



University of Tehran

Investigation of the carbon storage and some soil characteristics in the northern Zagros forests (case study: Sardasht and Piranshahr forests)

Jalal Henareh^{1*} | Yaghouh Iranmanesh² | Mehdi Pourhashemi³

1. Corresponding Author, Forests and Rangelands Research Department, West Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (AREEO), Urmia, Iran. Email: j.henareh@areeo.ac.ir
2. Forests and Rangelands Research Department, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shahrekord, Iran. Email: y.iranmanesh@areeo.ac.ir
3. Forest Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agriculture, Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. Email: pourhashemi@rifra.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:

Received: 24 January 2025
Revised: 18 February 2025
Accepted: 14 May 2025
Published online: 17 June 2025

Keywords:

*Coppice,
Monitoring,
Stand management,
West Azerbaijan.*

ABSTRACT

This study aimed to investigate, monitor, and compare carbon storage and selected soil characteristics in two different forest stands: a coppice stand in Pardanan (Piranshahr) and a coppice-with-standard oak stand in Darsarvin (Sardasht), West Azerbaijan Province. A square one-hectare sample plot was established in each site, and the quantitative and qualitative characteristics of all trees were fully recorded. To measure soil organic carbon and other properties, five soil samples were systematically collected from each site at a depth of 0–30 cm. Measurements were carried out over four years (2019–2022) to track trends in the variables. The results showed that soil carbon storage at the Pardanan site (154.24 tons per hectare) was significantly higher than at Darsarvin (121.96 tons per hectare). The average percentage of soil organic carbon was 3.70% in Pardanan and 2.91% in Darsarvin. This difference between sites, and across the monitoring years, was statistically significant at the 99% confidence level. Total nitrogen and available phosphorus also showed significant differences between the two stands and across the years at the same confidence level. Soil moisture differed significantly between the sites (99% level), though no significant variation was found over the years. Overall, the results indicate that differences in forest density and origin have led to notable variations in carbon storage and soil characteristics, reflecting the influence of forest management and degradation.

Cite this article: Henareh, J., Iranmanesh, Y., Pourhashemi, M. (2025). Investigation of the carbon storage and some soil characteristics of northern Zagros forests (case study: Sardasht and Piranshahr forests). *Journal of Forest and Wood Products*, 78 (1), 25-36. DOI: <http://doi.org/10.22059/jfwf.2025.389326.1329>



© The Author(s) **Publisher:** University of Tehran Press.
DOI: <http://doi.org/10.22059/jfwf.2025.389326.1329>



دانشگاه تهران

نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب

شاپا الکترونیکی: ۰۵۳۰-۲۳۸۳

سایت نشریه: <https://jfwf.ut.ac.ir>

بررسی ذخیره کربن و تغییرات برخی از ویژگی‌های خاک

در جنگل‌های زاگرس شمالی (مطالعه موردی: جنگل‌های سردشت و پیرانشهر)

جلال هناره^{۱*} | یعقوب ایرانمنش^۲ | مهدی پورهاشمی^۳

- نویسنده مسئول، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران. رایانامه: j.henareh@areeo.ac.ir
- بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران. رایانامه: y.iranmanesh@areeo.ac.ir
- بخش تحقیقات جنگل، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: pourhashemi@rifr.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

پژوهش حاضر با هدف مطالعه، پایش و مقایسه ذخیره کربن و برخی از خصوصیات خاک در دو توده مختلف شاخه‌زاد (پردانان پیرانشهر) و دانه و شاخه‌زاد بلوط (دارساروین سردشت) در استان آذربایجان غربی انجام شد. بدین منظور در هر یک از رویشگاه‌های انتخابی، یک قطعه نمونه مربعی یک هکتاری تعیین و مشخصه‌های کمی و کیفی تمام پایه‌ها به صورت صددرصد برداشت شد. برای اندازه‌گیری کربن آلی و سایر مشخصه‌های خاک، در هر رویشگاه، پنج نمونه خاک به طور منظم و از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری برداشت شد. جهت استخراج روند تغییر متغیرها و پایش آنها، اندازه‌گیری‌ها طی چهار سال از ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۱ انجام گرفت. بررسی ذخیره کربن خاک در دو رویشگاه مورد بررسی نشان می‌دهد که رویشگاه پردانان (۱۵۴/۳۴ تن در هکتار) اختلاف معنی‌داری با رویشگاه دارساروین (۱۲۱/۹۶ تن در هکتار) دارد. میانگین درصد کربن آلی خاک در توده پردانان ۳/۷۰ و در توده دارساروین ۲/۹۱ به دست آمد. این اختلاف میان دو رویشگاه و همچنین در سال‌های مختلف پایش، در سطح احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار بود. نیتروژن کل و فسفر قابل جذب خاک نیز اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۹۹ درصد بین دو توده و در سال‌های مختلف نشان دادند. میزان رطوبت خاک در دو رویشگاه مورد بررسی در سطح احتمال ۹۹ درصد اختلاف معنی‌دار نشان دادند ولی در سال‌های پایش تفاوت معنی‌داری نشان نداد. در یک نتیجه‌گیری کلی، نتایج در دو رویشگاه با تراکم و مبدأ متفاوت، بیانگر اختلاف در ذخیره کربن و سایر ویژگی‌های خاک دارد که ناشی از تأثیر مدیریت توده و تخریب جنگل در دو توده می‌باشد.

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۰۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۱/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۲۴

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۳/۲۷

کلیدواژه:

آذربایجان غربی،

پایش،

شاخه‌زاد،

مدیریت توده.

استناد: هناره؛ جلال، ایرانمنش؛ یعقوب، پورهاشمی؛ مهدی (۱۴۰۴). بررسی ذخیره کربن و تغییرات برخی از ویژگی‌های خاک در جنگل‌های زاگرس شمالی (مطالعه موردی: جنگل‌های سردشت و پیرانشهر). نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب، ۷۸ (۱)، ۳۶-۲۵. DOI: <https://doi.org/10.22059/jfwf.2025.389326.1329>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

