Research Article

Iranian Journal of Forest and Poplar Research Vol. 32 No. 4, 2025
Vol. 32, No. 4, Page 373-389 (2025)
DOI: 10.22092/ijfpr.2024.365345.2156

Biomass and carbon stock in deadwood, litter, and soil of Persian oak (*Quercus brantii* Lindl.) stands in Lordegan County, Iran

Yaghoub Iranmanesh [1*] and Mohammad Kazem Parsapour [2]

1*- Corresponding author, Associate Prof., Department of Natural Resources Research, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Isfahan Province, ARREO, Isfahan, Iran. Email: y_iranmanesh@yahoo.com
2. Postdoctoral Researcher, Department of Natural Resources Research, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Chaharmahal and Bakhtiari Province, ARREO, Shahrekord, Iran

Received: 29.03.2024 Accepted: 06.07.2024

Abstract

Background and Objective: Zagros forests, as one of Iran's most important carbon sinks, play a crucial role in maintaining ecosystem balance and the carbon cycle. Given the increasing threats to these forests, accurately identifying and assessing carbon stocks in various forest components, such as deadwood, litter, and soil, is particularly important. This study aims to investigate how the stand form (high forest and coppice) of Persian oak (*Quercus brantii* Lindl.) affects biomass and carbon stock in deadwood, litter, and soil in the Atashgah forest area of Lordegan County in Chaharmahal and Bakhtiari Province, Iran. The goal is to provide more accurate data to support better and more sustainable management of these vital ecosystems.

Methodology: This study evaluated the aboveground biomass and carbon stocks of deadwood, litter, and soil in high forest and coppice of Persian oak trees in the Lordegan forest zone. The study area, covering 90 hectares, is located in the central Zagros plateau and is predominantly characterized by Persian oak vegetation. Thirty random sample plots of 1000 square meters each were established to select sample trees. Within each plot, the nearest tree to the center that fell within the desired diameter class was chosen, ensuring samples were collected across different diameter at breast height (DBH) classes for single-stem trees and different crown diameter classes for coppice shoots. Following this procedure, 16 single-stem and 14 coppice trees were randomly selected and marked for measurement. The selection aimed to quantify the amount of standing deadwood in the form of dried branches present in the investigated trees. Litter and soil samples were collected from a depth of 0 to 30 centimeters beneath each tree. A computational formula based on carbon concentration, bulk density of the soil, sampling depth, and the percentage of coarse fragments was used to measure soil organic carbon. The collected samples were transferred to the laboratory for determination of dry weight and carbon content, following standard methods for measuring the percentage of organic carbon in plant and soil samples.

Results: The findings showed that standing deadwood in high forest trees had significant statistical differences among various diameter classes, while fallen deadwood did not exhibit such differences. The highest values of standing deadwood biomass were observed in the 30-40 cm diameter class. In contrast, in coppice shoots, fallen deadwood biomass showed significant statistical differences among different crown diameter classes. However, the difference in standing deadwood biomass between different crown diameter classes of coppice shoots was insignificant. A comparison between high forest and coppice revealed that standing deadwood biomass in high forest trees exceeded that in coppice. Additionally, the average carbon sequestration of deadwood in the study area was calculated as 0.171 tons per hectare. No significant statistical differences were observed in soil carbon, nitrogen, and phosphorus content between high forest and coppice bases. A high correlation coefficient of 0.94 was observed

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

between soil carbon and nitrogen, while no significant correlation was found between soil carbon and phosphorus. The carbon content of litter did not show significant statistical differences between high forest and coppice in the study area. Overall, the average carbon sequestration of litter in the study area was estimated as 0.327 tons per hectare.
Conclusion: Despite considerable attention to aboveground and belowground carbon stocks in forest ecosystems, carbon stored in deadwood has received less emphasis. However, deadwood can represent a significant portion of forest carbon reserves. Dominant tree species and structural characteristics of the forest, such as population density, diameter at breast height, and tree height, are important factors in determining aboveground biomass and carbon storage. This study identified the average quantitative differences between high forest and coppice trees as the main reasons for differences in aboveground biomass and carbon storage in standing and fallen deadwood. Furthermore, the impact of disturbances and human interventions on the reduction of soil carbon stocks was examined. The study found that soil carbon stocks were similar in both growth forms, which was related to the similarity in litter volume in the two habitats. This research highlights the importance of carbon storage in deadwood, litter, and soil and its impact on forest ecosystems, contributing to improved forest management and biodiversity preservation.

Keywords: Aboveground biomass, fallen deadwood, growth form, standing deadwood, Zagros.

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

ارزیابی زی‌توده و اندوخته کربن خشک‌دار، لاشبرگ و خاک در توده جنگلی برودار (*Quercus brantii* Lindl.) در شهرستان لردگان

یعقوب ایران‌منش [۱*] و محمدکاظم پارساپور [۲]

۱*- نویسنده مسئول، دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران. پست الکترونیک: y_iranmanesh@yahoo.com

۲- پژوهشگر پسادکتری، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۶

چکیده

سابقه و هدف: جنگل‌های زاگرس به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ذخیره‌گاه‌های کربن در ایران، نقش حیاتی در تعادل بوم‌سازگانی و چرخه کربن دارند. با توجه به تهدیدهای فزاینده‌ای که این جنگل‌ها با آن‌ها مواجه هستند، شناخت و ارزیابی دقیق اندوخته کربن در اجزای مختلف جنگل ازجمله زی‌توده خشک‌دار، لاشبرگ و خاک، اهمیت ویژه‌ای دارد. پژوهش پیش‌رو به‌بررسی تأثیر فرم رویشی (دانه‌زاد یا شاخه‌زاد) برودار (*Quercus brantii* Lindl.) بر زی‌توده و اندوخته کربن خشک‌دار، لاشبرگ و خاک در جنگل‌های آتشگاه لردگان واقع در استان چهارمحال و بختیاری می‌پردازد. نتایج این پژوهش با ارائه داده‌های دقیق‌تر می‌تواند به مدیریت بهتر و پایدارتر این بوم‌سازگان‌های حیاتی کمک کند.

مواد و روش‌ها: این پژوهش با هدف ارزیابی زی‌توده و اندوخته کربن خشک‌دار، لاشبرگ و خاک درختان برودار دانه‌زاد و شاخه‌زاد در منطقه جنگلی آتشگاه لردگان انجام شد. منطقه مورد مطالعه با وسعت ۹۰ هکتار در فلات مرکزی زاگرس قرار دارد و تیپ غالب پوشش گیاهی آن، برودار است. به‌منظور انتخاب پایه‌های مورد بررسی، ۳۰ قطعه‌نمونه ۱۰۰۰ مترمربعی به‌طور تصادفی انتخاب شد. در هر قطعه‌نمونه، نزدیک‌ترین درخت به مرکز قطعه‌نمونه که در طبقه قطری مورد نظر قرار داشت، انتخاب شد. به‌طوری‌که در طبقه‌های مختلف قطر برابر سینه در درختان دانه‌زاد و طبقه‌های مختلف قطر تاج در درختان شاخه‌زاد، نمونه مورد نیاز وجود داشته باشد. بدین‌ترتیب در فرم رویشی دانه‌زاد، ۱۶ پایه و در فرم شاخه‌زاد، ۱۴ پایه به‌طور تصادفی انتخاب و نشانه‌گذاری شدند. انتخاب پایه‌ها به‌منظور اندازه‌گیری مقدار خشک‌دارهای ایستاده موجود در درختان مورد بررسی که در قالب شاخه‌های خشک‌شده وجود داشتند، انجام شد. لاشبرگ و نیز نمونه‌های خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر زیر هر درخت جمع‌آوری شدند. برای اندازه‌گیری کربن آلی خاک از رابطه محاسباتی مبتنی بر غلظت کربن، وزن مخصوص ظاهری خاک، عمق نمونه‌برداری و درصد قطعه‌های بزرگ استفاده شد. نمونه‌های جمع‌آوری‌شده برای تعیین وزن خشک و مقدار کربن به آزمایشگاه منتقل شدند. از روش‌های استاندارد برای اندازه‌گیری درصد کربن آلی نمونه‌های گیاهی و خاک استفاده شد.

