پژوهش و توسعه جنگل
جلد ۱۰، شماره ۳، صفحه ۳۴۱-۳۲۳، (۱۴۰۳)
DOI: https://doi.org/10.30466/jfrd.2024.55309.1724
DOR: https://dorl.net/dor/20.1001.1.24763551.1403.10.3.2.8

مقالهٔ پژوهشی

بررسی روند ذخیره کربن لاشبرگ و خشک‌دار ریز در لایه کف جنگل‌های شهرستان مریوان

مازیار حیدری*[۱]، یعقوب ایرانمنش[۲] و مهدی پورهاشمی[۳]

۱- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران. (m.haidari@areeo.ac.ir)

۲- دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چار محال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران. (y_iranmanesh@yahoo.com)

۳- استاد پژوهش، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. (doveyse@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۰۶

چکیده

مقدمه و هدف: جنگل‌های زاگرس دارای خدمات بوم‌سازگانی متنوع بوده و از نظر بوم‌شناسی، اقتصادی و اجتماعی دارای جایگاه ارزنده‌ای هستند و ذخیره کربن به‌عنوان یکی از خدمات ارزشمند تنظیمی بوم‌سازگان شناخته شده است. گونه‌های درختی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر ویژگی‌های خاک از طریق تولید لاشریزه بوده و نقش اساسی در چرخه کربن و ترسیب آن دارند. لاشبرگ و لاشریزه به‌عنوان راه ورود کربن به خاک جنگل، دارای اهمیت زیادی است. هدف از این پژوهش بررسی روند ذخیره کربن لایه کف (لاشبرگ و خشک‌دار ریز) در دو قطعه‌نمونه ثابت در جنگل‌های شهرستان مریوان استان کردستان (۱۳۹۸ تا ۱۴۰۰) است.

مواد و روش‌ها: برای اجرای پژوهش در هریک از مناطق گاران (توده قرق و حفاظت شده) و دولەناو (تیپیک جنگل-های استان) یک قطعه‌نمونه یک‌هکتاری پیاده شد. بازه زمانی اجرای پروژه از سال ۱۳۹۸ تا پایان مهرماه سال ۱۴۰۰ بود. در پایان مهرماه هر سال، با پیاده‌کردن ۱۰ ریز قطعه‌نمونه ۰/۵ مترمربعی (قطعه-نمونه‌های ثابت) در هر منطقه، اقدام به نمونه‌برداری لاشبرگ و خشک‌دار ریز شد. برای اندازه‌گیری زی‌توده و مقدار کربن نمونه‌های لاشبرگ و خشک‌دار ریز بر اساس استاندارد ASABE S358.2 (2010) به مدت ۲۴ ساعت در دستگاه آون در دمای ۱۰۴ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و بعد از آن بلافاصله وزن خشک (زی‌توده) نمونه‌ها محاسبه شد. برای اندازه‌گیری درصد کربن آلی نمونه‌های لاشبرگ و خشک‌دار ریز از روش احتراق در کوره الکتریکی استفاده شد و نمونه‌ها به مدت چهار ساعت در دمای ۶۰۰-۵۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و پس از اندازه‌گیری درصد خاکستر محاسبه شد و در ادامه از ضرب درصد کربن در

زی‌توده نمونه‌ها، وزن کربن برای هر ریز قطعه‌نمونه (به تفکیک لاشبرگ و خشک‌دار ریز) محاسبه شد؛ بنابراین نمونه‌های لاشبرگ و خشک‌دار ریز بلافاصله در عرصه توزین و بسته‌بندی شده و در آزمایشگاه زی‌توده ، درصد رطوبت، درصد کربن و مقدار ذخیره کربن آنها محاسبه شد. همچنین برای بررسی و مقایسه مولفه‌های مورد پژوهش در سه دوره نمونه‌برداری از آزمون مقایسه بین گروهی دانکن استفاده شد. آنالیز داده‌ها و مقایسه‌های آماری با استفاده از برنامه SPSS 20 انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که در رویشگاه گاران در سال‌های ۱۳۹۸، ۹۹ و ۱۴۰۰ زی‌توده لاشبرگ به‌ترتیب ۴/۴۶، ۲/۸۹، ۴/۹۴ تن در هکتار بود و میانگین زی‌توده لاشبرگ در رویشگاه گاران از دوله‌ناو بیشتر بود؛ همچنین وضعیت ذخیره کربن لاشبرگ رویشگاه گاران در سه سال پژوهش به‌ترتیب ۱/۸۷۸، ۱/۲۱ و ۲/۰۰۹ تن در هکتار برآورد شد و این مقادیر نسبت به رویشگاه دوله‌ناو بیشتر بود. نتایج آزمون تجزیه واریانس دو طرفه نشان داد که اختلاف زی‌توده و ذخیره کربن در دو رویشگاه از نظر آماری معنی‌دار بود. همچنین میانگین زی‌توده نمونه‌های خشک‌دار ریز در رویشگاه گاران در سال‌های ۱۳۹۸، ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ به‌ترتیب ۰/۴۵۶، ۰/۳۲۷ و ۰/۵۹۹ تن در هکتار بود، در زمینه ذخیره کربن این نمونه‌ها در رویشگاه گاران در سال‌های موردبررسی به ترتیب ۰/۲۱۴، ۰/۱۷۸ و ۰/۳۲۲ تن در هکتار تایید شد و در مجموع ذخیره کربن نمونه‌های خشک‌دار ریز در رویشگاه گاران بیشتر از دوله‌ناو بود و این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار بود. از طرفی میانگین درصد کربن نمونه‌های لاشبرگ در قطعه‌نمونه گاران در سال ۱۳۹۸، ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ به‌ترتیب ۴۲/۰۷، ۴۲/۲۲ و ۴۱/۰۳ درصد بود و درصد کربن لاشبرگ کوچک در قطعه‌نمونه گاران بیشتر از دوله‌ناو بود. براساس آزمون تجزیه واریانس دوطرفه برای نمونه‌های خشک‌دار ریز درختان، برای مولفه‌های زی‌توده، ذخیره کربن و درصد کربن نمونه‌ها در سال‌های آماربرداری اختلاف معنی‌دار مشاهده شد، اما در زمینه رویشگاه و اثر متقابل سال× رویشگاه اثر معنی‌داری مشاهده نشد. درکل، در رویشگاه گاران ذخیره کربن لاشبرگ و خشک‌دار ریز به‌ترتیب ۴/۰۹ و ۰/۴۶ تن در هکتار برآورد شد که از دوله‌ناو (با مقادیر ۳/۵۵ و ۰/۳۹ تن در هکتار) بیشتر بود. بیشترین ذخیره کربن لاشبرگ به‌ترتیب در سال‌های ۱۴۰۰، ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ رخ داده بود. نتایج کلی نشان داد که مقدار زی‌توده و موجودی کربن لاشریزه درشت و کوچک در منطقه گاران ۰/۱۴ بیشتر از دوله‌ناو بود.

نتیجه‌گیری: یافته‌های کلی پژوهش نشان داد که میانگین زی‌توده و ذخیره کربن برای لاشبرگ و خشک‌دار ریز در رویشگاه گاران از رویشگاه دوله‌ناو بیشتر بود و با توجه به اثر مثبت قرق بر مقدار زی‌توده و موجودی کربن لاشریزه درشت و کوچک (قطعه‌نمونه گاران)، در راستای مدیریت بهینه جنگل‌های موردبررسی و دیگر جنگل‌های مشابه، پیشنهاد می‌شود که در مناطق تخریب‌یافته اقدام به اعمال مدیریت قرق شود و با استفاده از احیاء و توسعه جنگل، مقدار ذخیره کربن لاشریزه درشت و کوچک را افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: ذخیره کربن، لاشبرگ، خشک‌دار ریز، قطعه‌نمونه گاران، زی‌توده، درصد کربن.

* نویسنده مسئول شمارهٔ تماس: ۰۹۱۸۳۵۶۵۸۵۲

مقدمه

جنگل‌های زاگرس با بیش از پنج میلیون هکتار، از نظر مساحت به‌عنوان وسیع‌ترین بوم‌سازگان جنگلی کشور شناخته شده است (Jazirehi and Ebrahimi Rostaghi, 2004; Yousofvand mofrad et al., 2023; Haidari et al., 2024). این جنگل‌ها دارای خدمات بوم‌سازگانی متنوع بوده و از نظر بوم‌شناسی، اقتصادی و اجتماعی دارای جایگاه ارزنده‌ای هستند و ذخیره کربن به‌عنوان یکی از خدمات ارزشمند تنظیمی بوم‌سازگان شناخته شده است.