<https://doi.org/10.22059/jfwf.2025.389326.1329>



۱. مقدمه

در سال‌های اخیر افزایش نگرانی‌ها در زمینه افزایش دی‌اکسیدکربن و گرمایش جهانی سبب شده است که توجه ویژه‌ای به راه‌های مقابله با ورود این گاز گلخانه‌ای به جو شود. پوشش جنگلی، هم در جذب CO₂ اتمسفری نقش دارد و هم با فراهم نمودن نهاده‌های کربن به شکل بقایای گیاهی بر مقدار کربن ذخیره خاک تأثیر می‌گذارد. حدود ۸۵ درصد از مساحت کشور (تقریباً ۳۹/۴ میلیون هکتار از کل مساحت ۱۶۴/۸ میلیون هکتاری کشور ایران) در بخش مناطق خشک و نیمه‌خشک تقسیم‌بندی می‌شوند که بین ۳۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر بارندگی را در طول سال دریافت می‌کنند. مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل وسعت زیاد آنها از سویی و کمبود رطوبت و در نتیجه کم بودن سرعت تجزیه ترکیبات کربن‌دار بافت‌های گیاهی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند [۱]. بوم‌سازگان‌های جنگلی از مهمترین بوم‌سازگان‌های زمین محسوب می‌شوند که نقش مهمی در ذخیره و چرخه جهانی کربن ایفا می‌کنند [۲]. کربن آلی خاک به عنوان یکی از پنج مخزن اصلی کربن معرفی شده برای جنگل‌هاست [۳]. جنگل‌های زاگرس از جمله اکوسیستم‌های طبیعی در محدوده خشک و نیمه‌خشک کشور هستند که با توجه به گستره وسیع خود، نقش مهمی در چرخه کربن ایفا می‌کند همچنین گسستگی زیاد و تفاوت زیاد توده‌های جنگلی اهمیت مطالعه در زمینه جنبه‌های مختلف این بوم‌سازگان وسیع را نشان می‌دهد.

پژوهش‌های زیادی اثر تنوع پوشش گیاهی را بر ذخیره کربن به اثبات رسانده‌اند [۴]. مقدار اندوخته کربن آلی خاک با ویژگی‌های مهم توده‌های جنگلی از قبیل مقدار لاش‌ریزه، عمق ریشه‌دوانی و نرخ تجزیه مواد آلی تعیین می‌گردد [۵]. نوع مدیریت جنگل نیز در ذخیره کربن گزارش شده است [۶]. در بوم‌سازگان‌هایی که دارای پوشش گیاهی و زی توده بیشتری هستند و نیز از توان زیستی بالاتری برخوردارند، مقدار ترسیب کربن افزایش می‌یابد. پژوهش‌های متعددی رابطه بین ترسیب کربن در واحد سطح (به‌ویژه کربن آلی خاک) را با نوع گونه‌های گیاهی، نوع اقلیم و عوامل خاک و توپوگرافی نشان داده‌اند [۷]. بررسی میزان ترسیب کربن خاک در بوم‌سازگان‌های طبیعی جنگلی، از جمله راهکارهای مناسب جهت مدیریت، توسعه و حفاظت از منابع طبیعی است و این امر نیز تنها در صورت کمی‌سازی اهمیت خاک و تأثیر گونه‌های جنگلی به واسطه اندازه‌گیری خصوصیات خاک قابل دستیابی می‌باشد [۸].

تعیین کاربری اراضی به عنوان یکی از عوامل اصلی تغییر در کیفیت خاک شناخته شده است. علاوه بر تغییر کاربری اراضی، توان متفاوت ترسیب کربن در بوم‌سازگان‌های مختلف، باعث شده است اندوخته کربن آلی خاک نسبت به مدیریت اراضی و کاربری اراضی فوق‌العاده حساس باشد [۹]. به‌طور کلی، هر گونه دخالت در توده‌های جنگلی از قبیل بهره‌برداری چوب و تنک کردن درختان بر پویایی کربن اکوسیستم جنگل تأثیرگذار است. تحقیقات Henareh Khalyani و همکاران (۲۰۲۱) نشان داد که ارزش خدمات بوم‌سازگانی جنگل‌های زاگرس شمالی از جمله کارکرد حفاظت آب و خاک، در اثر کاهش تاج‌پوشش جنگل، کاهش چشمگیری پیدا می‌کند [۱۰]. بنابراین انتظار می‌رود ساختار و نوع توده‌های جنگلی نیز در کیفیت خاک تأثیرگذار باشند. تأثیر انواع مختلف کاربری اراضی روی کیفیت خاک و تفسیر تغییرات مشاهده شده را می‌توان به واسطه اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک ارزیابی کرد. از سویی، درک سازوکار اثر کاربری‌های مختلف روی کیفیت خاک، می‌تواند راهکاری مناسب برای تصمیم‌گیری در مدیریت کاربری اراضی در مناطق مشابه باشد.

پژوهش Iranmanesh و همکاران (۲۰۲۳) درباره وضعیت اندوخته کربن در رویشگاه‌های جنگلی زاگرس نشان داد که تأثیر شرایط رویشگاهی، ساختار و تراکم پوشش گیاهی در اندوخته کربن بوم‌سازگان جنگلی بسیار مهم بوده و برهمین اساس، تفاوت مقدار اندوخته کربن کل در رویشگاه‌های بررسی‌شده در زاگرس، کاملاً مشهود است [۱۱]. در پژوهش یادشده، اندوخته کربن خاک، بیشترین سهم اندوخته کربن را در بوم‌سازگان‌های تحت بررسی به‌خود اختصاص داد. بررسی ترسیب کربن خاک در استان چهارمحال و بختیاری نشان داد که در بین کاربری‌های مختلف اراضی، جنگل قرق با ۴۷ و جنگل تخریب‌شده با ۱۳ تن در هکتار به ترتیب بیشترین و کمترین اندوخته کربن خاک را داشتند [۱۲]. Askari و همکاران (۲۰۲۴) نیز ضمن پایش برخی از متغیرهای خاک در رویشگاه‌های جنگلی بلوط در استان کهگیلویه و بویراحمد نتیجه‌گیری کردند که اغلب خاک‌هایی که دارای کربن آلی زیاد هستند، به‌طور نسبی از نظر سایر متغیرهای تأثیرگذار موجود در خاک نیز غنی‌تر می‌باشند [۱۳]. Zarafshar و همکاران (۲۰۲۱) نیز در بررسی سهم اندوخته کربن در خاک و لاش‌ریزه در دو توده قرق شده ۵۰ ساله (کمتر دخالت‌شده) و