نتایج: یافته‌های مربوط به درختان دانه‌زاد نشان داد که زی‌توده خشک‌دار ایستاده بین طبقه‌های مختلف قطر برابر سینه، اختلاف معنی‌داری داشت، درحالی‌که در خشک‌دارهای افتاده، چنین تفاوتی مشاهده نشد. بیشترین زی‌توده خشک‌دارِ این درختان در طبقه قطری ۳۰ تا ۴۰ سانتی‌متر مشاهده شد. در مقابل، در درختان شاخه‌زاد، زی‌توده خشک‌دار افتاده در طبقه‌های مختلف قطر تاج، اختلاف معنی‌داری داشت، اما تفاوت زی‌توده خشک‌دار ایستاده بین طبقه‌های مختلف قطر تاجِ درختان شاخه‌زاد، غیرمعنی‌دار بود. مقایسه بین درختان دانه‌زاد و شاخه‌زاد نشان داد که زی‌توده خشک‌دارهای ایستاده در درختان دانه‌زاد، بیشتر از درختان شاخه‌زاد بود. همچنین، مقدار متوسط اندوخته کربن خشک‌دارها در منطقه مورد مطالعه ۰/۱۷۱ تن در هکتار محاسبه شد. تفاوت معنی‌داری در مقدار کربن، نیتروژن و فسفر خاک بین فرم‌های رویشی دانه‌زاد و شاخه‌زاد مشاهده نشد. همبستگی زیادی بین کربن و نیتروژن خاک

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

با ضریب تبیین ۰/۹۴ مشاهده شد، درحالی‌که کربن و فسفر خاک، همبستگی قابل‌توجهی باهم نداشتند. کربن لاشبرگ در زیر درختان دانه‌زاد و شاخه‌زاد، تفاوت معنی‌داری نداشتند. درمجموع، مقدار متوسط اندوخته کربن لاشبرگ در منطقه مورد مطالعه ۰/۳۲۷ تن در هکتار به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری کلی: با وجود توجه زیاد به زی‌توده و اندوخته کربن روی زمینی در بوم‌سازگان‌های جنگلی، به زی‌توده خشک‌دارها کمتر توجه شده است، درحالی‌که خشک‌دارها می‌توانند بخش قابل‌توجهی از کربن جنگل را در خود ذخیره کنند. گونه‌های غالب درختی و ویژگی‌های ساختاری جنگل ازجمله جمعیت، قطر برابر سینه و ارتفاع درختان، عوامل مهمی در تعیین میزان زی‌توده و ذخیره‌سازی کربن هستند. در این پژوهش، تفاوت‌های میانگین مشخصه‌های کمی درختان دانه‌زاد و شاخه‌زاد به‌عنوان دلایل اصلی تفاوت در زی‌توده خشک‌دارهای ایستاده و افتاده شناسایی شدند. همچنین، تأثیر دخالت‌های انسانی بر کاهش زی‌توده روی زمینی بررسی شد. مقدار کربن آلی خاک در دو فرم رویشی مشابه بود که این موضوع به مشابهت حجم لاشبرگ در دو رویشگاه نسبت داده شد. این پژوهش به واکاوی اهمیت زی‌توده و اندوخته خشک‌دار، لاشبرگ و خاک و تأثیر آن بر بوم‌سازگان‌های جنگلی می‌پردازد و می‌تواند در بهبود مدیریت جنگل‌ها و حفظ تنوع زیستی استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: خشک‌دار ایستاده، خشک‌دار افتاده، زاگرس، زی‌توده، فرم رویشی.

مقدمه

جنگل‌ها، یکی از ذخیره‌گاه‌های بزرگ کربن زمین محسوب می‌شوند که حدود ۸۰ درصد از کل زی‌توده روی زمین را در خود ذخیره کرده‌اند (Mo *et al.*, 2023). ناحیه رویشی زاگرس، نزدیک به یک‌پنجم خاک کشور و نیز همه یا بخشی از ۱۱ استان کشور را در برمی‌گیرد (Hanafi-Bojd *et al.*, 2020). امروزه حوزه رویشی زاگرس در میان حوزه‌های پنج‌گانه رویشی جنگل در ایران به‌عنوان کانون بحران محیط‌زیستی مطرح است. زاگرس در مواجهه با روند فزاینده تهدیدات طبیعی و انسانی با تغییرات مهمی ازنظر کمی و کیفی روبرو شده است (Azizi *et al.*, 2022). این جنگل‌ها علی‌رغم شرایط خاص محیط‌زیستی و بوم‌شناختی، نقش مهمی در چرخه و جریان کربن ایفا می‌کنند، بنابراین تعیین اندوخته کربن روی‌زمینی، خاک و لاشبرگ به‌عنوان مهم‌ترین اجزاء دربردارنده ذخیره کربن در بوم‌سازگان‌های جنگلی و بررسی روند تغییرات آن‌ها می‌تواند نقش مهمی در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی داشته باشد (Pan *et al.*, 2011). در مدیریت پایدار منابع جنگلی و بررسی جریان انرژی در بوم‌سازگان، برآورد زی‌توده و اندوخته کربن درختی از اهمیت فراوانی برخوردار است. مدیران جنگل برای برنامه‌ریزی در سطوح عملیاتی و راهبردی به‌شدت بر برآورد دقیق زی‌توده تأکید دارند (Zianis *et al.*, 2005).

به‌طور کلی، پنج مخزن اصلی کربن برای جنگل معرفی شده است که شامل زی‌توده روی زمینی (Above-ground Biomass)، زیرزمینی (Below-ground Biomass)، لاشبرگ (Litter)، خشک‌دارها (Dead Woods) و کربن آلی خاک (Soil Organic Carbon) هستند (IPCC, 2003). ذخیره کربن در بوم‌سازگان‌های جنگلی اغلب شامل ذخیره کربن در پوشش گیاهی، خاک و لاشبرگ است (Lee *et al.*, 2014; Hérault & Piponiot, 2018; Lafleur *et al.*, 2018). گزارش پروتکل کیوتو تحت کنوانسیون چهارچوب ملل متحد در مورد تغییرات آب‌وهوا، ذخایر کربن را علاوه بر زی‌توده روی زمین و زیرزمین، به‌طور جداگانه در خشک‌دارها، لاشبرگ و خاک نیز تعیین کرده است (IPCC, 2007). Sun و Liu (۲۰۲۰) بیان داشتند که عمده پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه روش‌های برآورد اندوخته کربن در بوم‌سازگان‌های جنگلی بر سه موضوع اصلی ذخیره کربنِ پوشش گیاهی، خاک و لاشبرگ متمرکز شده‌اند. از کل کربن ذخیره‌شده در جنگل به‌طور متوسط حدود ۴۲ درصد در زی‌توده گیاهی زنده، نُه درصد در خشک‌دار و بقیه (۴۹ درصد) در لاشبرگ و خاک انباشته شده است (Pan *et al.*, 2011).

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

خشک‌دارها شامل خشک‌دارها ایستاده و افتاده، یک جزء کلیدی از ساختار بوم‌سازگان‌های جنگلی به‌شمار می‌روند. آن‌ها عنصری حیاتی برای حفظ تعادل در این بوم‌سازگان‌ها، تنوع زیستی و بهره‌وری جنگل هستند. به‌عبارت دیگر، خشک‌دارها بخشی طبیعی و ضروری از جنگل‌های سالم به‌شمار می‌روند (Victor *et al.*, 2019; Vahedi *et al.*, 2023). ذخیره کربن خشک‌دارها تحت تأثیر نوع جنگل است. جنگل‌های قدیمی به‌طور معمول مقدار زیادی کربن را در تنه‌های در حال پوسیدگی ذخیره می‌کنند (Takahashi *et al.*, 2005). اختلالات طبیعی و دخالت‌های انسانی مانند توفان‌ها و عملیات تنک کردن غیرتجاری به افزایش فوری ذخایر خشک‌دارها منجر می‌شوند (Harmon *et al.*, 1986; Berg & McClaugherty, 2003; IPCC, 2007).

در مورد کربن خاک، نوع خاک و بافت خاک، عوامل تعیین‌کننده سطح ذخیره کربن هستند (IPCC, 2003). خاک، بزرگ‌ترین مخزن کربن در بوم‌سازگان‌های خشکی است. ذخیره جهانی کربن خاک حدود ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ گیگاتن تخمین زده می‌شود که سه تا چهار برابر بیشتر از مقدار موجود در گیاهان است (Takahashi *et al.*, 2010). به‌طورکلی، جنگل‌ها به‌دلیل ورودی زیاد مواد آلی مرده از پوشش گیاهی، کربن زیادی در خاک ذخیره می‌کنند. خاک جنگل‌های سرد معتدله به‌طور متوسط ۱۲۰ تن در هکتار ذخیره کربن دارند (Pan *et al.*, 2011). مقدار اندوخته کربن آلی خاک با ویژگی‌های مهم رویشگاه مانند مقدار لاشبرگ، عمق ریشه‌دوانی و نرخ تجزیه مواد آلی تعیین می‌شود (Andivia *et al.*, 2016). لاشبرگ فقط پنج درصد از ذخیره کربن در بوم‌سازگان جنگلی را به‌خود اختصاص می‌دهد، اما به‌دلیل اینکه نقش اساسی در چرخه کربن ایفا می‌کند و رابط بین کربن گیاه و خاک است، اهمیت ویژه‌ای دارد (Pan *et al.*, 2011). بررسی تغییرات ذخایر کربن آلی در زمین‌های شنی آلپ بیانگر اثر مثبت تنوع پوشش گیاهی بر ذخیره کربن بود (Li *et al.*, 2019). Duchesne و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی اندوخته کربن روی زمینی در جنگل‌های کبک کانادا به این نتیجه رسیدند که در جنگل‌های تولیدی این کشور به‌طور متوسط ۳۷/۶ تن در هکتار اندوخته کربن روی‌زمینی وجود دارد که در مقایسه با جنگل‌های مشابه کمتر است. Daba و همکاران (۲۰۲۲) در بررسی اندوخته کربن در جنگل‌های مرطوب همیشه‌سبز اتیوپی، میانگین اندوخته کربن روی زمینی را ۲۰۳/۸ تن در هکتار به‌دست آوردند.