افزایش دی‌اکسیدکربن اتمسفری در سال‌های اخیر منجر به افزایش گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی شده است. ترسیب کربن در پوشش درختی، گیاهی و خاک‌های تحت آن ساده‌ترین و از لحاظ اقتصادی عملی‌ترین راهکار ممکن برای کاهش کربن اتمسفری محسوب می‌شود (Heydarian and Ghasemi Aghbash, 2020; Mahdavi et al., 2022; Pato et al., 2016). گونه‌های درختی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر ویژگی‌های خاک از طریق تولید لاشریزه بوده و نقش اساسی در چرخه کربن و آزادسازی عناصر غذایی خاک دارند (Jafarisarabi et al., 2021). لاشبرگ به‌عنوان یکی از راه‌های ورود کربن آلی به خاک، به‌عنوان ذخیره آتی خاک درنظر گرفته می‌شود (Mahmoudi et al., 2013).

بر اساس تعریف، زی‌تودهٔ جنگل به مقدار مادهٔ خشک موجود در گیاهان چوبی (درختان و درختچه‌ها) و گیاهان علفی در واحد سطح (گرم بر مترمربع و یا مگاگرم در هکتار) گفته می‌شود (Liu, 2009). IPCC پنج مخزن اصلی کربن را برای جنگل معرفی کرده که شامل: زی‌تودهٔ روی زمینی (Above-ground Biomass)، زیرزمینی (Below-ground Biomass)، لاشریزه (Litter)، چوب‌های مرده (Dead Wood) و کربن آلی خاک (Soil Organic Carbon) هستند (IPCC, 2003). این دسته‌بندی در اصلاحیه IPCC (2019) نیز تغییر نکرده است. بنابراین ماده آلی مرده (مجموع خشک‌دار و لاش‌برگ) شامل دو دسته fine woody litter و coarse woody litter هستند. fine woody litter یا لاشریزه‌های ریز شامل تمام لاشبرگ‌ها، لایه‌های هوموس و تمام قطعات چوبی کوچک (قطر کمتر از یک سانتی‌متر) است و coarse woody litter یا لاشریزه‌های درشت نیز قطعات چوبی بزرگ (قطر بیشتر از یک سانتی‌متر) را شامل می‌شوند (Enrong et al., 2006).

پژوهشگرانی مانند Panahi et al. (2011) برای بنه متوسط زی‌توده برگ این درختان را ۶۹/۴ کیلوگرم برآورد نمودند و در پژوهش Olfati et al. (2012) زی‌توده لاشریزه توده بنه (در یزد) را ۰/۴۴ تن در هکتار برآورد شد. Panahi et al. (2014) اندوخته کربن سه گونه برودار، مازودار و وی‌ول را به‌ترتیب ۱۴۰/۲، ۱۰۷/۳ و ۷۵/۶ کیلوگرم برآورد کردند. Yousefi et al. (2017) نشان دادند که در جنگل‌های بلوط بیستون، مقدار ذخیره کربن ترسیب‌شده به ازای برگ و بقایای کف جنگل‌های شاخه‌زاد و تک‌پایه ۱۴۶۷/۲۹ کیلوگرم در هکتار در سال بود. Raeisi et al. (2019) در پارک جنگلی آبیدر سنندج ذخیره کربن پوشش علفی و لاشریزه ۱/۰۵۵ تن در هکتار برآورد کرد. Pourrostami et al. (2020) نشان دادند که در منطقهٔ جنگلی پارک جهان‌نما در توده سوزنی‌برگ خالص و سوزنی‌برگ – پهن‌برگ به‌ترتیب ۰/۹ و ۰/۹۸ (تن در هکتار) ذخیره کربن در لایه لاشریزه ذخیره شد. Iranmanesh et al. (2021) نشان دادند که مقدار اندوخته کربن لاشریزه در قطعات شاهد ۱۵۸۴/۱ و در قطعات دچار زوال ۱۱۴۸/۶ کیلوگرم در هکتار بود. Mahmoudi et al. (2022) گزارش کردند که مقدار

کربن ذخیره‌شده در لاشریزه تیپ جنگلکاری ون (۱/۰ تن در هکتار) بود.

در منابع خارجی نیز Mac Diken (1977) در بررسی خود بیان کرد که زی‌توده، اساس برآورد ارزش اقتصادی کربن بوده و اندازه‌گیری و برآورد زی‌توده در دو بخش زی‌تودهٔ هوایی و زیرزمینی انجام می‌شود. Lal (2003) خاک‌های جهان را سومین ذخیره‌گاه اصلی کربن (آلی و معدنی) و حدود چهار برابر کربن موجود در زی‌توده و ۳/۳ برابر مقدار کربن موجود در جو می‌داند. Keenan et al. (2005) به بررسی ذخیره کربن خشک‌دار ریز در بوم‌سازگان‌های جنگلی استرالیا پرداختند و نتایج نشان داد متوسط ذخیره کربن لایه خشک‌دار ریز در درختزارها و جنگل‌های طبیعی به‌ترتیب ۱۹ و ۱۳۴ تن در هکتار بود و این مقادیر به‌طورکلی در محدوده مقادیر مشاهده‌شده برای بوم‌سازگان‌های مشابه در سایر نقاط جهان بود. Dinakaran and Krishnayya (2008) معتقدند که نوع پوشش تأثیر معنی‌داری بر ترسیب کربن خاک می‌گذارد. طوری‌که تغییر در مقدار ترسیب کربن خاک، به مقدار ورودی کربن به خاک از راه بقایای گیاهی و هدررفت کربن از راه تجزیه بستگی دارد. Akselsson et al. (2005)، De Vries et al. (2006) و Jandl (2007) تأثیر پوشش گیاهی مختلف را بر مقدار ذخیره کربن خاک و کاهش گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر بررسی کرده و بیان کردند که مقدار ذخیره کربن و نیتروژن آلی تحت تأثیر پوشش‌های گیاهی مختلف قرار می‌گیرد. Krueger et al. (2017) به بررسی تأثیر خشک‌دار ریز بر ذخیره کربن خاک در توده مدیریت‌شده و مدیریت‌نشده جنگل‌های استوایی پرداختند و نتایج نشان داد لاشریزه و خشک‌دار ریز طی ۴۰ تا ۱۰۰ سال انباشته شد و در جنگل صنوبر مدیریت‌نشده و مدیریت‌شده راش به‌ترتیب ۱۱ و ۲۳ مگاگرم در هکتار (یک مگاگرم معادل ۱۰۰۰ کیلوگرم و یک تن است) کربن ذخیره شده است. ذخایر کربن از لایه درختی جنگل‌های راش - بلوط (۸ و ۱۹ مگاگرم در هکتار) و در صنوبرکاری‌ها (۳۶ مگاگرم در هکتار در هکتار) از مقدار آن در لایه خشک‌دار ریز بیشتر بود. Kimberley et al. (2019) به بررسی و مقایسه تغییر ذخیره کربن خشک‌دار ریز در جنگل‌های طبیعی نیوزلند پرداختند و نتایج نشان داد برآورد ذخایر کربن خشک‌دار ریز در سال ۲۰۰۷ و ۲۰۰۹ به‌ترتیب ۱۹/۹ و ۱۹/۵ تن/هکتار بود تغییر ذخیره کربن خشک‌دار ریز در طول دوره ثابت مانده است.

جنگل‌های استان کردستان با مساحت ۲۵۶ هزار هکتار یکی از مهم‌ترین رویشگاه‌های منطقه زاگرس است (Haidari et al., 2022) و می‌تواند سهم چشمگیری از ترسیب کربن در این ناحیه رویشی را داشته باشد. به‌خصوص کف جنگل‌ها و افق‌های خاک معدنی در بوم‌سازگان‌های جنگلی شامل مقادیر زیاد کربن است (Haidari et al., 2024). بوم‌سازگان طبیعی کشور به‌ویژه رویشگاه‌های جنگلی زاگرس طی سالیان گذشته از جنبه‌های کمی و کیفی به‌شدت مورد تخریب قرار گرفته است (Sagheb Talebi et al., 2014) و به دنبال آن نقش کلیدی این بوم‌سازگان‌ها در کنترل تغییرات اقلیمی تحت‌تأثیر واقع شده است. زی‌تودهٔ گیاهی به‌عنوان عناصر اصلی جنگل‌های طبیعی از مهم‌ترین حوضچه‌های کربن آلی هستند و درختان و دیگر نباتات چوبی به دلیل سهم زیاد زی‌توده آن‌ها در جنگل به‌عنوان حوضچه‌های کلان کربن آلی شناخته می‌شوند و به‌طور معمول در بیشتر پژوهش‌ها، زیر توده کف جنگل نادیده گرفته می‌شوند (Vahedi and Mataji, 2017). بر اساس بررسی پژوهش‌های انجام‌شده تا کنون پژوهش جامعی در زمینه تغییر زی‌توده لاشریزه و ذخیره کربن (حوضچه‌های کربن آلی) آن در جنگل‌های

شهرستان مریوان انجام نشده است و ارزیابی تغییرات کمی ذخیرهٔ کربن لاشریزه و خشک‌دار ریز در جنگل‌های شهرستان مریوان، اطلاعات ارزنده‌ای در اختیار مدیران و سیاست گذران منابع طبیعی استان و کشور در راستای حفظ، احیاء و توسعه این منابع جنگلی ارائه می‌دهد.