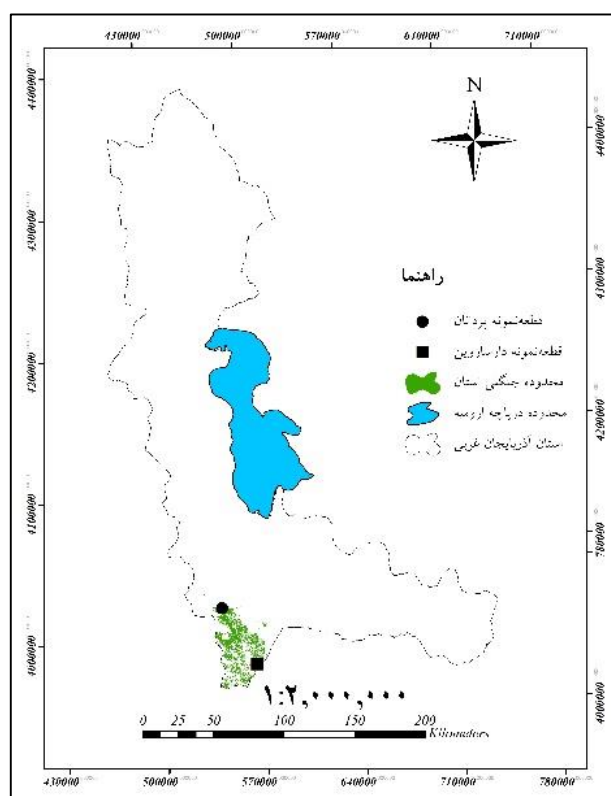
قرق نشده (دخالته شده) گلابی وحشی، اعلام کردند که مقدار فسفر و نیتروژن خاک در توده کمتر دخالت شده به ترتیب ۶ و ۲ برابر بیشتر از توده دخالت شده بود. نه تنها درصد رطوبت خاک در توده کمتر دخالت شده (۳۶ درصد) بیشتر از توده دخالت شده (۲۱ درصد) بود، بلکه مقدار تنفس میکروبی خاک در توده کمتر دخالت شده حدود ۳۱ درصد بیشتر از توده دخالت شده بود [۱۴]. Haidari و همکاران (۲۰۲۴) نیز با بررسی وضعیت ذخیره کربن خاک توده‌های جنگلی شاخه‌زاد در جنگل‌های شهرستان مریوان بیان کردند که اعمال مدیریت قرق و حفاظت جنگل سبب افزایش درصد کربن آلی و مقدار ذخیره کربن خاک می‌شود [۱۵].

با رشد روز افزون جمعیت، فشار بر عرصه‌های طبیعی از جمله خاک افزایش یافته و بهره‌برداری غیراصولی و تغییر کاربری‌های اراضی سبب تخریب بوم‌سازگان‌ها در ناحیه رویشی زاگرس شده است. هدف این پژوهش، مطالعه، پایش کوتاه‌مدت و مقایسه ذخیره کربن و برخی از خصوصیات خاک در دو توده شاخه‌زاد و دانه و شاخه‌زاد بلوط در استان آذربایجان غربی بود.

۲. روش‌شناسی پژوهش

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد بررسی در این پژوهش، رویشگاه‌های جنگلی زاگرس در جنوب استان آذربایجان غربی بود. جنگل‌های زاگرس استان آذربایجان غربی دارای دو تیپ متمایز است، تیپ شاخه و دانه‌زاد بلوط که بیشتر در شهرستان سردشت پراکنش دارد و تیپ شاخه‌زاد متراکم که بیشتر در شهرستان پیرانشهر پراکنش دارد. برای اجرای این پژوهش دو رویشگاه شامل، رویشگاه شاخه‌زاد (پردانان پیرانشهر) با تاج پوشش ۹۰ درصد و دانه و شاخه‌زاد (دارساروین سردشت) با تاج پوشش ۳۰ درصد انتخاب شدند (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی توده‌های مورد بررسی در شهرستان‌های سردشت و پیرانشهر، استان آذربایجان غربی

در شکل ۲، نمایی از وضعیت توده‌های مورد بررسی ارائه شده است. در کلیه جنگل‌های شاخه‌زاد استان، دخالت شدید در ساختار جنگل و قطع یکسره در دهه‌های ۳۰ و ۴۰ شمسی دیده می‌شود. اطلاعات کمی رویشگاه‌های مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده است.



(ب)



(الف)

شکل ۲. تصاویری از تیپ توده های مورد بررسی (الف): توده پردانان شهرستان پیرانشهر و (ب): توده دارساروین شهرستان سردشت

جدول ۱. مشخصات رویشگاه‌های مورد بررسی در استان آذربایجان غربی

رویشگاه	متوسط درصد شیب	جهت جغرافیایی غالب	ارتفاع از سطح دریا (متر)	تراکم در هکتار (پایه)	درصد تاج پوشش	میداء
دارساروین (سردشت)	۵۰	شمال غربی	۱۴۰۰	۲۷۷	۳۰	دانه و شاخه‌زاد
پردانان (پیرانشهر)	۱۰	شمالی	۱۴۵۰	۷۴۷	۹۰	شاخه‌زاد

۲-۲. روش پژوهش

به منظور بررسی اثر تاج پوشش بر ذخیره کربن و تغییرات برخی از ویژگی‌های خاک در هر یک از رویشگاه‌های انتخابی، یک قطعه نمونه مربع شکل یک هکتاری (ابعاد 100×100 متر) تعیین و مشخصه‌های کمی و کیفی تمام پایه‌ها در داخل قطعات نمونه به صورت صد درصد اندازه‌گیری شد. از آنجا که بیشترین مقدار کربن آلی خاک در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری تجمع دارد [۱۶]، برای اندازه‌گیری کربن آلی و سایر مشخصه‌های خاک، در هر رویشگاه، پنج نمونه خاک به طور منظم و از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری برداشت شد. وزن مخصوص ظاهری خاک به روش کلوخه تعیین شد. مقدار کل کربن آلی خاک در هر رویشگاه با استفاده از رابطه $(SOC = [SOC] \times Bulk Density \times Depth \times Coarse Fragments \times 10)$ ، که توسط IPCC ارائه شده است، محاسبه گردید [۳].

در این رابطه، SOC: ذخیره کربن آلی خاک، تن کربن در هکتار ($Mg C ha^{-1}$)، $[SOC]$ غلظت کربن آلی خاک در حجم خاک برداشت‌شده، گرم کربن بر کیلوگرم خاک ($g C / kg soil$)، Bulk Density جرم خاک بر حجم نمونه یا وزن مخصوص ظاهری خاک، تن بر متر مکعب ($Mg m^{-3}$)، Depth عمق نمونه‌برداری (متر)، Coarse Fragments قطعات بزرگ ($100/درصد$ حجم قطعات بزرگ) -۱ و ۱۰ ضریب تبدیل واحد به تن کربن در هکتار ($Mg C ha^{-1}$) است.

همچنین فاکتورهای فسفر، کربن آلی، نیتروژن، تنفس میکروبی و رطوبت خاک جهت بررسی تغییرات اندازه‌گیری شد. به منظور اندازه‌گیری تنفس میکروبی و رطوبت خاک، نمونه‌های برداشت شده، پس از قرارگیری در یخدان، بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شدند.