امروزه، شاهد افزایش خشکیدگی و انباشت خشک‌دارها در جنگل‌های بلوط زاگرس هستیم. باتوجه‌به این موضوع، هنوز اطلاعات جامعی در ارتباط با مقدار زی‌توده و اندوخته کربن آن‌ها در این جنگل‌ها در دسترس نیست. فقط در پژوهش Sarvazad و همکاران (۲۰۲۲)، تغییرات ذخیره کربن خشک‌دار درختان برودار (*Quercus brantii* Lindl.) در ارتباط با عوامل فیزیوگرافی در رویشگاه جنگلی قالجه در استان کرمانشاه بررسی شد، اما پژوهش‌ها در بررسی مقدار تغییرات ذخایر کربن خشک‌دارهای افتاده و ایستاده در فرم‌های رویشی مختلف برودار در جنگل‌های غرب کشور مشهود نیست. در پژوهش پیش‌رو، به‌منظور درک تأثیر فرم رویشی توده جنگلی (دانه‌زاد یا شاخه‌زاد) بر جریان کربن در بوم‌سازگان، مقایسه‌ای از زی‌توده و اندوخته کربن خشک‌دارها (ایستاده و افتاده)، لاشبرگ و کربن آلی خاک گونه ارزشمند برودار در جنگل‌های استان چهارمحال و بختیاری انجام شد.

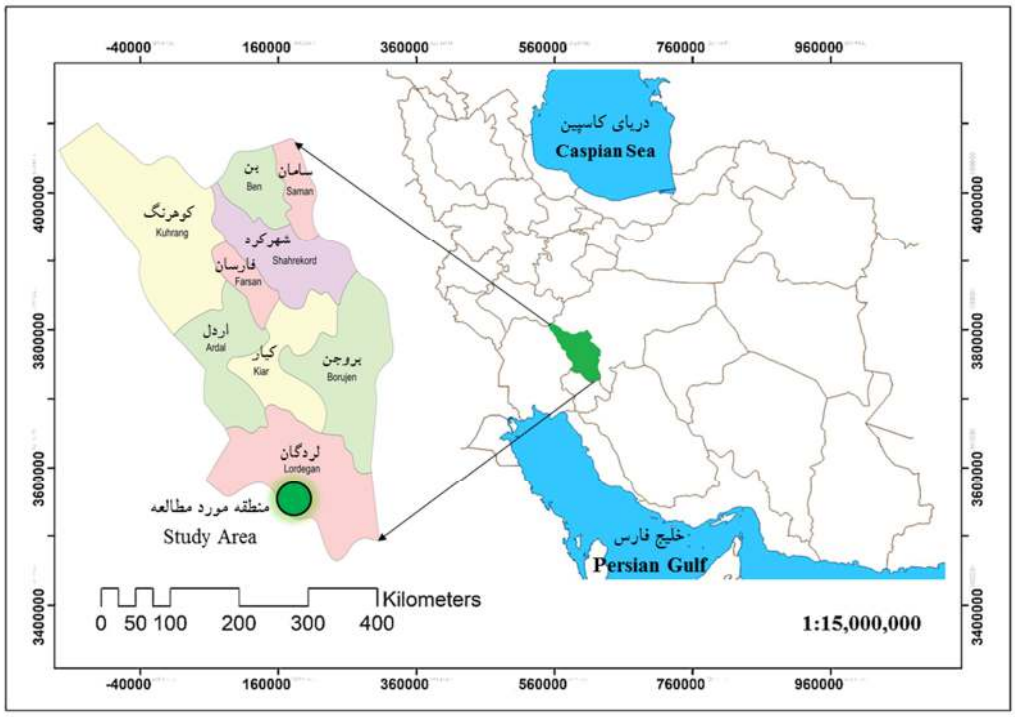
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در استان چهارمحال و بختیاری در فلات مرکزی زاگرس انجام شد. این استان که سطحی معادل ۱۶۳۶۴ کیلومترمربع دارد، حدود یک درصد سطح کل کشور را به‌خود اختصاص داده است. از مهم‌ترین رویشگاه‌های جنگلی در این استان می‌توان به منطقه لردگان اشاره کرد که تیپ غالب توده‌های آن، برودار است (Talebi *et al.*, 2006). این پژوهش در جنگل‌های روستای آتشگاه در ۵۵ کیلومتری جنوب غربی شهرستان لردگان واقع در حوضه

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

آبگیر سد خرسان ۳ انجام شد. منطقه مورد بررسی با وسعت ۹۰ هکتار در محدوده ″۰ ′۵۹ °۵۰۰ تا ″۵۴ ′۵۹ °۵۰۰ طول شرقی و ″۲۰ ′۱۴ °۳۱۰ تا ″۲۴ ′۱۵ °۳۱۰ عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد بررسی

Figure 1. Geographical location of the study area

روش پژوهش

گونه مورد بررسی

این پژوهش در مورد گونه اصلی درختی در جنگل‌های زاگرس جنوبی، یعنی بلوط برودار (*Q. brantii*) انجام شد. این گونه اغلب در ارتفاعات و دامنه‌های جنوب غربی رشته‌کوه زاگرس پراکنش دارد. دو فرم رویشی دانه‌زاد و شاخه‌زاد به‌منظور ارزیابی زی‌توده و اندوخته کربن بررسی شدند. به‌منظور انتخاب پایه‌های مورد بررسی باتوجه‌به مساحت منطقه و تراکم برودار، ۳۰ قطعه‌نمونه ۱۰۰۰ مترمربعی به‌طور تصادفی انتخاب شد. در هر قطعه‌نمونه، نزدیک‌ترین درخت به مرکز قطعه‌نمونه انتخاب شد. به‌طوری‌که در طبقه‌های مختلف قطری، درختان موردنظر وجود داشته باشند. بدین‌ترتیب در فرم رویشی دانه‌زاد، ۱۶ پایه و در فرم شاخه‌زاد، ۱۴ پایه به‌طور تصادفی انتخاب و نشانه‌گذاری شدند. انتخاب پایه‌ها به‌منظور اندازه‌گیری مقدار خشک‌دارهای ایستاده موجود در درختان مورد بررسی که در قالب شاخه‌های خشک‌شده وجود داشتند، انجام شد. به این منظور، مشخصه‌های قطر متوسط تاج، قطر برابر سینه، ارتفاع کل برای همه درختان در هر قطعه‌نمونه اندازه‌گیری و ثبت شد.

نمونه‌برداری از خشک‌دار

خشک‌دار (Dead Wood) به بخش‌های چوبی غیرزنده (Necromass) با قطر بیشتر از پنج سانتی‌متر که به‌صورت سرپا و یا افتاده روی زمین وجود دارد، گفته می‌شود (Takahashi *et al.*, 2010). در منطقه مورد بررسی به‌دلیل

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

شرایط اجتماعی موجود، درختان کاملاً خشک‌شده (خشک‌دار ایستاده) وجود نداشت. اغلب خشک‌دارهای ایستاده، چوب‌های خشک‌شده با قطر بیشتر از پنج سانتی‌متر روی تاج درخت بودند. به‌منظور اندازه‌گیری زی‌توده خشک‌دار سرپا (Standing Dead Wood)، ابعاد شاخه‌های خشکیده موجود روی درختان شامل قطر میانه و طول شاخه به‌طور جداگانه اندازه‌گیری شدند. یک نمونه از آن‌ها برای اندازه‌گیری وزن مخصوص جدا شد. سپس، با استفاده از روش حجمی، زی‌توده خشک‌دار سرپا اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری زی‌توده خشک‌دار افتاده (Fallen Dead Wood)، چهار قاب کوچک ۰/۵ مترمربعی در هر قطعه‌نمونه مشخص شد و چوب‌های خشک‌شده روی زمین و زیر تاج‌پوشش هر درخت به‌طور جداگانه جمع‌آوری و توزین شدند.

نمونه‌برداری از لاشبرگ (Litter): لاشبرگ شامل همه برگ‌های افتاده، لایه‌های هوموس و همه قطعه‌های چوبی کوچک (قطر کمتر از یک سانتی‌متر) است. برای این منظور، لاشبرگ‌های موجود در چهار قاب کوچک ۰/۵ مترمربعی در چهار جهت زیر تاج هر درخت توزین شدند (Iranmanesh, 2013).

ماده آلی خاک (SOC): برای اندازه‌گیری کربن آلی خاک، در منطقه مورد بررسی، ۳۰ نمونه خاک (زیر هر درخت یک نمونه) از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر به‌کمک اوگر برداشت شدند. همچنین، وزن ظاهری خاک و درصد قطعه‌های بزرگ (مانند سنگ‌ریزه) اندازه‌گیری شد. با استفاده از رابطه (۱)، مقدار کل کربن آلی خاک در منطقه مورد بررسی محاسبه شد (IPCC, 2003).

$$SOC = [SOC] \times \text{Bulk Density} \times \text{Depth} \times \text{Coarse Fragments} \times 10 \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن، SOC: ذخیره کربن آلی خاک (تن در هکتار)، [SOC]: غلظت کربن آلی خاک در حجم خاک برداشت‌شده ($g\ C\ (kg\ soil)^{-1}$)، Bulk Density: جرم خاک بر حجم نمونه یا وزن مخصوص ظاهری خاک ($Mg\ m^{-3}$)، Depth: عمق نمونه‌برداری (متر)، Coarse Fragments: قطعه‌های بزرگ (۱۰۰/درصد حجم قطعه‌های بزرگ)-۱ و ۱۰: ضریب تبدیل واحد به تن در هکتار هستند. همه نمونه‌های تهیه‌شده شامل خشک‌دار و لاشبرگ بلافاصله در عرصه توزین شدند و در بسته‌بندی‌های جداگانه به‌منظور اندازه‌گیری وزن خشک و مقدار کربن به آزمایشگاه منتقل شدند. پس از تعیین وزن خشک نمونه‌ها، وزن خشک هر اندام درخت با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد.

$$WDc = \frac{WFc * WDs}{WFs} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن، WDc وزن خشک هر جزء از درخت، WFc وزن تر هر جزء از درخت، WDs وزن خشک هر نمونه و WFs وزن تر هرکدام از نمونه‌ها هستند.