مواد و روش‌ها

برای اجرای این بررسی، دو منطقه گاران و دولەناو در شهرستان مریوان انتخاب شدند (شکل ۱). ساختار جنگل در مناطق گاران و دولەناو به‌ترتیب شاخه‌زاد ناهمسال کم‌قطر و همسال کم‌قطر بود و تراکم جنگل در این منطقه به‌ترتیب ۸۵۲ و ۵۵۲ اصله درخت در هکتار است (Haidari et al., 2022a, Haidari et al., 2022b). بر اساس آمار ۲۴ساله (۱۴۰۱–۱۳۷۸) ایستگاه هواشناسی دریاچه زریوار (شرکت آب منطقه‌ای کردستان) میانگین مولفه‌های اقلیمی بارندگی سالانه، دما و تبخیر سالانه به‌ترتیب ۸۲۴/۲ میلی‌متر در سال، ۱۳/۵ درجه سانتی‌گراد و ۱۶۳۹/۵ میلی‌متر در سال است (جدول ۱).

جدول ۱- میانگین برخی مولفه‌های هواشناسی در شهرستان مریوان

Table 1. Average of some meteorological parameters in Marivan county

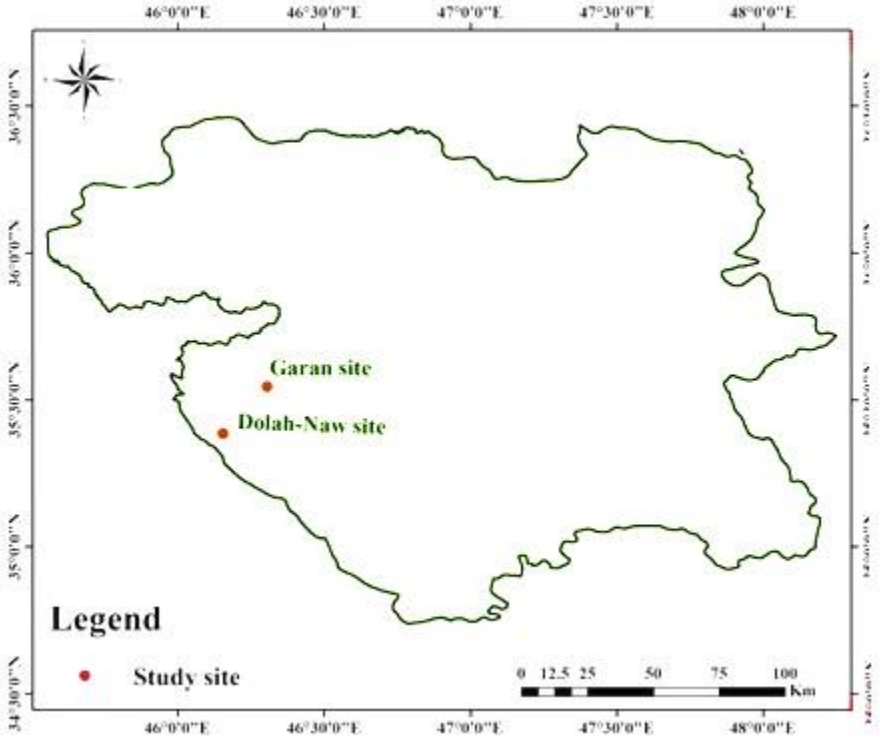
سال Year	بارندگی (میلی‌متر در سال) Annual rainfall (millimeters per year)	دما (سانتی‌گراد) Average temperature (centigrade)	تبخیر سالانه (میلی‌متر در سال) Total annual evaporation (millimeters per year)
1398-2019	790.1	13.7	1740.1
1399-2020	481.3	14.7	1461.4
1400-2021	664	14.1	1811.1
میانگین طولانی مدت (۱۴۰۱–۱۳۷۸) Long-term average (1999-2022)	824.2	13.5	1639.5

بر اساس داده‌های هواشناسی ۲۴ساله ایستگاه هواشناسی دریاچه زریوار شرکت آب منطقه‌ای کردستان

Based on the 24-year meteorological data of Zrebar Lake meteorological station of Kurdistan Regional Water Company

روش جمع‌آوری داده‌ها

بازه زمانی اجرای پروژه از سال ۱۳۹۸ تا پایان مهر ماه سال ۱۴۰۰ بود. پس از پایش میدانی جنگل‌های شهرستان مریوان، مصاحبه با کارشناسان منابع طبیعی در شهرستان مریوان و اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کردستان، بر اساس مولفه‌های نوع مدیریت، تیپ‌های جنگلی، وضعیت بهره‌برداری‌های سنتی و تیپیک بودن جنگل‌های این شهرستان، دو رویشگاه شامل گاران (توده قرق و حفاظت‌شده) و دولەناو (تیپیک جنگل‌های شهرستان مریوان) انتخاب شدند و در هر رویشگاه یک قطعه‌نمونه مربعی‌شکل یک هکتاری (ابعاد ۱۰۰ × ۱۰۰ متر) به‌طور تصادفی پیاده شد (شکل ۲).



شکل ۱- موقعیت منطقه موردبررسی در استان کردستان

Figure 1. Location of the studied area in Kurdistan province

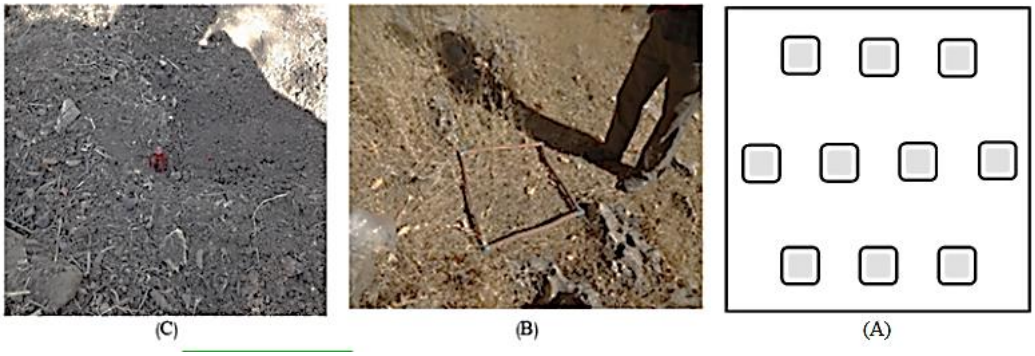
(B) (A)

شکل ۲- تصاویر مناطق گاران (A) و دولهناو (B) بر روی گوگل‌ارث

Figure 2. Google Earth images of Garan (A) and) Dolah Naw region (b) sites

اندازه‌گیری لایه لاشریزه (لاشبرگ و خشکه‌دار ریز) توسط یک قاب کوچک ۰/۵ مترمربعی (IPCC, 2003) در ابعاد ۷۱×۷۱ سانتی‌متر انجام شد (شکل ۳-ب). در هر قطعه‌نمونه، ۱۰ قاب به طور تصادفی پیاده شد (شکل ۳-الف) و تمامی دو گروه لاشبرگ و خشک‌دار ریز موجود (Iranmanesh *et al.*, 2021) در آن‌ها به‌طور جداگانه جمع‌آوری شدند (شکل ۳-ج). اندازه‌گیری‌ها در انتهای فصل رویش (مهرماه سال ۱۳۹۸) انجام شد و در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ نیز مجدد انجام شد. قابل ذکر است که بعد از برداشت دو گروه لاشبرگ و خشک‌دار ریز (تکه‌های چوب با قطر یک سانتیمتر و کمتر از آن)، کف ریزقطعه‌نمونه را کامل