نیتروژن کل با روش کج‌لدال، فسفر قابل جذب به روش اولسن [۱۷]، با دستگاه اسپکتوفتومتری اندازه‌گیری شد. جهت استخراج روند تغییر متغیرها و پایش آنها، اندازه‌گیری‌ها طی چهار سال (۱۳۹۸ تا ۱۴۰۱) در مهر ماه انجام گرفت. اطلاعات جمع‌آوری شده پس از ساماندهی در نرم‌افزار اکسل ذخیره و نمودارهای مورد نظر ترسیم شد. تجزیه و تحلیل آماری در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ انجام شد. برای مقایسه اندوخته کربن توده‌ها (دو قطعه نمونه) از آزمون تی مستقل استفاده شد. تبعیت داده‌ها از توزیع نرمال نیز با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شد.

۳. یافته‌های پژوهش و بحث

۳-۱. نتایج کمی

بررسی مشخصه‌های کمی دو قطعه‌نمونه مورد بررسی، نشان داد که هر دو قطعه‌نمونه، با حضور چهار گونه، تنوع همسانی از نظر تعداد گونه دارند. تراکم در هکتار در قطعه‌نمونه دارساروین، ۲۷۷ و در قطعه‌نمونه پردانان پیرانشهر، ۷۴۷ پایه (جست‌گروه) در هکتار برداشت شد. ترکیب گونه‌ای در توده‌های مورد بررسی در جدول ۲ ارائه شده است. تیپ‌بندی توده‌های مورد بررسی بر مبنای متغیر سطح تاج نشان داد که هر دو توده شامل تیپ دارمازو، وی‌ول همراه زالزالک می‌باشند. سطح تاج‌پوشش توده‌های مورد بررسی از موارد بسیار مهم در پایش زوال توده‌ها می‌باشد که در دو رویشگاه مورد بررسی، سطح تاج‌پوشش توده دارساروین سردشت معادل ۹۰ درصد و توده پردانان پیرانشهر، معادل ۳۰ درصد می‌باشد.

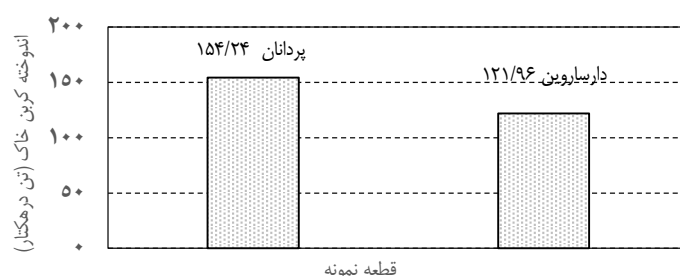
جدول ۲. اطلاعات کمی رویشگاه‌های مورد بررسی

مشخصه	توده دارساروین	توده پردانان
گونه‌های درختی و درختچه‌ای	دارمازو، وی‌ول، بلوط ایرانی، زالزالک	دارمازو، وی‌ول، زالزالک، گلابی وحشی
تعداد شاخه‌زاد	۶۵	۷۴۷
تعداد تک پایه (دانه‌زاد)	۲۱۲	۰
میانگین تعداد جست	$3/27 \pm 1/54$	$4/67 \pm 4/63$
میانگین قطر در ارتفاع ۰/۵ متری (سانتی‌متر)	$15/60 \pm 10/98$	$9/81 \pm 3/85$
میانگین ارتفاع (متر)*	$4/99 \pm 2/64$	$4/91 \pm 1/50$
میانگین سطح تاج (مترمربع)	$11/90 \pm 15/64$	$12/15 \pm 8/63$
میانگین رویه‌زمینی (سانتی‌متر مربع)	$287/56 \pm 415/19$	$87/15 \pm 64/60$

*در پایه‌های شاخه‌زاد ارتفاع قطورترین جست محاسبه شد.

۳-۲. اندوخته کربن خاک

مقایسه میانگین اندوخته کربن خاک بین قطعات نمونه پردانان و دارساروین نشان داد که میانگین اندوخته کربن آلی خاک در قطعه‌نمونه پردانان، ۱۵۴/۲۴ و در قطعه‌نمونه دارساروین، ۱۲۱/۹۶ تن در هکتار است (شکل ۳). این اختلاف از نظر آماری تفاوت معنی‌داری را در سطح احتمال ۹۵ درصد نشان داد.



شکل ۳. مقایسه مقدار اندوخته کربن خاک در توده‌های پردانان و دارساروین

Mahmoudi Taleghani و همکاران (۲۰۰۷) در برآورد ترسیب کربن جنگل‌های تحت مدیریت در شمال کشور، حجم در هکتار جنگل، تنوع در ترکیب و آمیختگی گونه‌ها را از عوامل مؤثر بر ترسیب کربن دانستند [۱۸]. در مطالعات متعددی نیز تأثیر آشفته‌گی‌ها و مداخلات انسانی بر کاهش مقدار اندوخته کربن روی زمینی مورد بررسی قرار گرفته است [۲۰، ۱۹]. Kirby در سال ۲۰۰۷ مقدار

زی‌توده جنگل‌های مدیریت شده را دو برابر جنگل‌های فاقد طرح مدیریت گزارش کرد [۶]. مطالعه Pato و همکاران (۲۰۱۷) نیز نشان داد که تعداد در هکتار، آمیختگی و تیپ جنگل، رابطه مستقیمی با زی‌توده جنگل دارد و به افزایش ذخیره کربن خاک کمک می‌کند [۲۱]. Askari و همکاران (۲۰۲۱) نیز اندوخته کربن در رویشگاه‌های بلوط ایرانی در استان کهگیلویه و بویراحمد را از ۱۲۶ تا ۱۴۶ تن در هکتار گزارش کردند که بیشترین مقدار اندوخته کربن مربوط به منطقه جنگلی قرق بوده است [۲۲]، نتایج آنها با نتایج حاصل از تحقیق حاضر در منطقه سردشت و پیرانشهر که از تنوع و تراکم پوشش گیاهی بهتری برخوردار است، مطابقت دارد. Haidari و همکاران (۲۰۲۴) نیز ذخیره کربن بیشتر در مناطق با تراکم بالاتر در جنگل‌های زاگرس را تأیید نمودند [۲۳].

۳-۳. بررسی متغیرهای خاک در دو رویشگاه

بررسی اندوخته کربن خاک در دو رویشگاه مورد بررسی نشان می‌دهد رویشگاه پردانان با ۱۵۴/۲۴ تن در هکتار اختلاف معنی‌داری با رویشگاه دارساروین با ۱۲۱/۹۶ تن در هکتار دارد. میانگین درصد کربن آلی خاک نیز در توده پردانان ۳/۷۰ و در توده دارساروین ۲/۹۱ به‌دست آمد (جدول ۳). این اختلاف میان دو رویشگاه و همچنین در سال‌های مختلف پایش، از نظر آماری در سطح احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار بود. نیتروژن کل و فسفر قابل جذب خاک نیز اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۹۹ درصد بین توده‌های پردانان و دارساروین و در سال‌های مختلف نشان دادند. مقدار فسفر قابل جذب خاک در توده دارساروین (۲۶/۰۷ میلی گرم بر کیلوگرم) بیشتر از قطعه‌نمونه پردانان (۱۱/۴۲ میلی گرم بر کیلوگرم) بود (جدول ۳). میزان رطوبت خاک در دو رویشگاه مورد بررسی در سطح احتمال ۹۹ درصد اختلاف نشان دادند ولی در سال‌های پایش تفاوت معنی‌داری نشان نداد. میزان تنفس میکروبی نیز علی‌رغم عدم اختلاف معنی‌دار در سطح دو رویشگاه، در سال‌های مختلف در سطح ۹۹ درصد اختلاف معنی‌دار نشان داد (جدول ۴).