بررسی‌های آزمایشگاهی

به‌منظور اندازه‌گیری درصد کربن آلی لاش‌ریزه و نمونه‌های گیاهی از روش احتراق در کوره الکتریکی استفاده شد. به این منظور، نمونه‌ها به‌مدت چهار ساعت در دمای ۵۵۰ تا ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. پس از اندازه‌گیری درصد خاکستر، با استفاده از رابطه ۳، ضریب کربن محاسباتی به‌دست آمد (Allen *et al.*, 1986).

$$C\% = (100 - Ash\%) \times 0.58 \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$Ash = (W_3 - W_1 / W_2 - W_1) \times 100 \quad \text{رابطه (۴)}$$

در معادله‌های فوق، Ash%، درصد خاکستر حاصل پس

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

از سوزاندن کامل، W_1، وزن ظرف بوته چینی، W_2، وزن خشک نمونه و بوته چینی، W_3، مجموع وزن خاکستر و بوته چینی مورد استفاده و C%، ضریب کربن محاسباتی هستند. پس از محاسبه مقدار ضریب کربن محاسباتی، مقدار اندوخته کربن خشک‌دارها با استفاده از حاصل‌ضرب مقدار زی‌توده در ضریب کربن محاسباتی به‌دست آمد.

آزمایش‌های خاک‌شناسی برای تعیین درصد سنگ‌ریزه، بافت، وزن مخصوص ظاهری و کربن آلی خاک انجام شد. اندازه‌گیری کربن آلی خاک به‌روش والکلی- بلک (Walkley-Black) و وزن مخصوص ظاهری خاک با روش کلوخه انجام گرفت (MacDicken, 1997). نیتروژن کل از طریق روش کجلدال (Bremner & Mulvaney, 1982) و فسفر قابل‌جذب به‌روش اولسن (Olsen & Sommers, 1982) اندازه‌گیری شدند.

تحلیل داده‌ها

به‌منظور بررسی اطلاعات برداشت‌شده، ابتدا تبعیت داده‌ها از توزیع نرمال با استفاده از آزمون کولموگروف- سمیرنوف بررسی شد. برای مقایسه زی‌توده خشک‌دارها بین فرم‌های رویشی مورد مطالعه از آزمون t مستقل و برای مقایسه متغیرهای مورد بررسی بین طبقه‌های قطری مختلف و نیز بین قسمت‌های مختلف مورد بررسی از آنالیز واریانس یک‌طرفه استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها نیز با آزمون دانکن انجام گرفت. برای بررسی ارتباط بین کربن با نیتروژن و فسفر خاک از تحلیل رگرسیون استفاده شد.

نتایج

زی‌توده خشک‌دارهای ایستاده و افتاده درختان دانه‌زاد در طبقه‌های مختلف قطر برابر سینه

مقایسه زی‌توده خشک‌دارهای درختان دانه‌زاد بین طبقه‌های مختلف قطر برابر سینه نشان داد که مقدار زی‌توده خشک‌دارهای ایستاده بین طبقه‌های قطری، اختلاف معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارد، اما تفاوت معنی‌داری در خشک‌دارهای افتاده مشاهده نشد (جدول ۱). طبقه قطری ۳۰ تا ۴۰ سانتی‌متر، بیشترین مقدار زی‌توده خشک‌دارهای ایستاده (۲۰/۶۲ کیلوگرم در پایه) و افتاده (۲/۰۹۶ کیلوگرم در پایه) را به‌خود اختصاص داد. پس‌ازآن، بیشترین زی‌توده خشک‌دارهای ایستاده (۱۴/۲۶۶ کیلوگرم در پایه) و افتاده (۱/۰۴۳ کیلوگرم در پایه) به طبقه قطری بیشتر از ۴۰ سانتی‌متر اختصاص یافت. همچنین، کمترین مقادیر زی‌توده خشک‌دارهای ایستاده و افتاده در درختان دانه‌زاد مورد مطالعه در طبقه‌های قطری ۱۰ تا ۲۰ و کمتر از ۱۰ سانتی‌متر مشاهده شد. این مقادیر برای خشک‌دارهای ایستاده و افتاده در طبقه قطری ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متر به‌ترتیب برابر با ۰/۶۱ و ۰/۲۲۸ کیلوگرم در پایه و در طبقه قطری کمتر از ۱۰ سانتی‌متر به‌ترتیب برابر با ۰/۲۶۶ و ۰/۴۱ کیلوگرم در پایه بودند. همچنین به‌طور متوسط، زی‌توده خشک‌دار ایستاده (۸/۱۱۸ کیلوگرم در پایه) بیشتر از زی‌توده خشک‌دار افتاده (۰/۸۴ کیلوگرم در پایه) به‌دست آمد (جدول ۱).

زی‌توده خشک‌دارهای ایستاده و افتاده درختان شاخه‌زاد در طبقه‌های مختلف قطر تاج

مقایسه زی‌توده خشک‌دارهای افتاده درختان شاخه‌زاد بین طبقه‌های مختلف قطر تاج نشان داد که از این نظر، اختلاف معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد بین طبقه‌های قطر تاج وجود دارد، اما این تفاوت در خشک‌دارهای ایستاده، معنی‌دار نبود. بیشینه زی‌توده خشک‌دارهای ایستاده در طبقه قطری تاج چهار تا شش متری (۵/۸۶ کیلوگرم در پایه) و کمترین آن در طبقه قطری تاج کمتر از دو متر مشاهده شد (جدول ۲). بیشترین زی‌توده خشک‌دارهای افتاده در طبقه قطری تاج بیشتر از هشت متر (۱/۰۵۵ کیلوگرم در پایه) و پس‌ازآن، در طبقه قطری تاج شش تا هشت متر (۰/۸۵۲ کیلوگرم در پایه) به‌دست آمد. کمترین مقدار زی‌توده خشک‌دارهای افتاده در طبقه قطری تاج کمتر از دو متر (۰/۰۷۶ کیلوگرم در پایه) و به‌دنبال آن، طبقه قطری تاج دو تا چهار متر (۰/۱۷۳ کیلوگرم در پایه) مشاهده شد (جدول ۲). همچنین به‌طور متوسط، زی‌توده خشک‌دارهای ایستاده (۳/۶۰۶

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

کیلوگرم در پایه) بیشتر از زی‌توده خشک‌دارهای افتاده (۰/۵۵۶ کیلوگرم در پایه) بود (جدول ۲).

جدول ۱- مقایسه زی‌توده خشک‌دارهای ایستاده و افتاده درختان دانه‌زاد در طبقه‌های مختلف قطری

Table 1. Biomasses in high forest standing and fallen deadwoods in different diameter classes

Diameter class (DBH; cm)	Number of trees per plot	Standing deadwood biomass (Kg/tree)	Fallen deadwood biomass (Kg/tree)
		Mean ± SE	Mean ± SE
< 10	8	0.266 ± 0.067	0.41 ± 0.226
10 − 20	25	0.61 ± 0.308	0.228 ± 0.029
20 − 30	20	4.83 ± 2.117	0.424 ± 0.178
30 − 40	17	20.62 ± 13.78	2.096 ± 1.768
> 40	19	14.266 ± 2.009	1.043 ± 0.142
Mean	-	8.118	0.84
Sum of Squares	-	845.777	5.699
F	-	5.067	2.215
Sig.	-	0.015	0.134

جدول ۲- مقایسه زی‌توده خشک‌دارهای ایستاده و افتاده درختان شاخه‌زاد در طبقه‌های مختلف قطر تاج

Table 2. Biomass in coppice standing and fallen deadwoods in different canopy diameter classes

Canopy diameter class (m)	Number of trees per plot	Standing deadwood biomass (Kg/tree)	Fallen deadwood biomass (Kg/tree)
		Mean ± SE	Mean ± SE
< 2	12	0.0 ± 0.0	0.076 ± 0.076
2 − 4	17	4.5 ± 4.5	0.173 ± 0.039
4 − 6	16	5.86 ± 1.492	0.622 ± 0.309
6 − 8	5	2.973 ± 0.785	0.852 ± 0.137
> 8	1	4.7 ± 0.73	1.055 ± 0.075
Mean		3.606	0.556
Sum of Squares		47.206	1.809
F		0.407	5.575
Sig.		0.8	0.015

جدول ۳، نتایج آزمون t برای مقایسه زی‌توده خشک‌دارهای ایستاده و افتاده بین درختان دانه‌زاد و شاخه‌زاد را نشان می‌دهد. مقدار زی‌توده خشک‌دارهای ایستاده در فرم‌های رویشی دانه‌زاد (۸/۱۲ کیلوگرم در پایه) بیشتر از فرم‌های رویشی شاخه‌زاد (۳/۶۱ کیلوگرم در پایه) به‌دست آمد. به‌طوری‌که زی‌توده خشک‌دارهای ایستاده در فرم‌های رویشی شاخه‌زاد حدود ۵۵ درصد کمتر از فرم‌های رویشی دانه‌زاد بود. هرچند، این تفاوت معنی‌دار نبود. همچنین، تفاوت معنی‌داری در زی‌توده خشک‌دارهای افتاده بین فرم‌های رویشی دانه‌زاد (۰/۸۴ کیلوگرم در پایه) و فرم‌های شاخه‌زاد (۰/۵۶ کیلوگرم در پایه) مشاهده نشد (جدول ۳).

