhu, B. (2017). Land use change effects on ecosystem carbon budget in the Sichuan Basin of Southwest China: Conversion of cropland to forest ecosystem. *Science of the Total Environment*, 609, 556-562.
Wasonga, O.V., Mganga, K.Z., Ngugi, R.K., Nyangito, M.M. & Nyariki, D.M. (2024). Soil Properties and Stoichiometry as Influenced by Land Use, Enclosures and Seasonality in a Semi-arid Dryland in Kenya. *Anthropocene Science*, 3(1), 23-34.
Worry, W. (2013). Deforestation and forest degradation: concern, causes, policies, and their impacts.
Yeboah, S.O., Amponsah, I.K., Kaba, J.S., & Abunyewa, A.A. (2022). Variability of soil physicochemical properties under different land use types in the Guinea savanna zone of northern Ghana. *Cogent Food & Agriculture*, 8(1), 2105906.
Ying, L., Maohua, M., Zhi, D., Pujia, Y., Yanjing, L., Bo, L., Ming, J. & Xianguo, L. (2024). Stoichiometric ratios in soil are relevant to the abundance of constructive species in reed-dominated saline-alkaline marshes. *Catena*, 234, 107548.
Zandi, L., Erfanzadeh, R., & Joneidi-Jafari, H. (2016). Impact of land use changes from rangeland to horti-agriculture on soil total carbon and particulate organic matter in micro-and macro aggregates (Case study: Salavatabad, Sanandaj). *Journal of Range and Watershed Managment*, 69(3), 587-596.
Zeng, Z., Wang, S., Zhang, C., Tang, H., Li, X., Wu, Z., & Luo, J. (2015). Soil microbial activity and nutrients of evergreen broad-leaf forests in mid-subtropical region of China. *Journal of Forestry Research*, 26(3), 673-678.
Zhang, J., Zhao, H., Zhang, T., Zhao, X., & Drake, S. (2005). Community succession along a chronosequence of vegetation restoration on sand dunes in Horqin Sandy Land. *Journal of Arid Environments*, 62(4), 555-566.
Zhang, W., Yuan, S., Hu, N., Lou, Y.,& Wang, S. (2015). Predicting soil fauna effect on plant litter decomposition by using boosted regression trees. *Soil Biology and Biochemistry*, 82, 81–86.
Zhao, C., Li, Y., Zhang, C., Miao, Y., Liu, M., Zhuang, W., Shao, Y., Zhang, W., & Fu, S. (2021). Considerable impacts of litter inputs on soil nematode community composition in a young Acacia crassicapa plantation. *Soil Ecology Letters*, 3, 145-155.
Zhu, G., Deng, L., & Shangguan, Z.(2018). Effects of soil aggregate stability on soil N following land use changes under erodible environment. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *262*, 18-28.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-06-22]
[DOI: 10.61186/ifej.2024.570]