پاکسازی نموده و با یک قطعه میلگرد (به طول ۲۰ سانتی‌متر) محل قرارگیری مرکز ریزقطعه‌نمونه را مشخص و نشانه‌گذاری شد. نمونه‌های لاشبرگ و خشکه دار ریز (به‌صورت جداگانه) برداشت شده بلافاصله در عرصه توزین شده و در بسته‌بندی‌های جداگانه، برای اندازه‌گیری زی‌توده و مقدار کربن به آزمایشگاه منتقل شدند و براساس استاندار ASABE S358.2 (2010) به مدت ۲۴ ساعت در دستگاه آون در دمای ۱۰۴ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و بعد از آن بلافاصله زی‌توده نمونه‌ها محاسبه شد. برای اندازه‌گیری درصد کربن آلی نمونه‌های لاشبرگ و خشک‌دار ریز از روش سوزاندن در کوره الکتریکی استفاده شد و برای نمونه‌های هر ریزقطعه‌نمونه، دو گرم را جدا نموده و در کوره الکتریکی قرار داده شد. برای این منظور نمونه‌ها به مدت چهار ساعت در دمای ۶۰۰- ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و پس از اندازه‌گیری درصد کربن نمونه‌ها محاسبه شد و در ادامه درصد کربن در زی‌توده نمونه ضرب و مقدار ذخیره کربن برای هر ریزقطعه‌نمونه (به تفکیک لاشبرگ و خشک‌دار ریز) محاسبه شد (Iranmanesh *et al.*, 2021). برای تعیین ذخیره کربن در هکتار، مقدار ذخیره کربن هر ریزقطعه‌نمونه را در عدد ۲۰۰۰۰ ضرب شد (ابعاد هر ریز-قطعه‌نمونه ۰/۵ مترمربع است و از تقسیم ۱۰۰۰۰ بر ۰/۵ ضریب تبدیل سطح ۲۰۰۰۰ حاصل شد و برای محاسبه ها ملاک قرار گرفت). برای مقایسه درصد کربن، زی‌توده و ذخیره کربن نمونه‌های لاشبرگ و خشک‌دار ریز از آزمون تجزیه واریانس دو طرفه استفاده شد و اثر دو رویشگاه و دوره نمونه‌برداری (سه سال پژوهش) بر مولفه‌های پژوهش بررسی شد. همچنین برای بررسی و مقایسه مولفه‌های مورد پژوهش در سه دوره نمونه‌برداری از آزمون مقایسه بین گروهی دانکن استفاده شد. آنالیز داده‌ها و مقایسه‌های آماری با استفاده از برنامه SPSS 20 انجام شد.

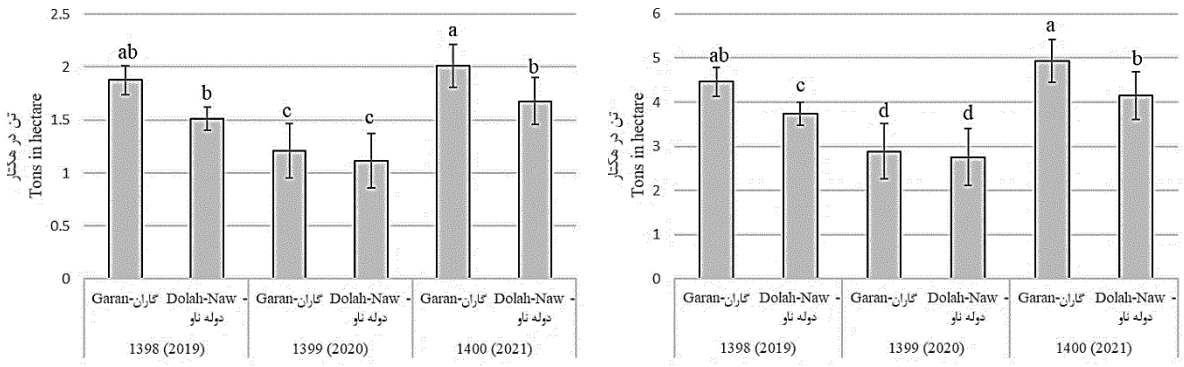


شکل ۳- موقعیت محل برداشت نمونه لاشبرگ و خشک‌دار ریز (A) و نحوه پیاده‌کردن و ثابت نمودن قطعات‌نمونه (B و C)

Figure 3. The location of litter and litter samples (A) and sampls'fixing approach (B and C)

نتایج

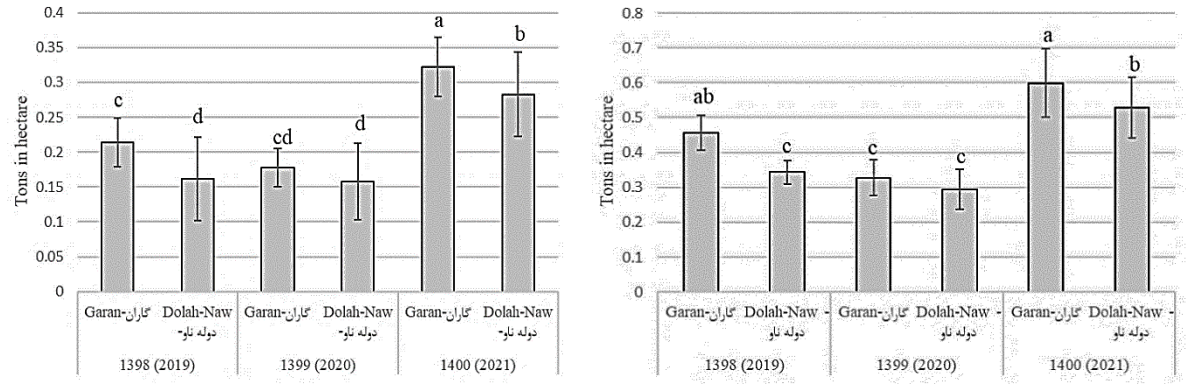
شکل ۴ نشان داد که در رویشگاه گاران در سال‌های ۱۳۹۸، ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ زی‌توده لاشبرگ به‌ترتیب ۴/۴۶، ۲/۸۹، ۴/۹۴ تن در هکتار بود و میانگین زی‌توده لاشبرگ در رویشگاه گاران از دوله‌ناو بیشتر بود؛ از طرفی وضعیت ذخیره کربن لاشبرگ رویشگاه گاران در سه سال پژوهش به‌ترتیب ۱/۸۷۸، ۱/۲۱ و ۲/۰۰۹ تن در هکتار برآورد شد (شکل ۴) و این مقادیر نسبت به رویشگاه دوله‌ناو بیشتر بود.



شکل ۴- میانگین زی‌توده (الف) و ذخیره کربن (ب) نمونه‌های لاشبرگ در سه سال نمونه‌برداری در دو رویشگاه گاران و دوله‌ناو

Figure 4. The average of biomass(A) and carbon storage (B) of fine woody litters and coarse woody litter in three years of sampling in two sites of Garan and Dolah Naw

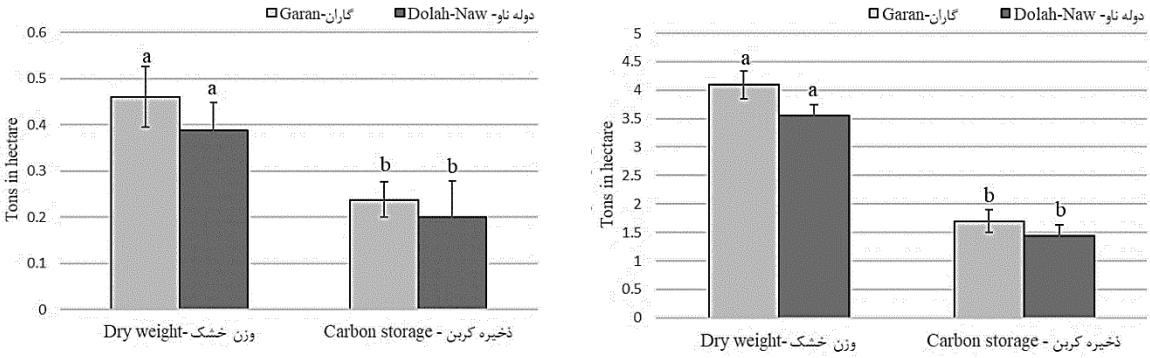
بر اساس شکل ۵، میانگین زی‌توده نمونه‌های خشک‌دار ریز در قطعه‌نمونه گاران در سال‌های ۱۳۹۸، ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ به‌ترتیب ۰/۴۵۶، ۰/۳۲۷ و ۰/۵۹۹ تن در هکتار برآورد شد. در زمینه ذخیره کربن این نمونه‌ها در رویشگاه گاران در سال‌های موردبررسی به‌ترتیب ۰/۲۱۴، ۰/۱۷۸ و ۰/۳۲۲ تن در هکتار برآورد شد و در مجموع ذخیره کربن نمونه‌های خشک‌دار ریز در رویشگاه گاران بیشتر از دوله‌ناو بود.