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

جدول ۳- مقایسه زی‌توده خشک‌دارهای ایستاده و افتاده بین درختان دانه‌زاد و شاخه‌زاد

Table 3. Biomass in standing and fallen deadwoods of high forest and coppice trees

Deadwood Biomass	High Forest (Kg/tree) Mean ± SE	Coppice (Kg/tree) Mean ± SE	F	Sig.
Standing	8.12 ± 2.331	3.61 ± 1.301	3.529	0.071
Fallen	0.84 ± 0.23	0.56 ± 0.118	0.93	0.343

جدول ۴، نتایج آزمون t برای مقایسه زی‌توده خشک‌دارهای ایستاده و افتاده در درختان دانه‌زاد و شاخه‌زاد را نشان می‌دهد. بر این اساس، در فرم رویشی دانه‌زاد، زی‌توده خشک‌دارهای ایستاده به‌طور معنی‌داری بیشتر از زی‌توده خشک‌دارهای افتاده بود. در فرم رویشی شاخه‌زاد نیز زی‌توده خشک‌دارهای ایستاده و افتاده، روند مشابهی با درختان دانه‌زاد نشان دادند. به‌طوری‌که خشک‌دارهای ایستاده، بیشترین مقدار زی‌توده (۳/۶۱ کیلوگرم در پایه) را به‌خود اختصاص دادند. این مقدار در مقایسه با زی‌توده خشک‌دارهای افتاده (۰/۵۶ کیلوگرم در پایه)، تفاوت معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد داشت (جدول ۴).

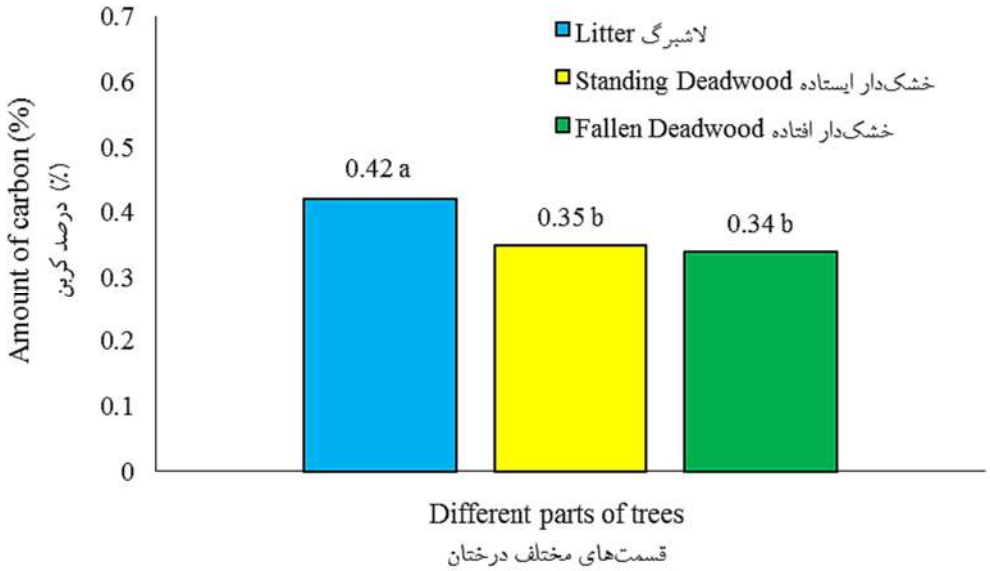
جدول ۴- مقایسه بین زی‌توده خشک‌دارهای ایستاده و افتاده در درختان دانه‌زاد و شاخه‌زاد

Table 4. Deadwood biomass in high forest and coppice trees

Deadwood	Standing biomass (Kg/tree) Mean ± SE	Fallen biomass (Kg/tree) Mean ± SE	F	Sig.
High Forest	8.12 ± 2.331	0.84 ± 0.23	16.324	0.000
Coppice	3.61 ± 1.301	0.56 ± 0.118	10.254	0.004

مقایسه درصد کربن بخش‌های مختلف درختان در شکل ۲ آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، درصد کربن در خشک‌دارهای ایستاده، افتاده و لاشبرگ به‌ترتیب ۰/۳۵، ۰/۳۴ و ۰/۴۲ به‌دست آمد. این اختلاف بین لاشبرگ و خشک‌دارها معنی‌داری بود، اما بین درصد کربن خشک‌دار ایستاده و افتاده، تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. از این مقادیر در محاسبه میانگین اندوخته کربن در واحد سطح استفاده شد. درمجموع، میانگین زی‌توده خشک‌دارهای ایستاده و افتاده در فرم‌های رویشی دانه‌زاد به‌ترتیب برابر ۰/۳۵ و ۰/۰۳ تن در هکتار بودند. همچنین، اندوخته کربن خشک‌دارهای ایستاده و افتاده در این پایه‌ها ۰/۱۲ و ۰/۰۱ تن در هکتار محاسبه شد. میانگین زی‌توده خشک‌دارهای ایستاده و افتاده در فرم‌های رویشی شاخه‌زاد نیز به‌ترتیب ۰/۰۹ و ۰/۰۰۹ تن در هکتار و اندوخته کربن خشک‌دارهای ایستاده و افتاده در این پایه‌ها ۰/۰۳ و ۰/۰۰۳ تن در هکتار به‌دست آمد. درمجموع، مقدار متوسط اندوخته کربن خشک‌دارها (مجموع خشک‌دارهای ایستاده و افتاده) در منطقه مورد مطالعه ۰/۱۷۱ تن در هکتار برآورد شد.

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



شکل ۲- مقایسه درصد کربن بین بخش‌های مختلف درختان

حرف‌های متفاوت لاتین نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند.

Figure 2. Amount of Carbon (%) in different parts of trees
Different letters indicate a significant difference between means (P<0.05).

در جدول ۵، ویژگی‌های عناصر خاک در فرم‌های رویشی درختی دانه‌زاد و شاخه‌زاد آمده است. مطابق با نتایج، تفاوت معنی‌داری در میزان کربن خاک بین فرم‌های رویشی دانه‌زاد (۱/۲۴۸ درصد) و شاخه‌زاد (۱/۲۱۴ درصد) مشاهده نشد (P>0.05). این موضوع بیانگر این است که هر دو نوع پایه درختی، مقادیر مشابهی از کربن خاک را ذخیره می‌کنند. به‌طور مشابه، تفاوت نیتروژن خاک بین فرم‌های رویشی دانه‌زاد (۰/۱۰۹ درصد) و شاخه‌زاد (۰/۱۰۴ درصد) غیرمعنی‌دار بود (P>0.05). این نتایج نیز نشان می‌دهند که دسترسی به نیتروژن برای رشد درختان در هر دو نوع پایه درختی دانه‌زاد و شاخه‌زاد مشابه است. اختلاف فسفر خاک بین فرم‌های رویشی دانه و شاخه‌زاد معنی‌دار نبود (P>0.05)، اما میانگین مقادیر فسفر خاک در فرم رویشی شاخه‌زاد (۰/۴۳۵ درصد) نسبت به دانه‌زاد (۰/۴۲۵ درصد) کمی بیشتر به‌دست آمد (جدول ۵). باتوجه‌به مجموع نمونه‌های خاک برداشت‌شده، مقدار ذخیره کربن آلی خاک (SOC) در منطقه مورد بررسی، ۰/۲۸۹± ۴۴/۵۹۳ تن در هکتار محاسبه شد.

جدول ۵- مقایسه مقادیر عناصر خاک در فرم‌های درختی دانه‌زاد و شاخه‌زاد

Table 5. Soil nutrient properties under high forest and coppice trees

Soil Properties	Forms of Trees	Mean ± SE	F	Sig.
Carbon (%)	High Forest	1.248 ± 0.089	4.481	0.854
	Coppice	1.214 ± 0.163		
Nitrogen (%)	High Forest	0.109 ± 0.007	5.453	0.756
	Coppice	0.104 ± 0.014		
Phosphor (%)	High Forest	4.25 ± 0.243	1.571	0.807
	Coppice	4.35 ±0.331		

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

جدول ۶، تحلیل رگرسیون و همبستگی بین کربن و نیتروژن و کربن و فسفر خاک را نشان می‌دهد. همبستگی زیادی بین عناصر کربن و نیتروژن در خاک مشاهده شد (r^2=۰/۹۴)، اما همبستگی بین کربن و فسفر خاک، قابل‌توجه نبود (r^2=۰/۱۹).