جدول ۳. مقایسه میانگین متغیرهای خاک در توده‌های پردانان و دارساروین

میانگین		
توده پردانان	توده دارساروین	
۱۵۴/۲۴ (±۴۸/۹۶)	۱۲۱/۹۶ (±۲۷/۸۳)	اندوخته کربن آلی خاک (تن در هکتار)
۳/۷۰ (±۱/۰۷)	۲/۹۱ (±۰/۵۵)	درصد کربن آلی خاک (درصد)
۱۱/۴۲ (±۷/۹۴)	۲۶/۰۷ (±۱۲/۱۵)	فسفر (میلی گرم در کیلوگرم)
۰/۵۱ (±۰/۱۸)	۰/۳۵ (±۰/۰۶)	نیتروژن (درصد)
۱۲/۳۱ (±۴/۶۸)	۱۱/۶۶ (±۷/۷۲)	رطوبت (درصد)
۶۳۴/۸۸ (±۴۵/۹۴)	۴۷۷/۶۸ (±۱۰۰/۶۸)	تنفس میکروبی (میلی گرم در کیلو گرم)
۱۰/۲۶ (±۰/۶۵)	۱۰/۵۱ (±۰/۲۸)	سنگریزه (درصد)
۱/۵۳ (±۰/۰۶)	۱/۶۵ (±۰/۰۳)	وزن مخصوص ظاهری (میلی گرم در سانتی متر مکعب)

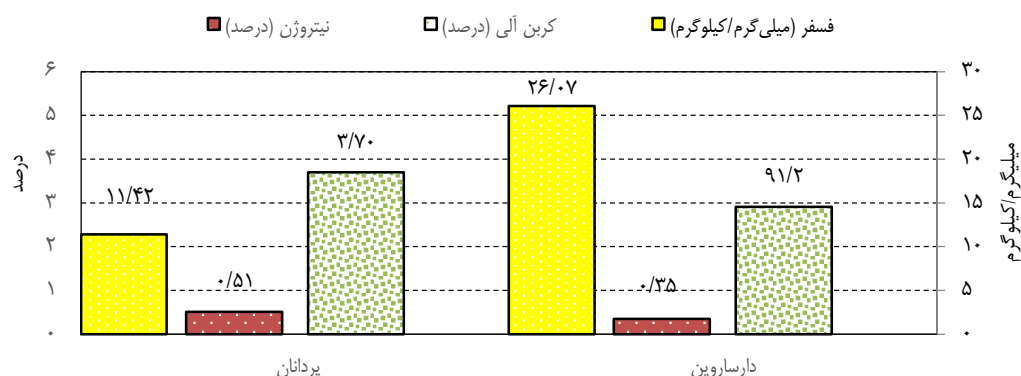
اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده اشتباه معیار است.

جدول ۴. تجزیه واریانس مقایسه شاخص‌های خاک در دو رویشگاه پردانان و دارساروین

میانگین مربعات						
منبع تغییرات	درجه آزادی	ذخیره کربن	کربن آلی خاک	فسفر قابل جذب	نیتروژن کل	رطوبت
سال	۳	۸۱۱۳/۷۹۴	۵/۲۱۵ **	۹۸۴/۸۹۸ **	۰/۰۹۵ **	۱۵۳۳۲/۵۷۹ ns
رویشگاه	۱	۱۵۳۵۳/۰۶۹ *	۹/۱۵۰ **	۲۲۳۳/۴۲۸ **	۰/۱۹۶ **	۲۶۳۴۸۴/۳۵۹ **
سال * رویشگاه	۳	۶۸۲۲/۷۴۱	۱/۶۷۹ ns	۱۳۹/۱۱۱ ns	۰/۱۰۰ **	۴۰۲۶۴/۷۳۹ *
خطا	۳۲	۲۴۲۱/۳۸۴	۰/۹۸۱	۱۲۶/۶۷۱	۰/۰۱۶	۱۱۵۸۴/۸۲۳

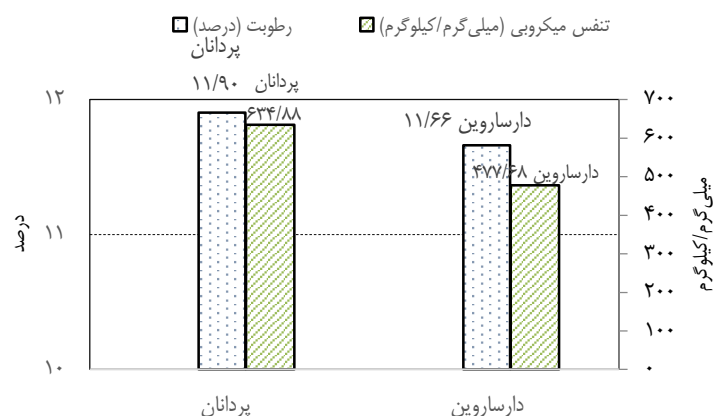
** دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد، * دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد و ns فاقد اختلاف معنی‌دار

مقایسه نیتروژن، فسفر و کربن آلی در دو رویشگاه مورد بررسی در شکل ۴ نشان داده شده است. رویشگاه دارساروین در میزان فسفر به صورت معنی داری سطح بالاتری را نشان می‌دهد. ولی در ارتباط با نیتروژن و کربن آلی خاک رویشگاه پردانان مقدار بالاتری را نشان دادند (شکل ۴).



شکل ۴. مقایسه مقدار کربن آلی، نیتروژن کل و فسفر قابل جذب خاک در توده‌های پردانان و دارساروین

میانگین درصد رطوبت خاک در توده پردانان به طور معنی داری (در سطح احتمال ۹۹ درصد) بیشتر از توده دارساروین است (شکل ۵). تأثیر سال و اثر متقابل سال و رویشگاه بر مقدار رطوبت معنی دار (در سطح احتمال ۹۵ درصد) بود. تنفس میکروبی خاک با اینکه در توده پردانان مقدار بالاتر و برداشت سال‌های مختلف اختلاف معنی داری نشان می‌دهد ولی در دو رویشگاه این اختلاف برای تنفس میکروبی خاک معنی دار نیست (شکل ۵).