شکل ۵- میانگین زی‌توده (الف) و ذخیره کربن (ب) نمونه‌های خشک‌دار ریز در سه سال نمونه‌برداری در دو رویشگاه گاران و دوله‌ناو

Figure 5. The average of biomass (A) and carbon storage (B) of coarse woody litters in three years of sampling in two sites of Garan and Dolah Naw

بر اساس نتایج، بیشترین مقادیر میانگین زی‌توده و ذخیره کربن نمونه‌های لاشبرگ در رویشگاه گاران با مقادیر ۴/۰۹ و ۱/۶۹ تن در هکتار تایید شد (شکل ۶-الف) و برای نمونه‌های خشک‌دار ریز نیز مقادیر ۰/۴۶ و ۰/۲۳۸ تن در هکتار حاصل شد و در کل رویشگاه گاران نسبت به دوله‌ناو دارای برتری و اختلاف معنی‌دار بود (شکل ۶-ب).



ب- B الف-A

شکل ۶- میانگین زی‌توده و ذخیره کربن نمونه‌های لاشبرگ (الف) و خشک‌دار ریز (ب) در دو رویشگاه گاران و دولەناو

Figure 6. The average of dry weight and carbon storage of fine woody litters and coarse woody litters in Garan and Dolah Naw sites

براســاس جدول ۲، میانگین ذخیره کربن در قطعات نمونه گاران و دوله ناو به ترتیب ۱/۹۴ و ۱/۶۴ تن در هکتار برآورد شــد و میانگین ذخیره کربن و زی‌توده خشک در قطعه نمونه گاران از دوله ناو بیشتر بود.

جدول ۲- مقایسه میانگین زی‌توده و اندوخته کربن لاشبرگ در قطعات نمونه دولەناو و گاران

Table 2. Comparison of the average biomass and carbon storage in sample parts of Dolah Naw and Garan sites

Mean (Ton in Hectare) میانگین (تن در هکتار)		Paramaters (Tons in hectare± standard error) مشخصه (تن در هکتار ±اشتباه معیار)
Garan site رویشگاه گاران	Dolah-Naw رویشگاه دولەناو	
4.55 (0±0.63)	3.94 (0±0.54)	زی‌توده لاشبرگ Carcass dry weight
1.94 (0±0.41)	1.64 (0±0.26)	ذخیره کربن لاشبرگ Carbon sequestration of Carcass

یافته‌های پژوهش نشان داد که برای نمونه‌های لاشبرگ، برای عامل سال در مولفه‌های زی‌توده، ذخیره کربن، درصد کربن و درصد رطوبت نمونه‌ها تأثیر معنی‌دار (در سطح ۹۹ درصد) تایید شد. از طرفی برای مولفه‌های درصد کربن و رطوبت در دو رویشگاه اختلاف معنی‌دار وجود داشت. در زمینه اثر متقابل سال×رویشگاه برای هیچ یک از مولفه‌های موردبررسی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). در زمینه مولفه خشک‌دار ریز درختان، برای مولفه‌های زی‌توده، ذخیره کربن و درصد کربن نمونه‌ها در سال‌های آماربرداری اختلاف معنی‌دار مشاهد شد، اما در زمینه رویشگاه و اثر متقابل سال×رویشگاه اثر معنی‌داری مشاهده نشد.

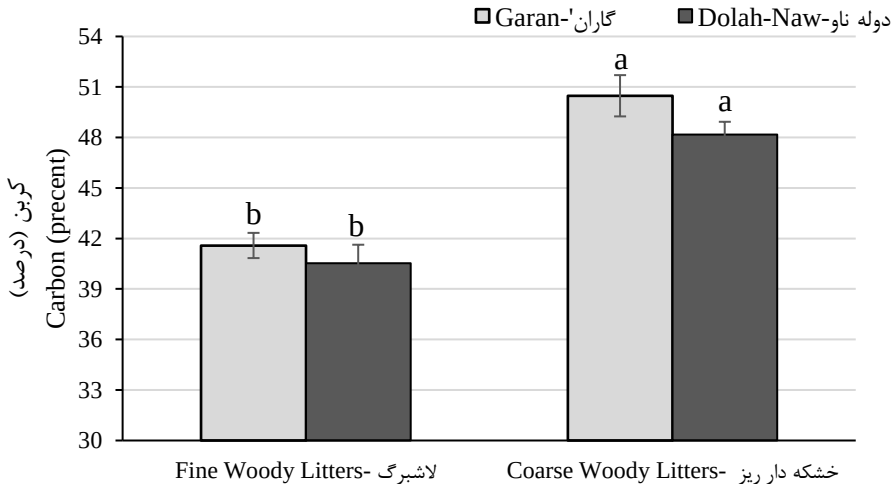
جدول ۳- نتایج آزمون تجزیه واریانس دوطرفه برای بررسی تأثیر سال و رویشگاه در مؤلفه‌های مورد بررسی

Table 3. The results of Anova two-way analysis of variance to investigate the effect of year and site on the studied parameters

مؤلفه Parameters	منبع Source	خشک‌دار ریز Coarse Woody Litters			لاشبرگ Fine Woody Litters		
		میانگین مربعات Mean of Square	F	Sig.	میانگین مربعات Mean of Square	F	Sig.
زی‌توده Biomass	سال Year	0.299	6.126	0.004**	15.958	6.338	0.003**
	رویشگاه Site	0.100	2.051	0.158ns	4.472	1.776	0.188 ns
	سال × رویشگاه Year×Site	0.004	0.078	0.925 ns	0.657	0.261	0.771 ns
	خطا Error	0.051			2.518		
ذخیره کربن Carbon storage	سال Year	0.086	6.119	0.004**	2.558	6.093	0.004**
	رویشگاه Site	0.029	2.105	0.153 ns	1.040	2.478	0.121 ns
	سال × رویشگاه Year×Site	0.001	0.059	0.943 ns	0.111	0.263	0.770 ns
	خطا Error	0.016			0.420		
درصد کربن Carbon (%)	سال Year	3.490	2.292	0.111 ns	4.260	3.618	0.034*
	رویشگاه Site	6.422	4.218	0.045*	16.433	13.957	0.000**
	سال × رویشگاه Year×Site	0.317	0.208	0.813 ns	3.232	2.745	0.073 ns
	خطا Error	230.931			1.177		
درصد رطوبت Moisture (%)	سال Year	6.406	0.186	0.831 ns	354.653	39.798	0.000**
	رویشگاه Site	76.659	2.226	0.142 ns	250.268	28.084	0.000**
	سال × رویشگاه Year×Site	68.923	2.001	0.145 ns	25.155	2.823	0.068 ns
	خطا Error	65.177			8.911		

ns بدون اختلاف معنی دار، * (دارای اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد)، ** (دارای اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد)

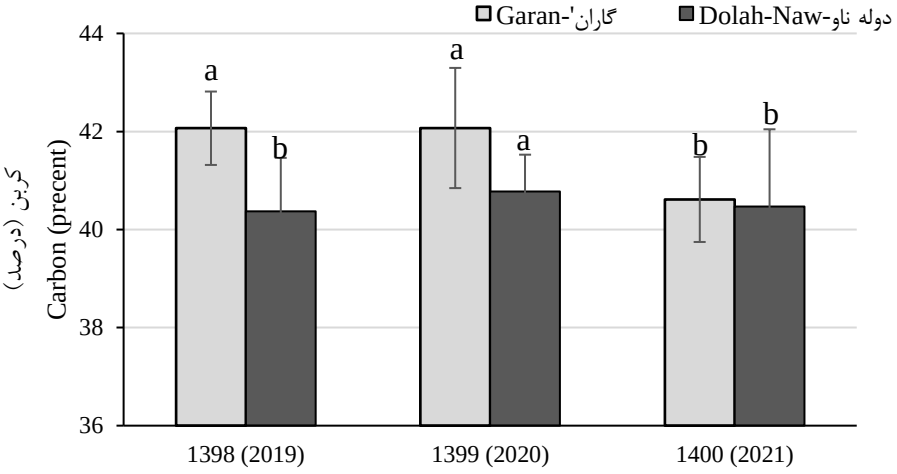
ns (no significant effect), * (Significant effect at 0.05) and ** (Significant effect at 0.01)



شکل ۷- درصد کربن نمونه‌های لاشبرگ و خشک‌دار ریز در دو رویشگاه گاران و دوله ناو

Figure 7. Carbon fraction of fine woody litter and coarse woody litter in two sites of Garan and Dolah Naw