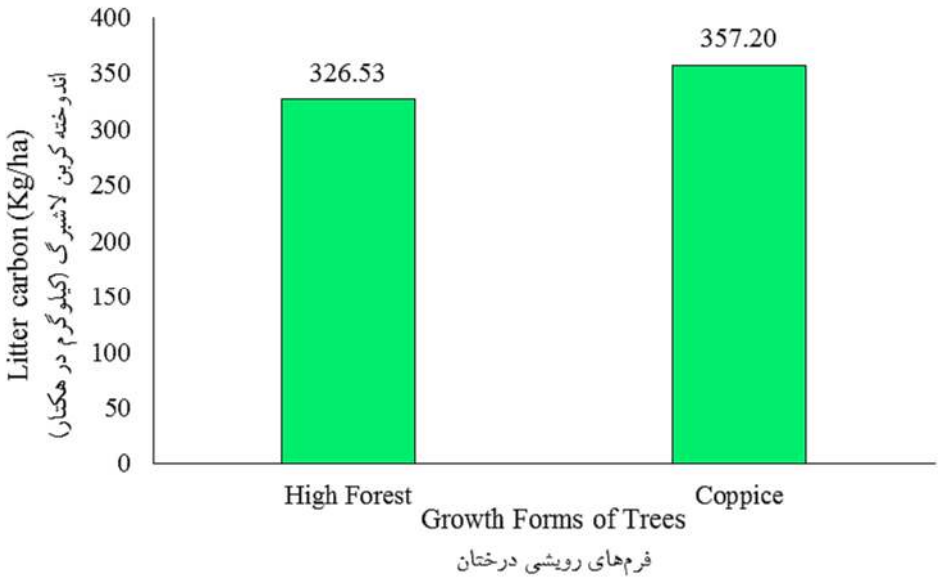
جدول ۶- تحلیل رگرسیون خطی بین عناصر خاک

Table 6. Line regression analyzes between soil nutrients

Regression	Model	df	Mean Square	R^2	F	Sig.
Carbon-Nitrogen	y = 0.09x	1	0.051	0.944	476.335	0.000
Carbon-Phosphor	y = 0.1x + 0.31	1	0.067	0.194	6.737	0.015

اندوخته کربن لاشبرگ

هرچند مقدار اندوخته کربن لاشبرگ زیر درختان شاخه‌زاد (۳۵۷/۲ کیلوگرم در هکتار) بیشتر از مقدار آن زیر درختان دانه‌زاد (۳۲۶/۵۳ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد، اما این اختلاف معنی‌دار نبود (P=۰/۸۱۱) (شکل ۳). درمجموع، مقدار متوسط اندوخته کربن لاشبرگ در منطقه مورد مطالعه ۰/۳۲۷ تن در هکتار به‌دست آمد.



شکل ۳- اندوخته کربن لاشبرگ در فرم‌های رویشی دانه‌زاد و شاخه‌زاد

Figure 3. Litter carbon in high forest and coppice trees

بحث

مقدار زی‌توده در بوم‌سازگان‌های جنگلی علاوه‌بر اینکه بیانگر توان تولید در واحد سطح یا زمان (مقدار ذخایر کربن موجود در جنگل) است، بر چرخه‌های زیست‌زمین‌شیمیایی جنگل نیز تأثیر می‌گذارد. همچنین، عواملی مانند بحران گرمایش جهانی و تعیین مقدار کربن ذخیره‌شده در زی‌توده درختان جنگلی در کل جهان، جنگل‌کاری با هدف تولید انرژی زیستی و تولید محصولات چوبی و تجارت چوب و کاغذ ازجمله مسائلی هستند که ارتباط مستقیمی با اندازه‌گیری زی‌توده جنگل دارند. در بسیاری از

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

پژوهش‌های انجام‌شده، ذخیره کربنِ بوم‌سازگان‌های جنگلی اغلب در سه بخش اصلی شامل پوشش گیاهی، خاک و لاشبرگ خلاصه و تحلیل شده است (Lee *et al.*, 2014; Hérault & Piponiot, 2018; Lafleur *et al.*, 2018). کربنی که در خشک‌دارهای جنگل ذخیره می‌شود، یکی از پنج مخزن کربنی است که توسط هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم (IPCC) شناسایی شده است و محاسبه دقیق این مخازن برای کاهش اثرات گرمایش زمین ضروری است (Pfeifer *et al.*, 2015)، بنابراین در پژوهش پیش‌رو نیز سنجش زی‌توده و اندوخته کربن در سه بخش خشک‌دار، لاش‌ریزه و خاک بررسی و تحلیل شد. علی‌رغم پژوهش‌های فراوان در مورد زی‌توده و اندوخته کربن روی زمینی در بوم‌سازگان‌های جنگلی، کربن ذخیره‌شده در خشک‌دارها در فرم‌های رویشی مختلف تاکنون به‌خوبی مستند نشده است. بسیاری از پژوهش‌های مرتبط با ذخیره کربن به‌طور انحصاری بر زی‌توده زنده متمرکز شده‌اند یا در جنگل‌های اولیه که تحت تأثیر قطع درختان قرار نمی‌گیرند، انجام شده‌اند. این در حالی است که بقایای چوبی درشت می‌توانند بخش‌های قابل‌توجهی از ذخایر کربن جنگل را در خود جای دهند (Pfeifer *et al.*, 2015).

گونه‌های غالب درختی و ویژگی‌های ساختاری جنگل از مهم‌ترین عوامل در تعیین مقدار زی‌توده و ذخیره‌سازی کربن شناخته شده‌اند. جمعیت، قطر برابر سینه و ارتفاع درختان نیز از اصلی‌ترین مشخصه‌ها در مقدار تولید زی‌توده و اندوخته کربن توده جنگلی به اثبات رسیده‌اند (Behera *et al.*, 2017)، بنابراین میانگین بیشتر مؤلفه‌های کمی در درختان دانه‌زاد نسبت به شاخه‌زاد از دلایل اصلی تفاوت زی‌توده و اندوخته کربن خشک‌دارهای ایستاده و افتاده در فرم‌های رویشی مورد مطالعه در پژوهش پیش‌رو است. Mahmoudi Taleghani و همکاران (۲۰۰۷) در برآورد ذخیره کربن جنگل‌های هیرکانی تحت مدیریت، حجم در هکتار جنگل و تنوع در ترکیب و آمیختگی گونه‌ها را از عوامل مؤثر بر اندوخته کربن توده ذکر کردند. فرم غالب شاخه‌زاد یا جست‌گروه در یک توده جنگلی، نشان‌دهنده دخالت‌های شدید انسانی در منطقه و تغییر در ساختار توده است. در پژوهش‌های متعددی، تأثیر دخالت‌های انسانی بر کاهش مقدار اندوخته کربن روی زمینی گزارش شده است (Badalamenti *et al.*, 2019). پژوهش 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، بنابراین یکی دیگر از دلایل مقدار کمتر اندوخته کربن خشک‌دارهای ایستاده در درختان شاخه‌زاد مورد بررسی در پژوهش پیش‌رو، فرم رویشی درختان است. میزان زی‌توده خشک‌دارهای ایستاده در بوم‌سازگان‌های جنگلی به‌طور مداوم در حال تغییر است. این تغییرات وابسته به بهره‌وری بوم‌سازگان‌های جنگلی، توالی و نرخ تجزیه هستند. علاوه‌بر ناحیه جغرافیایی، ساختار جنگل و ترکیب گونه‌ای، روش‌های مدیریت جنگل نیز می‌توانند بر مقدار و پویایی خشک‌دارهای سرپا و سرعت تجزیه آن‌ها در بوم‌سازگان‌های جنگلی تأثیر بگذارند (Tavankar *et al.*, 2022). درمجموع، مقدار متوسط اندوخته کربن خشک‌دارها (مجموع خشک‌دارهای ایستاده و افتاده) در منطقه مورد مطالعه ۰/۱۷۱ تن در هکتار به‌دست آمد. بررسی اهمیت خشک‌دارها در زی‌توده و ذخایر کربن در بوم‌سازگان‌های جنگلی سنت‌جان، جزایر ویرجین در ایالات متحده نشان داد که خشک‌دارها و لایه زیرین خاک به‌طور میانگین ۲۰ درصد از کل ذخایر کربن این منطقه را تشکیل می‌دهند (Oswalt *et al.*, 2008). همچنین، زی‌توده خشک‌دارها در جنگل‌های این جزیره ۰/۴۹ تن در هکتار گزارش شد که با نتایج پژوهش پیش‌رو، مشابهت بیشتری دارد. زیرا که منطقه جنگلی آتشگاه لردگان نیز جزء مناطق جنگلی خشک و نیمه‌خشک کشور محسوب می‌شود. ازطرفی، تغییرات مشاهده در مقدار زی‌توده خشک‌دارها بین طبقه‌های قطری مختلف و یا بین فرم‌های رویشی درختان می‌تواند به‌دلیل جمع‌آوری چوب‌های خشک در جنگل توسط روستائیان حاشیه مناطق جنگلی برای استفاده‌های سوختی باشد.