شکل ۵. مقایسه مقدار رطوبت و تنفس میکروبی خاک در توده‌های پردانان و دارساروین

مقدار رطوبت و تنفس میکروبی و نیتروژن کل در خاک توده پردانان بیشتر از توده دارساروین است که علت آن را می‌توان در تاج پوشش بیشتر و تراکم بالای پوشش گیاهی در قطعه نمونه پردانان دانست. مقدار فسفر اگرچه در توده پردانان کمتر از دارساروین است، اما تفاوت موجود، از نظر آماری فقط در سال ۱۳۹۸ معنی دار است. افزایش نیتروژن از طریق تغییر کمیت و کیفیت لاشبرگ و تغییر در جامعه تجزیه کننده میکروبی بر کربن آلی خاک تأثیر می‌گذارد [۲۴]. بنابراین بالاتر بودن مقدار لاشریزه و بیشتر بودن تنفس میکروبی خاک در توده پردانان، دلیل اصلی بالاتر بودن مقدار نیتروژن کل و اندوخته کربن آلی خاک در این رویشگاه است. مطالعات مختلف نشان داده‌اند که در جنگل‌های با نیتروژن محدود، تثبیت نیتروژن، احتمالاً باعث افزایش غلظت نیتروژن شاخ و

برگ شده و این مسأله اثرات مثبتی را بر نرخ فتوسنتز، تعادل کربن خالص بوم‌سازگان و نرخ ترسیب کربن در پی خواهد داشت. بنابراین نیتروژن از طریق ارتباط بین ظرفیت فتوسنتزی برگ و غلظت نیتروژن شاخ و برگ‌ها، به‌عنوان یک تنظیم‌کننده مهم جذب کربن به حساب می‌آید. در شرایط افزایش نیتروژن، عموماً ورود کربن از طریق لاشبرگ افزایش یافته و این مسأله باعث افزایش ذخیره کربن آلی خاک می‌گردد [۲۵]. در خاک‌های جنگلی اروپا به‌ازای هر کیلوگرم نیتروژن تثبیت شده، بین ۵ الی ۳۵ کیلوگرم کربن ترسیب می‌گردد [۲۶].

تنفس گیاه و تنفس میکروبی در طول تجزیه لاشبرگ و ماده آلی خاک، جزء فرآیندهایی است که منجر به هدررفت کربن از بوم‌سازگان‌های جنگلی می‌شود. افزایش رطوبت به‌طور معمول شرایط را برای فعالیت‌های میکروبی مهیا می‌کند به‌همین دلیل بیشتر بودن مقدار تنفس میکروبی در توده پردانان نسبت به توده دارساروین که از میانگین رطوبت بیشتری برخوردار است، قابل توجیه و منطقی است. به‌عبارت دیگر، به‌دلیل بالا بودن مقدار ماده آلی خاک (کربن آلی) در توده پردانان، مواد اولیه مورد نیاز جهت تنفس میکروبی خاک فراهم‌تر بوده و به‌دلیل رطوبت بیشتر خاک، مواد اولیه به‌راحتی در اختیار جمعیت میکروبی قرار گرفته و نرخ تنفس افزایش یافته است.

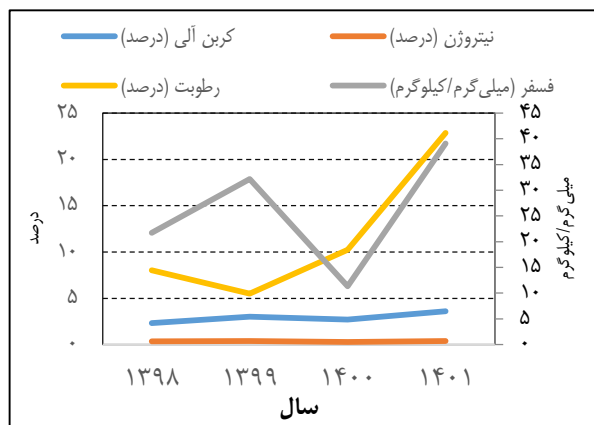
۳-۴. روند تغییرات و همبستگی متغیرهای خاک در سال‌های مختلف

روند تغییرات مقدار کربن آلی، نیتروژن، رطوبت و فسفر خاک در سال‌های مختلف در توده‌های مورد بررسی نشان می‌دهد در هر دو توده تغییرات کربن و نیتروژن خاک در سال‌های مختلف روند نسبتاً یکنواختی را نشان می‌دهد (شکل ۶). اما تغییرات درصد رطوبت و میزان فسفر خاک در هر دو توده علی‌رغم اینکه روند منظمی ندارند، از الگوی مشابهی پیروی می‌کنند (شکل ۶). در بررسی روند تغییرات در رویشگاه پردانان مشاهده می‌شود که در سال ۱۳۹۸، فسفر خاک با نیتروژن دارای همبستگی می‌باشد در حالی که در سال ۱۴۰۰، همبستگی نیتروژن با کربن آلی خاک مشاهده می‌گردد. در رویشگاه دارساروین نیز میان نیتروژن و کربن آلی خاک در ۱۳۹۸ همبستگی منفی و در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ همبستگی مثبت مشاهده شد (جدول ۵) کربن آلی خاک علاوه بر نقش خود در موضوع گرمایش زمین و تغییر اقلیم، ذخیره رطوبتی خاک را افزایش داده [۲۷] و نفوذپذیری و تصفیه آب را بهبود می‌بخشد. همچنین تراکم و فشردگی خاک را کاهش داده و از این طریق مقدار آبی را که از دسترس خارج می‌شود، کاهش می‌دهد و این خود به معنی کاهش رواناب و سیلاب است [۲۸].