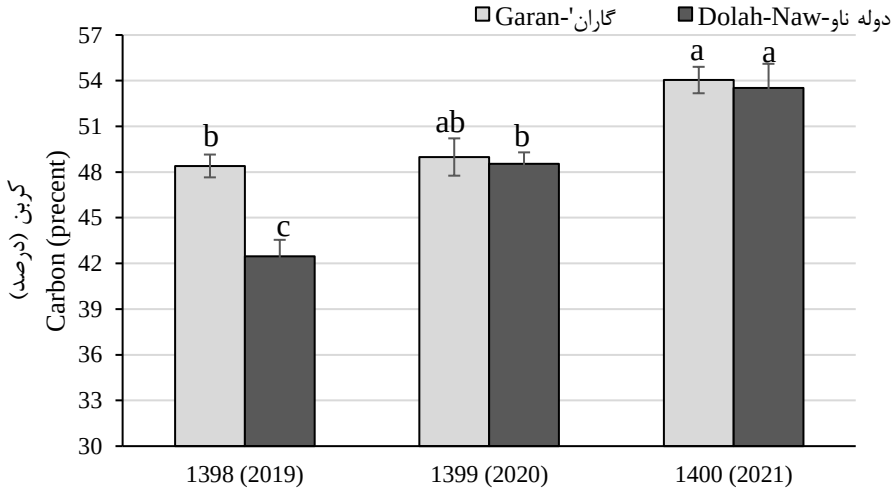
شکل ۸ نشان می‌دهد که میانگین درصد کربن نمونه‌های لاشبرگ در قطعه‌نمونه گاران در سال ۱۳۹۸، ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ به‌ترتیب ۴۲/۰۷، ۴۲/۲۲ و ۴۱/۰۳ درصد بود و درصد کربن لاشبرگ در قطعه‌نمونه گاران بیشتر از دوله‌ناو تأیید شد.



شکل ۸- تغییر درصد کربن نمونه‌های لاشبرگ در سه سال نمونه‌برداری در دو رویشگاه گاران و دوله‌ناو

Figure 8. Change of carbon percentage of fine woody litters in three years of sampling in two sites of Garan and Dolah Naw

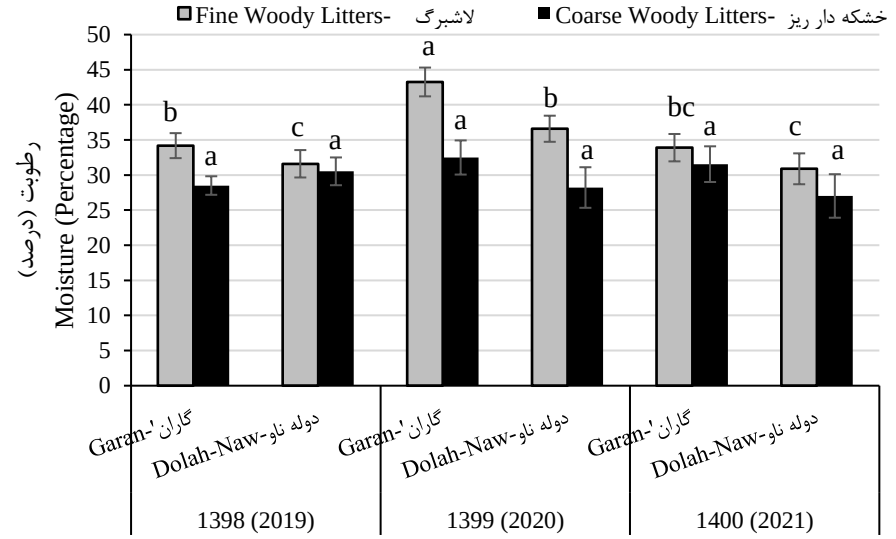
بر اساس شکل ۹، میانگین درصد کربن نمونه‌های لاشریزه درشت (خشک‌دار ریز) در قطعه‌نمونه گاران در سه سال پژوهش به‌ترتیب ۴۸/۱۰، ۵۳/۰۷ و ۵۲/۷۵ درصد بود.



شکل ۹- تغییر درصد کربن نمونه‌های خشک‌دار ریز در سه سال نمونه‌برداری در دو رویشگاه گاران و دوله‌ناو

Figure 9. Change of carbon percentage of coarse woody litters in three years of sampling in two sites of Garan and Dolah Naw

شکل ۱۰ نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین درصد رطوبت لاشریزه کوچک (لاشبرگ) و درشت (خشکه‌دار ریز) رویشگاه گاران به‌ترتیب مربوط به سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ بود. در رویشگاه دوله‌ناو نیز همین روند تأیید شد.



شکل ۱۰- تغییر درصد رطوبت نمونه‌های لاشبرگ و خشکه‌دار ریز در سه سال نمونه‌برداری در دو رویشگاه گاران و دوله‌ناو

Figure 10. Changes in moisture percentage of fine woody litters and coarse woody litters in three years of sampling in Garan and Dolah Naw sites

بحث

یافته‌های کلی پژوهش نشان داد که درصد کربن نمونه‌های لاشبرگ و خشک‌دار ریز در رویشگاه گاران بیشتر از رویشگاه دوله‌ناو بود (شکل ۷) و درصد کربن نمونه‌های لاشبرگ سال ۱۳۹۹ از سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۴۰۰ بیشتر بود؛ به‌طوری‌که اختلاف بین این مولفه در

سال‌های پژوهش از نظر آماری معنی‌دار بود (جدول ۳). درمورد لاشریزه درشت (حشکه دار ریز) نیز همین روند مشاهده شد؛ بنابراین لاشبرگ و خشک‌دار ریز رویشگاه گاران (با مدیریت قرق) نسبت به رویشگاه دولەناو به‌صورت معنی‌دار بیشتر بود و علت این افزایش را می‌توان در چرای دام و دخالت و بهره برداری انسانی کمتر در این رویشگاه نسبت داد و لاشبرگ‌ها و خشک‌دارهای ریز در کف جنگل بیشتر تجمیع یافته است و درصد کربن نمونه‌ها افزایش می‌یابد. از طرفی تراکم درختان در رویشگاه گاران بیشتر از دولەناو بود (Haidari et al., 2022a, Haidari et al., 2022b) و سبب بازگشت بیشتر لاشبرگ به لایه کف جنگل می‌شود. در مورد رطوبت نمونه‌های لاشبرگ و خشک‌دار ریز، نیز برتری با رویشگاه گاران بود و رطوبت نمونه‌های سال ۱۴۰۰ از دیگر سال‌های پژوهش کمتر بود (سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹) و رطوبت نمونه‌های خشک‌دار ریز کمتر از نمونه‌های لاشبرگ بود. قابل ذکر است که بارندگی سال ۱۳۹۸، نست به سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ بیشتر بود و در کل در سال ۱۳۹۹ شرایط اقلیمی نسبتا سخت بوده و میانگین بارندگی کمتر و میانگین دما و تبخیر سالانه بیشتر بود و در کل شرایط اقلیمی بر رطوبت نمونه‌های خشک‌دار ریز و لاشبرگ تاثیر داشت. از طرفی Iranmanesh et al. (2021) مقدار اندوخته کربن لاشبرگ در قطعات شاهد ۱۵۸۴/۱ و و در قطعات دچار زوال ۱۱۴۸/۶ کیلوگرم در هکتار برآورد نمودند و با توجه به شرایط آب و هوایی و اقلیمی بهتر در زاگرس شمالی (نسبت به زاگرس جنوبی)، مقادیر ذخیره کربن رویشگاه گاران (۱/۶۹ تن یا ۱۶۹۰ کیلوگرم) بیشتر از رویشگاه‌های جنگلی استان چهارمحال و بختیاری بود و تاییدکننده تاثیر مولفه‌های اقلیمی و هواشناسی بر ذخیره کربن لاشبرگ و خشک‌دار ریز جنگل است.

برای زی‌توده لاشبرگ و ذخیره کربن، برتری به‌صورت معنی‌دار (در سطح ۹۵ درصد) با رویشگاه گاران بود و در سه سال پژوهش، نیز کمترین مقادیر زی‌توده و ذخیره کربن نمونه‌ها در سال ۱۳۹۹ مشاهده شد و کل سال ۱۳۹۸ این مقادیر بیشتر از سال‌های دیگر بوده است و بیشترین بارندگی در این شهرستان به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۹۸، ۱۴۰۰ و ۱۳۹۹ مشاهده شد و شرایط بهتر اقلیمی و آب و هوایی به افزایش تراکم برگ درختان و همچنین رویش آن‌ها موثر بودهاست و در سال ۱۳۹۸ هم بیشترین مقادیر زی‌توده و ذخیره کربن نمونه‌های لاشبرگ مشاهده شد و این یافته‌ها بر تاثیر مولفه‌های هواشناسی و اقلیمی بر ذخیر کربن دو رویشگاه تأکید دارد.