در میان ذخیره‌گاه‌های جهانی کربن، خاک‌های جنگلی،

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

حائز اهمیت زیادی هستند. ذخایر کربن خاک در طی تکامل توده تغییر می‌کنند. ورودی مواد آلی به خاک و آزاد شدن کربن حاصل از مواد آلی خاک تحت تأثیر توده درختان و عوامل اقلیمی قرار می‌گیرند (Kooch & Parsapour, 2016). مقدار کربن آلی موجود در خاک درختان مورد بررسی در پژوهش پیش‌رو ۴۴/۶ تن در هکتار به‌دست آمد. مقدار مشابه اندوخته کربن خاک در دو فرم رویشی دانه‌زاد و شاخه‌زاد را می‌توان به مشابهت حجم لاشبرگ موجود در دو رویشگاه نسبت داد. اگرچه فرم رویشی درختان باهم متفاوت هستند، اما ازنظر مقدار لاشبرگ، تفاوت معنی‌داری بین آن‌ها وجود نداشت. درنتیجه، مقدار ماده آلی خاک آن‌ها نیز مشابه بود. زیرا در عرصه‌های جنگلی، مهم‌ترین و اصلی‌ترین عامل تأمین‌کننده ماده آلی خاک، لاشبرگ‌ها و بقایای گیاهی است (Kianmehr *et al.*, 2022). Mahmoudi Taleghani و همکاران (۲۰۰۷) مقدار ذخیره کربن خاک در طرح جنگلداری دلدره در منطقه گلبند در جنگل‌های هیرکانی کشور را ۲۸۳ تن در هکتار برآورد کردند. آن‌ها، عامل تنوع در ترکیب و آمیختگی گونه‌ها را موجب فعال بودن بوم‌سازگان و درنتیجه، ترسیب کربن بیشتر در خاک ذکر کردند. Varamesh و همکاران (۲۰۱۰) نیز مقدار اندوخته کربن خاک در توده جنگل‌کاری اقاقیا و کاج تهران را به‌ترتیب ۷۸/۲ و ۵۷ تن در هکتار گزارش کردند. اندوخته کربن در رویشگاه‌های برودار در استان کهگیلویه و بویراحمد حدود ۱۲۶ تا ۱۴۶ تن در هکتار محاسبه شد (Askari *et al.*, 2021). متوسط اندوخته کربن خاک در رویشگاه‌های مختلف زاگرسی نیز بین ۶۱/۴ تا ۱۳۸/۱ تن در هکتار گزارش شد (Iranmanesh *et al.*, 2023). پژوهش‌های مختلف نشان داده‌اند که مقدار کربن آلی خاک در جنگل‌های متراکم، بیشتر است. این موضوع نشان‌دهنده پتانسیل زیاد ذخیره کربن توسط پوشش گیاهی است.

بررسی رابطه کربن و نیتروژن خاک در پژوهش پیش‌رو بیانگر همبستگی زیاد این دو عنصر بود. پژوهش‌های مختلف نشان داده‌اند که نیتروژن تثبیت‌شده در زی‌توده درخت بر تولید جنگل و ترسیب کربن درخت مؤثر هستند (Kooch *et al.*, 2021; Amorim *et al.*, 2023)، بنابراین نیتروژن از طریق ارتباط بین ظرفیت فتوسنتزی برگ و غلظت نیتروژن شاخ و برگ‌ها، به‌عنوان یک تنظیم‌کننده مهم جذب کربن عمل می‌کند. همبستگی زیاد بین مقدار نیتروژن و کربن آلی خاک در هر دو فرم رویشی، مؤید این موضوع است. از طرف دیگر، بازگشت فسفر در مقایسه با بازگشت نیتروژن به‌میزان اندکی با تجزیه مواد آلی، ارتباط پیدا می‌کند. درنتیجه، فسفر آلی خاک‌های جنگلی به‌علت آشفتگی‌های مکرر در مدت زیاد از دست می‌روند. ترسیب کربن توسط درختان در اثر کمبود فسفر، محدود می‌شود. به‌ویژه غلظت فسفر برگ به‌عنوان عامل مهم تعیین‌کننده ظرفیت فتوسنتزی بعضی از گونه‌های درختی محسوب می‌شود (Amorim *et al.*, 2023). اگرچه تأثیر فسفر نسبت به نیتروژن بر مقدار ماده آلی خاک کمتر است، اما برهم‌کنش نیتروژن– فسفر، اثر بسیار قوی بر کارکرد بوم‌سازگان جنگلی دارد. به همین دلیل، فسفر در خاک درختان شاخه‌زاد مورد مطالعه بیشتر از خاک درختان دانه‌زاد بود. میزان همبستگی بین کربن خاک و فسفر در هر دو فرم رویشی مورد مطالعه و البته کمتر بودن این همبستگی نسبت به نیتروژن، گواه بر این موضوع است.

متغیر دیگری که ذخیره کربن بوم‌سازگان به آن وابسته است، لاشبرگ موجود در پوشش کف جنگل است. اجزای لاشبرگ، ریشه و متابولیسم میکروبی ازجمله راه‌های اصلی ورود کربن به ماده آلی خاک هستند. به‌ویژه کف جنگل‌ها و افق‌های خاک معدنی در بوم‌سازگان‌های جنگلی شامل مقادیر زیاد کربن هستند. مقدار لاشبرگ بر فرایندهای مهم بوم‌سازگان جنگلی مانند چرخه کربن و عناصر غذایی مؤثر است. مقدار اندوخته کربن لاشبرگ در درختان مورد بررسی، تفاوت معنی‌داری نشان نداد. تخریب شدید رویشگاه، چرای بی‌رویه دام و استفاده از برگ درختان بلوط برای تغذیه گوسفندان، تراکم کم درختان در منطقه و وجود انواع فرسایش از مهم‌ترین دلایل ضعف لایه لاشبرگ در منطقه مورد بررسی است. چرای بی‌رویه دام، برداشت خشک‌دارهای افتاده و آتش‌سوزی می‌تواند به‌طور قابل

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

توجهی به مقدار لاشبرگ در هر دو نوع توده جنگلی آسیب برساند. Askari و همکاران (۲۰۲۱) متوسط اندوخته کربن لاشبرگ را در جنگل‌های برودار استان کهگیلویه و بویر احمد ۰/۷۳ تن در هکتار گزارش کردند. Iranmanesh و همکاران (۲۰۲۳) نیز متوسط اندوخته کربن لاش‌ریزه در رویشگاه‌های مختلف زاگرسی را بین ۰/۸ تا ۳/۷ تن در هکتار برآورد کردند. در پژوهش پیش‌رو نیز متوسط اندوخته کربن لاشبرگ حدود ۰/۳۳ تن در هکتار به‌دست آمد. از دلایل اصلی میانگین کم لاش‌ریزه در رویشگاه مورد بررسی می‌توان به حضور بیش از اندازه دام در منطقه و تراکم کم پوشش درختی در آن اشاره کرد. همین موضوع یعنی استفاده از برگ درختان برای تغذیه دام‌ها را می‌توان از دلایل اصلیِ عدم تفاوت معنی‌دار مقدار لاشبرگ بین فرم‌های رویشی مختلف درختان برودار دانست. در بوم‌سازگان‌های جنگلی، تولید لاشبرگ و فرایندهای تجزیه آن بسیار مهم هستند. لاشبرگ، اثر معنی‌داری بر مواد غذایی، چرخه زیست‌زمین‌شیمیایی و عملکرد سالم در بوم‌سازگان جنگلی دارد (Giweta, 2020). از وزن لاشبرگ به‌عنوان شاخص سلامت و حاصلخیزی جنگل استفاده شده است (Pedersen & Bille-Hansen, 1999). علاوه‌براین، درک عوامل مختلف تأثیرگذار بر تجزیه لاشبرگ برای بررسی عملکرد بوم‌سازگان، بسیار مهم است. در بسیاری از پژوهش‌های انجام‌شده در مورد اندوخته کربن بوم‌سازگان‌های جنگلی، علاوه‌بر اندوخته کربن روی‌زمینی، فقط به بخش خاک و لاش‌ریزه پرداخته شده است. نکته قابل‌توجه در پژوهش پیش‌رو، اندازه‌گیری اندوخته کربن خشک‌دار است که سهم آن (۰/۱۷۱ تن در هکتار) حدود یک‌دوم اندوخته کربن لاشبرگ (۰/۳۲۷ تن در هکتار) به‌دست آمد. این یافته بیانگر لزوم توجه به این بخش از زی‌توده روی زمینی در بوم‌سازگان‌های جنگلی است. درمجموع، اندوخته کربن خاک، لاشبرگ و خشک‌دار به‌ترتیب با ۴۴/۶، ۰/۳۲۷ و ۰/۱۷۱ تن در هکتار، سهم‌های متفاوتی در ذخیره کربن منطقه جنگلی مورد بررسی دارند. این موضوع علاوه‌بر تأکید بر اهمیت ارزیابی نقش هریک از اجزاء بوم‌سازگان در ذخیره کربن، بر نقش و اهمیت خاک در بوم‌سازگان‌های طبیعی به‌عنوان اندوختگاه اصلی برای جذب و نگهداشت کربن اتمسفری تأکید دارد، بنابراین هرگونه دخالت و تخریب در خاک رویشگاه‌های طبیعی می‌تواند به‌عنوان یک چالش جدی در تشدید اثرات تغییر اقلیم محسوب شود.

سپاسگزاری

این مقاله با حمایت بنیاد ملی علم ایران (Iran National Science Foundation: INSF)، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری (عتف) و سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (تات) در راستای طرح پسادکتری محمدکاظم پارساپور به شماره ۴۰۲۰۲۹۲ به انجام رسیده است.

References

- Allen, S.E., Grimshaw, H.M. and Rowland, A.P., 1986. Chemical analysis: 285-344. In: Moore, P.D. and Chapman, S.B. (Eds.). Method in Plant Ecology. Blackwell Scientific Publication, Hoboken, New Jersey, USA, 589p.
- Amorim, H.C.S., Araujo, M.A., Lal, R. and Zinn, Y.L., 2023. What C:N ratios in soil particle-size fractions really say: N is preferentially sorbed by clays over organic C. Catena, 230: 107230.
- Andivia, E., Rolo, V., Jonard, M., Formánek, P. and Ponette, Q., 2016. Tree species identity mediates mechanisms of top soil carbon sequestration in a Norway spruce and European beech mixed forest. Annals of Forest Science, 73: 437-447.
- Askarii, Y., Iranmanesh, Y. and 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 with English summary).
- Azizi, Y., Akhavan, R., Kia-Daliri, H. and Soleimani, R., 2022. Effect of management activities and aspect on tree, soil and biodiversity variables of tree species in Dinarkuh forests of Ilam. Iranian Journal of Forest, 14(3): 275-290 (In Persian with English summary).