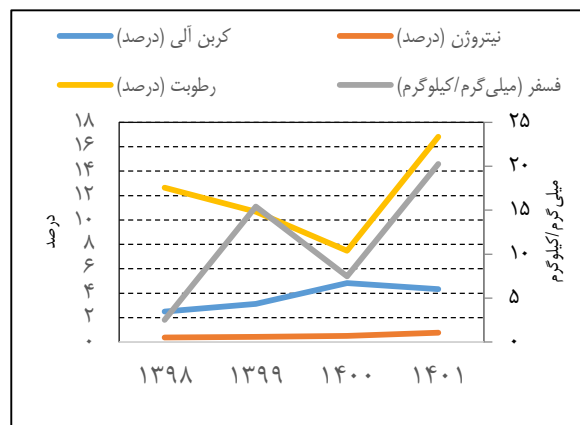
۴. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در یک نتیجه‌گیری کلی، نتایج این پژوهش در مقایسه دو رویشگاه با وضعیت تاج‌پوشش و مبدأ متفاوت نشان از اختلاف در ذخیره کربن دارد. تأثیر مدیریت توده و فعالیت‌های انسانی در دو توده که منجر به تفاوت در ساختار و میزان شاخه‌زادی در توده‌ها شده است، نشان داد که رویشگاه پردانان با تاج‌پوشش ۹۰ درصد و تعداد ۷۴۷ پایه شاخه‌زاد در هکتار، ۱۵۴/۲۴ تن در هکتار و رویشگاه دارساروین با تاج‌پوشش ۳۰ درصد و با مبدأ دانه و شاخه‌زاد، ۱۲۱/۹۶ تن در هکتار ذخیره کربن را دارا می‌باشد. این مطالعه، تغییرات قابل‌توجهی در ذخیره‌سازی کربن در رویشگاه‌های متفاوت بلوط را برجسته کرد. نتایج این پژوهش اثر تاج‌پوشش و مدیریت توده‌ها را علاوه بر تغییر در اندوخته کربن، در اختلاف سایر مشخصه‌های خاک چون کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل جذب، رطوبت و تنفس میکروبی نیز تأیید کرد. علاوه بر این، نتایج پایش چهارساله مشخصه‌های خاک نشان داد که کربن آلی، بیشترین همبستگی را با نیتروژن کل دارد. نتایج Haidari و همکاران (۲۰۲۵) نیز در سه استان زاگرس تأیید کننده نتایج این پژوهش است [۲۹]. منطقه جنگلی پردانان با توجه به اینکه تراکم بسیار بیشتری نسبت به دارساروین دارد (حدود سه برابر) و درصد تاج‌پوشش آن نیز سه‌برابر است و در منطقه با شیب کمتری (۱۰ درصد) واقع شده است، ولی از نظر اندوخته کربن خاک تفاوت چشمگیر و مورد انتظاری را نداشت (۱۵۴ در برابر ۱۲۲)، به‌عبارت دیگر اندوخته کربن خاک منطقه پردانان حدود ۱/۲ بیشتر از دارساروین است. این در حالی است که انتظار ترسیب کربن بیشتری در خاک این منطقه به‌دلیل وجود ساختار دانه و شاخه‌زاد بودن منطقه دارساروین وجود داشت. این موضوع نشان داد، که تغییر ساختار جنگل به سمت توده‌های شاخه‌زاد و دخالت شدید در ساختار جنگل، می‌تواند

عملکرد بوم‌سازگانی منطقه را در ترسیب کربن تحت تأثیر قرار دهد و لازم است در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی مدیران منابع طبیعی مورد توجه جدی قرار گیرد. با توجه به اهمیت خاک در بازسازی و احیاء بوم‌سازگان، استراتژی‌های مدیریت جنگل باید با ویژگی‌های خاص هر منطقه تنظیم شود تا ترسیب کربن را به حداکثر برساند. با توجه به جنبه‌های اقلیمی اهمیت ترسیب کربن در جنگل‌ها، نتایج این پژوهش می‌تواند در خدمت تصمیم‌گیران برای استراتژی‌های کاهش تغییرات آب و هوایی قرار گیرد.



(ب)



(الف)

شکل ۶. تغییرات کربن آلی، نیتروژن کل، رطوبت و فسفر قابل جذب در سال‌های مختلف در (الف): توده پردانان و (ب): توده دارساروین

جدول ۵. ضریب همبستگی پیرسون بین چهار پارامتر خاک در دو رویشگاه پردانان و دارساروین (به تفکیک سال)

سال	پارامتر	پردانان				دارساروین			
		کربن آلی	نیتروژن	فسفر	رطوبت	کربن آلی	نیتروژن	فسفر	رطوبت
۱۳۹۸	کربن آلی	۱				۱			
	نیتروژن	-۰/۴۲۵	۱			۱			
	فسفر	-۰/۵۷	-۰/۹۴۶*	۱		۱			
	رطوبت	۰/۶۶	-۰/۰۹۸	-۰/۰۸۴	۱	۱			
۱۳۹۹	کربن آلی	۱				۱			
	نیتروژن	۰/۳۷۵	۱			۱			
	فسفر	-۰/۵۱۳	-۰/۵۲۷	۱		۱			
	رطوبت	-۰/۱۳۴	-۰/۵۱۳	۰/۸۲۴	۱	۱			
۱۴۰۰	کربن آلی	۱				۱			
	نیتروژن	۰/۹۵۵**	۱			۱			
	فسفر	۰/۳۱۱	۰/۳۱	۱		۱			
	رطوبت	-۰/۷۱۲	-۰/۷۰۴	۰/۳۴۳	۱	۱			
۱۴۰۱	کربن آلی	۱				۱			
	نیتروژن	-۰/۷۹۲	۱			۱			
	فسفر	-۰/۳۶۵	-۰/۰۶۶	۱		۱			
	رطوبت	-۰/۵۲۱	-۰/۰۹۳	۰/۵۵۱	۱	۱			

** دارای همبستگی معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد، * دارای همبستگی معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد و NS فاقد همبستگی معنی‌دار

سپاسگزاری

این پژوهش با استفاده از اعتبارات مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور و همکاری مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی انجام شده است، بدینوسیله از مسئولین محترم سپاسگزاری می‌شود.