یافته‌های پژوهش نشان داد که بیشترین و کمترین زی‌توده لاشبرگ در رویشگاه گاران به‌ترتیب در سال ۱۴۰۰ و ۱۳۹۹ با ۴/۹۴ و ۲/۸۹ تن در هکتار مشاهده شد و در رویشگاه دولەناو نیز در سال ۱۴۰۰ و ۱۳۹۹ با ۴/۱۵ و ۲/۷۶ تن در هکتار برآورد شد (شکل ۴)، بنابراین زی‌توده لاشبرگ نمونه‌های رویشگاه گاران از دولەناو بیشتر بود. در سال ۱۳۹۹ کمترین زی‌توده یا زی‌توده نمونه‌ها مشاهده شد و بر اساس مولفه‌های هواشناسی، میانگین بارندگی در سال ۱۳۹۹ از سال ۱۴۰۰ و ۱۳۹۸ کمتر بوده و میانگین دما و تبخیر سالانه در سال ۱۳۹۹ بیشتر از دو سال دیگر بود. در مورد زی‌توده خشک‌دار ریز در سه سال متوالی در رویشگاه گاران به‌ترتیب ۰/۴۶، ۰/۳۳ و ۰/۶۰ تن در هکتار برآورد شد و زی‌توده خشک‌دار ریز از زی‌توده لاشبرگ کمتر بود و در سال ۱۳۹۹ کمترین زی‌توده لاشبرگ و خشک‌دار ریز مشاهده شد.

در کل نتایج بررسی سه ساله (به‌صورت کلی)

نشان داد که میانگین ذخیره کربن لاشبرگ در رویشگاه گاران و دولهناو به ترتیب ۱/۶۹ و ۱/۴۳ تن در هکتار بوده است و برای خشک‌دار ریز نیز ۰/۲۳ و ۰/۲۰ تن در هکتار برآورد شد و در حوضچه‌های کربن آلی رویشگاه گاران دارای برتری بوده و مقادیر ذخیره کربن این رویشگاه بیشتر از دولهناو بود و به علت چرای دام و دخالت و بهره‌برداری انسانی کمتر رویشگاه گاران، مقادیر لاشبرگ‌ها و خشک‌دارهای ریز بیشتری در کف جنگل تجمیع یافته و مقادیر ذخیره کربن لاشبرگ و خشک‌دار ریز به‌صورت چشم‌گیر افزایش یافت، از طرفی تراکم درختان در رویشگاه گاران بیشتر از دولهناو بود (Zabiholahi and Haidari, 2013, Haidari et al., 2022a, Haidari et al., 2022b) و این مسئله سبب بازگشت بیشتر لاشبرگ و مواد آلی درختی به کف جنگل شده است و تاییدکننده تاثیر مثبت قرق بر ذخیره کربن بوم‌سازگان جنگلی است. از طرفی Olfati et al. (2012) برای رویشگاه بنه ۰/۴۴ تن در هکتار، Varamesh et al. (2014) برای جنگلکاری اطراف تهران سه تا چهار تن در هکتار، Reisi et al. (2019) برای پارک جنگلی آبیدر ۱/۰۵۵ تن در هکتار، Pourrostami et al. (2020) در پارک جنگلی جهان‌نما ۰/۹ تن در هکتار و Mahmoudi et al. (2022) در توده کاج تهران زبان‌گنجشک ۱/۲ و یک تن در هکتار ذخیره کربن در لاشبرگ را گزارش کرده‌اند و براساس یافته‌های این پژوهش مقادیر ۱/۶۹ و ۱/۴۳ تن درهکتار رویشگاه‌های گاران و دولهناو)، جنگل‌های شاخه زاد جوان مریوان ذخیره کربن بیشتری را نسبت به دیگر رویشگاه ها یا مناطق موردبررسی در پژوهش‌های فوق بوده است و تاییدکننده اهمیت بالای ذخیره کربن لاشبرگ و خشک‌دار ریز در افزایش ذخیره کربن بوم‌سازگان جنگلی بوده است.

در مقیاس جهانی، لاشبرگ حدود ۶۰ تا ۷۵ درصد از وزن لایه کف را در بوم‌سازگان‌های جنگلی را تشکیل می‌دهند و باقی‌مانده شامل مواد چوبی (حدود ۳۰ درصد) و دیگر اندام‌های گیاهی (حدود یک تا دو درصد) است (Barnes et al., 1997). در پژوهش پیش‌رو، نسبت لاشریزه چوبی به کل لاشریزه در قطعه‌نمونه گاران ۱۲/۳۷ درصد و در قطعه‌نمونه دولهناو ۱۳/۲ درصد بود. یکی از دلایل کمتربودن آن در مقایسه با میانگین جهانی را می‌توان جمع‌آوری چوب‌های هیزمی توسط روستائیان و جنگلنشینان ذکر کرد. نتایج کلی نشان داد که مقدار زی‌توده و موجودی کربن لاشریزه درشت و کوچک در قطعه‌نمونه گاران ۰/۱۴ بیشتر از قطعه‌نمونه دولهناو بود. علاوه بر تراکم زیاد پوشش گیاهی در قطعه‌نمونه گاران (Haidari et al., 2022a, Haidari et al., 2022b) که سبب افزایش معنی‌دار لاشریزه در این قطعه‌نمونه شده است، دخالت انسانی و حضور دام در قطعه‌نمونه دولهناو از دیگر عوامل کمتر بودن مقدار لاشریزه در این قطعه‌نمونه است؛ زیرا قطعه‌نمونه گاران جزو بخش قرق و کمتر استفاده شده در شهرستان مریوان است و برعکس در قطعه‌نمونه دولهناو چرای دام و بهره‌برداری‌های سنتی انجام می‌شود و مقدار لاشبرگ دریافتی خاک کمتر است. همچنین، حضور روستائیان در عرصه و جمع‌آوری چوب‌های خشک موجود برای تهیه سوخت، یکی از دلایل اساسی کمتر بودن مقدار لاشریزه درشت در مناطق موردبررسی به‌ویژه قطعه‌نمونه دولهناو است. Khademi et al. (2009) متوسط لاشبرگ موجود در جنگل‌های شاخه‌زاد گونه اوری در منطقه اندبیل خلخال را ۱۳۱۲ کیلوگرم در هکتار گزارش کردند. تخریب شدید رویشگاه، چرای بی‌رویهٔ دام و استفاده از برگ درختان بلوط برای گوسفندان، کم‌بودن تراکم درختان در منطقه و وجود انواع فرسایش از مهم‌ترین دلایل ضعف لایهٔ لاشبرگ و لاشریزه در منطقهٔ

موردبررسی بیان شده است. Askari et al. (2021) نیز متوسط ذخیره کربن لاشریزه را در قطعات‌نمونه موردبررسی در جنگل‌های بلوط استان کهگیلویه و بویراحمد ۰/۷۳ تن در هکتار گزارش کردندT که کمتر از دو رویشگاه گاران و دوله‌ناو است (میانگین اندوخته کربن لاشبرگ در قطعه‌نمونه گاران و دوله‌ناو به‌ترتیب ۱/۷۰ و ۱/۴۴ تن در هکتار است). دلیل این تفاوت را می‌توان در بارندگی بیشتر در زاگرس شمالی و تراکم بیشتر درختان و سطح تاج بیشتر آن‌ها نسبت داد (۸۲۴/۲ میلی‌متر در سال).

نتیجه‌گیری کلی

در کل، با توجه به اثر مثبت قرق بر مقدار زی‌توده و موجودی کربن لاشریزه درشت و کوچک (قطعه‌نمونه گاران)، در راستای مدیریت بهینه جنگل‌های موردبررسی و دیگر جنگل‌های مشابه، پیشنهاد می‌شود که در مناطق تخریب‌یافته اقدام به اعمال مدیریت قرق شود و با استفاده از احیاء و توسعه جنگل، مقدار ذخیره کربن لاشریزه درشت و کوچک را افزایش داد.

References

Akselsson, C.; Berg, B.; Meentemeyer, V.; Westling, O., Carbon sequestration rates in organic layers of boreal and temperate forest soils-Sweden as a case study. *Global Ecology and Biogeography* **2005,** *14*, 77-84.

ASABE Standards. S358.2. Moisture Measurement-Forages. American Society of Agricultural and Biological Engineers: St. Joseph, MI, **2008**, USA.

Askari, Y.; Iranmanesh, Y.; Pourhashemi, M., The economic value and comparison of carbon storage in different forest areas in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad province. *Iranian Journal of Forest* **2021**, *13*(2), 169-182. (In Persian).

Barnes, B.V.; Zak, D.R.; Denton, S.R., Spurr, S.H. Forest ecology, 4th Edition. John Wiley and Sons, **1997**, 774p.

Bigler, C.; Veblen, T.T., Increased early growth rates decrease longevities of conifers in subalpine forests. *Oikos* **2009**, *118*, 1130–1138.