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

- Badalamenti, E., Battipaglia, G., Gristina, L., Novara, A., Rühl, J., Sala, G., ... and La Mantia, T., 2019. Carbon stock increases up to old growth forest along a secondary succession in Mediterranean island ecosystems. PLoS One, 14(7): e0220194.
- Behera, S.K., Sahu, N., Mishra, A.K., Bargali, S.S., Behera, M.D. and Tuli, R., 2017. Aboveground biomass and carbon stock assessment in Indian tropical deciduous forest and relationship with stand structural attributes. Ecological Engineering, 99: 513-524.
- Berg, B. and McClaugherty, C., 2003. Influence of site factors other than climate: 163-172. In: Berg, B. and McClaugherty, C. (Eds.). Plant Litter: Decomposition, Humus Formation, Carbon Sequestration. Springer, Berlin, Germany, 286p.
- Bremner, J.M. and Mulvaney, C.S., 1982. Nitrogen-total: 595-624. In: Page, A.L., Miller, R.H. and Keeney, D.R. (Eds.). Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties, Second Edition. American Society of Agronomy, Inc., Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, 1159p.
- Daba, D.E., Dullo, B.W. and Soromessa, T., 2022. Effect of forest management on carbon stock of tropical moist Afromontane Forest. International Journal of Forestry Research, 2022: 3691638.
- Duchesne, L., Houle, D., Ouimet, R., Lambert, M.C. and Logan, T., 2016. Aboveground carbon in Quebec forests: stock quantification at the provincial scale and assessment of temperature, precipitation and edaphic properties effects on the potential stand-level stocking. PeerJ, 4: e1767.
- Giweta, M., 2020. Role of litter production and its decomposition, and factors affecting the processes in a tropical forest ecosystem: a review. Journal of Ecology and Environment, 44(1): 11.
- Hanafi-Bojd, A.A., Sharififard, M., Jahanifard, E., Navidpour, Sh. and Vazirianzadeh, B., 2020. Presence probability of *Hemiscorpius lepturus* Peters, 1861 using maximum entropy approach in the western areas of Zagros Mountains, Iran. Veterinary World, 13(2): 296-303.
- Harmon, M.E., Franklin, J.F., Swanson, F.J., Sollins, P., Gregory, S.V., Lattin, J.D., ... and Cummins, K.W., 1986. Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. Advances in Ecological Research, 15: 133-302.
- Hérault, B. and Piponiot, C., 2018. Key drivers of ecosystem recovery after disturbance in a neotropical forest. Forest Ecosystems, 5(1): 2.
- IPCC, 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Published by the Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the IPCC, National Greenhouse Gas Inventories Programme, Hayama, Japan, 590p.
- IPCC, 2007: Summary for policymakers: 1-18. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., … and Miller, H.L. (Eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, 996p.
- Iranmanesh, Y., 2013. Assessment on biomass estimation methods and carbon sequestration of *Quercus brantii* Lindl. in Chaharmahal & Bakhtiari forests. Ph.D thesis, University of Tarbiat Modares, Nur, Iran, 106p (In Persian with English summary).
- Iranmanesh, Y., Pourhashemi, M., Jahanbazi, H., Bordbar, K., Askari, Y., Henareh Khalyani, J., ... and Ghasempour, S., 2023. An analysis of carbon storage status in Zagros forest habitats. Journal of Iran Nature, 8(2): 15-20 (In Persian with English summary).
- Kianmehr, A., Hojjati, S.M., Kooch, Y. and Ghasemi Aghbash, F., 2022. Investigation of litter nutrient dynamics in pure and mixed stands of beech and hornbeam (Darabkola of Mazandaran). Iranian Journal of Forest, 14(1): 89-103 (In Persian with English summary).
- Kooch, Y. and Parsapour, M.K., 2016. The effects of broad and needle-leaved forest covers on soil microbial indices. Journal of Water and Soil Conservation, 23(2): 195-210 (In Persian with English summary).
- Kooch, Y., Parsapour, M.K., Egli, M. and Moghimian, N., 2021. Forest floor and soil properties in different development stages of Oriental beech forests. Applied Soil Ecology, 161, p.103823.
- Lafleur, B., Fenton, N.J., Simard, M., Leduc, A., Paré, D., Valeria, O. and Bergeron, Y., 2018. Ecosystem management in paludified boreal forests: enhancing wood production, biodiversity, and carbon sequestration at the landscape level. Forest Ecosystems, 5: 27.
- Lee, J., Yoon, T.K., Han, S., Kim, S., Yi, M.J., Park, G.S., ... and Son, Y., 2014. Estimating the carbon dynamics of South Korean forests from 1954 to 2012. Biogeosciences, 11(17): 4637-4650.
- Li, Q., Yang, D., Jia, Z., Zhang, L., Zhang, Y., Feng, L., ... and 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: 53-59.
- MacDicken, K.G., 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Forest Carbon Monitoring Program, Winrock International Institute for Agricultural Development, Arkansas, USA, 87p.
- Mahmoudi Taleghani, E., Zahedi Amiri, Gh., Adeli, E. and Sagheb-Talebi, Kh., 2007. Assessment of carbon sequestration in soil layers of managed forest. Iranian

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

Journal of Forest and Poplar Research, 15(3): 241-252 (In Persian with English summary).
- Mo, L., Zohner, C.M., Reich, P.B., Liang, J., de Miguel, S., Nabuurs, G.J., … and Crowther, T.W., 2023. Integrated global assessment of the natural forest carbon potential. Nature, 624: 92-101.
- Olsen, S.R. and Sommers, L.E., 1982. Phosphorus: 403-430. In: Page, A.L., Miller, R.H. and Keeney, D.R. (Eds.). Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties, Second Edition. American Society of Agronomy, Inc., Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, 1159p.
- Oswalt, S.N., Brandeis, T.J. and Woodall, C.W., 2008. Contribution of dead wood to biomass and carbon stocks in the Caribbean: St. John, U.S. Virgin Islands. Biotropica, 40(1): 20-27.
- Pan, Y., Birdsey, R.A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P.E., Kurz, W.A., ... and Hayes, D., 2011. A large and persistent carbon sink in the world's forests. Science, 333(6045): 988-993.
- Pato, M., Salehi, A., Zahedi Amiri, G. and Banj Shafiei, S.A., 2017. Soil carbon stock and its relationship with physical and chemical characteristics in soil of different land-uses in Zagros region. Journal of Forest and Wood Product, 69(4): 747-756 (In Persian with English summary).
- Pedersen, L.B. and Bille-Hansen, J., 1999. A comparison of litterfall and element fluxes in even aged Norway spruce, sitka spruce and beech stands in Denmark. Forest Ecology and Management, 114(1): 55-70.
- Pfeifer, M., Lefebvre, V., Turner, E., Cusack, J., Khoo, M., Chey, V.K., ... and Ewers, R.M., 2015. Deadwood biomass: an underestimated carbon stock in degraded tropical forests? Environmental Research Letters, 10(4): 044019.
- Sarvazad, A., Fallah, A. and Vahedi, A.A., 2022. Changes in carbon storage of *Quercus brantii* Lindl in relation to physiographic factors of Zagros forests. Journal of Forest Research and Development, 8(3): 329-341 (In Persian with English summary).
- Sun, W. and Liu, X., 2020. Review on carbon storage estimation of forest ecosystem and applications in China. Forest Ecosystems, 7: 4.
- Takahashi, M., 2005. Direct estimation of carbon mass of organic layer from dry weight. Journal of Forest Research, 10: 239-241.
- Takahashi, M., Ishizuka, S., Ugawa, S., Sakai, Y., Sakai, H., Ono, K., ... and Morisada, K., 2010. Carbon stock in litter, deadwood and soil in Japan's forest sector and its comparison with carbon stock in agricultural soils. Soil Science and Plant Nutrition, 56(1): 19-30.
- Talebi, M., Sagheb-Talebi, Kh. and Jahanbazi, H., 2006. Site demands and some quantitative and qualitative characteristics of Persian oak (*Quercus brantii* Lindl.) in Chaharmahal & Bakhtiari Province (western Iran). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 14(1): 79-67 (In Persian with English summary).
- Tavankar, F., Kivi, A.R., Taheri-Abkenari, K., Lo Monaco, A., Venanzi, R. and Picchio, R., 2022. Evaluation of deadwood characteristics and carbon storage under different silvicultural treatments in a mixed broadleaves mountain forest. Forests, 13(2): 259.
- Vahedi, A.A., Fallah, A. and Nazariani, N., 2023. Accumulation trend of fine woody debris volume stock in the altitudinal range of Kheiroud research forest, Iran. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 31(3): 186-202 (In Persian with English summary).
- Varamesh, S., Hosseini, S.M., Abdi, N. and Akbarinia, M., 2010. Increment of soil carbon sequestration due to forestation and its relation with some physical and chemical factors of soil. Iranian Journal of Forest, 2(1): 25-35 (In Persian with English summary).
- Victor, A.D., Valery, N.N., Louis, Z., Davy, A.A. and Chantal, M., 2019. Carbon stocks in dead wood biomass of Savannah ecosystems in Northern Region Cameroon. Journal of Botany Research, 2(1): 60-70.
- Zianis, D., Muukkonen, P., Mäkipää, R. and Mencuccini, M., 2005. Biomass and stem volume equations for tree species in Europe. Silva Fennica Monographs, 4: 63p.

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