۵. منابع

- [1] Gao, Y.H., Luo, P., Wu, N., Chen, H. & Wang, G.X. (2007). Grazing intensity impacts on carbon sequestration in an alpine meadow on the Eastern Tibetan Plateau. *Agricultural and Biological Sciences*, 3(6), 642-647.
- [2] Zhao, M., Yang, J., Zhao, N., Liu, Y., Wang, Y., Wilson, J.P. & Yue, T. (2019). Estimation of China's forest stand biomass carbon sequestration based on the continuous biomass expansion factor model and seven forest inventories from 1977 to 2013. *Forest Ecology and Management*, 448(1), 528-534.
- [3] IPCC. (2003). Good practices guidance for land use, land-use change and forestry. Penman, J. et al. (eds.). IPCC National Greenhouse Gas Inventories Program. IGES, Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Japan.
- [4] Li, Q., Yang, D., Jia, Z., Zhang, L., Zhang, Y., Feng, L., He, L., Yang, K., Dai, J., Chen, J. & Zhao, X. (2019). Changes in soil organic carbon and total nitrogen stocks along a chronosequence of Caragana intermedia plantations in alpine sandy land. *Ecological Engineering*, 133(1), 53-59.
- [5] Andivia, E., Rolo, V., Jonard, M., Formánek, P. & Ponette, Q. (2016). Tree species identity mediates mechanisms of topsoil carbon sequestration in a Norway spruce and European beech mixed forest. *Annals of Forest Science*, 73(1), 437-447.
- [6] Kirby, R. (2007). Variation in carbon storage among tree species; implications for the management of a small-scale carbon sink project. *Forest Ecology and Management*, 247(2-3), 84-92.
- [7] Derner, J.D. & Schuman, G.E. (2007). Carbon sequestration and rangelands: A synthesis of land management and precipitation effects. *Journal of Soil and Water Conservation*, 62(2), 77-85.
- [8] Jafari, K., Alikhah-Asl, M. & Kooch, Y. (2024). Comparison of carbon sequestration in different land uses (Case Study: Some part of catchment of Behshahr). *Journal of Environmental Science and Technology*, 1(26), 85-100. (In Persian)
- [9] Maghami Moghim, F., Karimi, A., Haghnia, G. & Dourandish, A. (2013). The Possiblty of Using Soil Organic Carbon as an Index of Decision Making for Land Use Change. *Journal of Water and Soil Science*, 17(65), 77-88. (In Persian)
- [10] Henareh Khalyani, J., Makhdoum, M. & Namiranian, M. (2021). Assessing value changes of soil and water conservation services of Zagros Forests under canopy cover change scenarios, *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 29(3), 259-272. (In Persian)
- [11] Iranmanesh, Y., Pourhashemi, M., Jahanbazi, H., Bordbar, K., Askari, Y., Henareh Khalyani, J., Najafifar, A., Hosseini, A., Heidari, M., Fani, B., Derik, A., Jahan Pour, F., Zar Afshar, M., Negahdar Saber, M. R., Safari, H., Parvizi, Y., Dargahian, F., Jaafari, A., Ali Mahmoodi Sarab, S. & Ghasempour, S. (2023). An analysis of carbon storage status in Zagros forest habitats', *Iran Nature*, 8(2), 15-20. (In Persian)
- [12] Eskandari Shahraki, A., Kiani, B. & Iranmanesh, Y. (2016). Effects of different landuse types on soil organic carbon storage. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 24(3), 379-389. (In Persian)
- [13] Askari, Y., Iranmanesh, Y. & Pourhashemi, M. (2024). Monitoring some of soil characteristics in the Vezg and Toutnadeh forest stands in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad province', *Forest and Wood Products*, 77(2), 173-185. (In Persian)
- [14] Zarafshar, M., Iranmanesh, Y., Pourhashemi, M., Bordbar, S.K., Negahdarsaber, M., Rousta, M.J., Enayati, K. & Abbasi, A. (2021). The impact of wild pear (*Pyrus syriaca* and *P. globra*) stand management on carbon storage of soil and litter and some soil characteristics (Case study: Dehkohne forest of Sepidan, Fars Province). *Journal of Forest Research and Development*, 7(2), 313-325. (In Persian)

- [15] Haidari, M., Iranmanesh, Y. & Pourhashemi, M. (2024). Investigating the physico-chemical and carbon storage in soil of forest stands in Kurdistan province (Case study: Marivan county, west of Iran), *Forest and Wood Products*, 76(4), 355-366. (In Persian)
- [16] IPCC, (2019). Land is a critical resource, IPCC report says it is under pressure from humans and climate change, but it is part of the solution. Retrieved from. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/08/Pr_SRCCL.pdf.
- [17] Olsen, S.R., Cole, C.V., Watenabe, F.S. and Dean, L.A. (1954). Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. U.S. Department of Agriculture Circular, 939 p.
- [18] Mahmoudi Taleghani, E., Zahedi Amiri, GH. Adel, E. & Sagheb-Talebi, KH. (2007). Assessment of carbon sequestration in soil layers of managed forest. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 15(3), 241-252. (In Persian)
- [19] Badalamenti, E. Battipaglia, G. & Gristina, L. (2019). Carbon stock increases up to old growth forest along a secondary succession in Mediterranean island ecosystems *PLoS One*, 14(7), Article ID e0220194.
- [20] De Andrade, R.B., Balch, J.K., Parsons, A.L., Armenteras, D., Roman-Cuesta, R.M. & Bulkan, J. (2017). Scenarios in tropical forest degradation: carbon stock trajectories for REDD+. *Carbon Balance and Management*, 12(1), 6-7.
- [21] Pato, M., Salehi, A., Zahedi G. & Banj, S.A. (2017). The economic value of carbon storage functions in different land uses of northern Zagros forests. *Forest Research and Development*, 2(4), 367-377. (In Persian)
- [22] Askari, Y., Iranmanesh, Y. & Pourhashemi, M. (2021). The economic value and comparison of carbon storage in different forest areas in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad province. *Iranian Journal of Forest*, 13(2), 169-182. (In Persian)
- [23] Haidari, M., Iranmanesh, Y. & Pourhashemi, M. (2024). Investigating the physico-chemical and carbon storage in soil of forest stands in Kurdistan province (Case study: Marivan county, west of Iran). *Forest and Wood Products*, 76(4), 355-366. (In Persian)
- [24] Li, Q., Yang, D., Jia, Z., Zhang, L., Zhang, Y., Feng, L., He, L., Yang, K., Dai, J., Chen, J. & Zhao, X. (2019). Changes in soil organic carbon and total nitrogen stocks along a chronosequence of Caragana intermedia plantations in alpine sandy land. *Ecological Engineering*, 133(1), 53-59.
- [25] Jandl, R., Lindner, M., Vesterdal, L., Bauwens, B., Baritz, R., Hagedorn, F., Johnson, D., Minkinen, K. & Byrne, K. (2007). How strongly can forest management influence soil carbon sequestration, *Geoderma*, Volume 137, Issues 3–4, Pages 253-268, ISSN 0016-7061,
- [26] de Vries, W., Solberg, S., Dobbertin, M., Sterba, H., Laubhann, D., van Oijen, M., Evans, C., Gundersen, P., Kros, J., Wamelink, G.W.W., Reinds, G.J. & Sutton, M.A. (2009). The impact of nitrogen deposition on carbon sequestration by European forests and heathlands. *Forest Ecology and Management*, 258(8), 1814-1823.
- [27] Huntington, T.G. (2003). Climate warming could reduce runoff significantly in New England. *Agricultural and Forest Meteorology*, Volume 117, Issues 3–4, 193-201. ISSN 0168-1923,
- [28] Kimble, J. M., Rice, C.W., Reed, D., Mooney, S., Follett, R.F. & Lal, R. (2007). Soil carbon management: economic, environmental and societal benefits. CRC press.
- [29] Haidari, M., Iranmanesh, Y., Jaafari, A., Pourhashemi, M., Henarah, J., Jahanpour, F., Derikvandi, A. & Fani, B. (2025). The multidimensional influences of environmental factors on carbon storage: Evidence from Zagros Forests of Iran, *Ecological Engineering*, Volume 212, ISSN 0925-8574.