Bordbar, S.K., Estimation of carbon sequestration potential oak coppice stand (Quercus brantii) in kamfirooz (Fars provience). *Journal of Plant Ecosystem Conservation* **2020**, *7*(15),141-154. (In Persian).

De Vries, W.; Reinds, G.J.; Gundersen, P.; Sterba, H., The impact of nitrogen deposition on carbon sequestration in European forests and forest soils. *Global Change Biology* **2006**, *12*, 1151-1173.

Dinakaran, J.; Krishnayya, N.S.R., Variations in type of vegetal cover and heterogeneity of soil organic carbon in affecting sink capacity of tropical soils. *Current science* **2008**, *10*, 1144-1150.

Enrong, Y.; Xihua, W.; Jianjun, H., Concept and Classification of Coarse Woody Debris in Forest Ecosystems. Frontiers of Biology in China **2006**, *1*, 76-84

Giweta, M., Role of litter production and its decomposition, and factors affecting the processes in a tropical forest ecosystem: a review. *Journal of Ecology and Environment* **2020**, *44*(11), 1-9.

Haidari, M.; Iranmanesh, Y.; Pourhashemi, M.; 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 **2024**, *76*(4), 355-366. (In Persian).

Haidari, M.; Matinizadeh, M; Pourhashemi, M.; Nouri, E.; Bagheri Delijani, N. Investigating changes in the physical and chemical characteristics of soil in control and dieback stands in Marivan county, Kurdistan province in Iran. Forest Research and Development **2024**, *10*(1), 95-111. (In Persian).

Haidari, M.; Teimouri, M.; Pourhashemi, M.; Alizadeh, T., Study Changes in biological hndicators in forest stands with different structure in Kurdistan province. *Ecology of Iranian Forests* **2022a**, *10*(20), 64-72. (In Persian).

Haidari, M.; Teimouri, M.; Pourhashemi, M.; Alizadeh, T.; Hedayateypour, SMK., The effect of forest structure on some physical and chemical soil properties in the forests stands of Kurdistan province. *Forest and Wood Products* **2022b**, *74*(4), 469-483. (In Persian).

Heidari, M.; Pourhashemi, M.; Jahanbazy Goujani, H., Annual changes of oak decline

in the forests of Kurdistan province. *Iranian Journal of Forests and Rangelands Protection Research* **2022**, *20*(2), 235-247. (in Persian).

Heydarian, S.; Ghasemi Aghbash, F., Study of Carbon sequestration in trees and soil in two urban parks of Kohdasht City. *Journal of Environmental Science and Technology* **2020**, *22*(1), 215-225. (In Persian).

IPCC, Good practices guidance for land use, land-use change and forestry. Penman, J. et al. (eds.). IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme. IGES, Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Japan, **2003**.

Iranmanesh, Y.; Pourhashemi, M.; Jahanbazi, H.; M, Talebi., Comparison of Biomass and Carbon Stock on Above ground, Litter and Soil Between Healthy and declined Stands of Brant's Oak in Chaharmahal and Bakhtiari Province. *Iranian Journal of Applied Ecology* **2021**, *10*(2), 17-31. (In Persian).

Jafarisarabi, H.; Pilehvar, B.; Abrarivajari, K.; Waezmousavi, S., Changes in carbon sequestration and some edaphic traits in forest types of central Zagros (Case study: The forests of Lorestan Province). *Ecology of Iranian Forest* **2021**, *9*(17), 142-151. (In Persian).

Jandl, R.; Lindner, M.; Vesterdal, L.; Bauwens, B.; Baritz, R.; Hagedorn, F.; Johnson, D.W.; Minkkinen, K.; Byrne, K.A., How strongly can forest management influence soil carbon sequestration? *Geoderma* **2007**, *137*, 253-268.

Jazire Hi, M.H.; Ebrahimi Rostaghi, M., Silviculture in Zagros. University of Tehran Press, Tehran, **2004**, 560p. (In Persian).

Karami, M.; Rostami, A.; Heydari, M., Carbon Sequestration and its relation with some Physical and Chemical Characteristics in Soil of Natural Oak Forest and Afforestations in Ilam County. *Journal of Environmental Science and Technology* **2019**, *21*, 185-199. (In Persian).

Keenan, R.J., Coarse woody debris in Australian forest ecosystems: A review. Austral Ecology 2005, *30*(8),834-843.

Khademi, A.; Babaei, S.; Mataji, A., Investigation on the amount of biomass and its relationship with physiographic and edaphic factors in oak coppice stand (Case study Khalkhal, Iran). *Iranian Journal of Forest* **2009**, *1*(1), 57-67. (In Persian).

Kimberley, M.O.; Beets, P.N.; Paul, T.S., Comparison of measured and modelled change in coarse woody debris carbon stocks in New Zealand's natural forest. *Forest Ecology and Management* **2019**, *434*, 18-28. (In Persian).

Kosha, N.; Mohammadi Samani, K.; Hosseini, V., Carbon storage in less disturbed and logged forest stands in Zagros forests of Baneh county. Master's thesis, University of Kurdistan, Sanandaj, **2021**, 87p. (In Persian).

Krueger, I.; Schulz, C.; Borken, W., Stocks and dynamics of soil organic carbon and coarse woody debris in three managed and unmanaged temperate forests. *European Journal of Forest Research* **2017**, *136*, 123-137.

Lal, R.; Global potential of soil carbon sequestration to mitigate the greenhouse effect. *Critical Review in Plant Sciences* **2003**, *22*(2),151-184.

Liu, C., From a tree to a stand in Finnish boreal forests: biomass estimation and comparison of methods. Dissertationes Forestales. Faculty of Agriculture and Forestry. University of Helsinki, **2009**, 43p.

MacDicken, K.G., A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects. Winrock International Institute for Agricultural Development, Forest Carbon Monitoring Program, **1997**, 87p.

Mahdavi, A.; Akbari, M.; Omidi, M.; Naderi, M. Evaluation of leaf biomass, leaf carbon sequestration and leaf area index of Hawthorn (Crataegus aronia L.) in Ilam forests. Forest Research and Development **2022**, *9*(3), 381-399. (In Persian).

Mahmoudi, A.; Mahdavi, M.; Javadi, M., Carbon sequestration capacity of soil in different types of ecosystem land use (case study: Esfrain watershed). *Natural Ecosystems of Iran* **2013**, *3*(3), 100-113. (In Persian).

Mahmoudi, M.; Ramezani, E.; Banedg Shafei, A.; Salehi, A.; Pato, M.; Hosseinzade, O., Estimation of Carbon Storage in Biomass and Litter in Plantations of Lavizan Forest Park in Tehran. *Ecology of Iranian Forest* **2022**, *10*(20), 204-214. (In Persian).

Olfati, F.; Mosleh Arani, A.; Azimzadeh, H., Carbon deposition estimation of four species of *Pistacia atlantic*, *Acer monspessulanum*, *Amygdalus scoparia* and *Ephedra procera* in the protected area. Shadi Garden in Harat

(Yazd Province). *Plant and Ecosystem* **2013**, 9(4), 65-75. (In Persian).

Palosuo, T.A.; Peltoniemi, M.B.; Mikhailov, A.; Komarov, A.; Faubert, P.; Thürig, E.; Lindner, M., Projecting effects of intensified biomass extraction with alternative modelling approaches. *Forest Ecology and Management* **2008**, *255*, 1423-1433.

Panahi, P.; Pourhashemi, M.; Hasaninejad, M., Allometric equations of leaf biomass and carbon stocks of oaks in National Botanical Garden of Iran. *Journal of Plant Research* **2014**, *27*(1), 12-22. (In Persian).

Panahi, P.; Pourhashemi, M.; Hasaninejad, M., Estimation of leaf biomass and leaf carbon sequestration of Pistacia atlantica in National Botanical Garden of Iran. *Iranian Journal of Forest* **2014**, *3*(1), 1-12. (In Persian).

Pato, M.; Salehi, A.; Zahedi Amiri, G.; Banj Shafiei, A. The economic value of carbon storage functions in different land uses of northern Zagros forests. Forest Research and Development 2016, *2*(4), 367-377. (In Persian).

Pato, M.; Salehi, A.; Zahedi Amiri, G.; Banj shafiei, A., Estimating the amount of carbon storage in biomass of different land uses in Northern Zagros Forest. *Iranian Journal of Forest* **2017**, *9*(2), 159-170. (In Persian).

Pedersen, L. B.; Bille-Hansen, J., A comparison of litterfall and element fluxes in even aged Norway spruce, sitka spruce and beech stands in Denmark. *Forest Ecology and Management* **1999**, *114*(1), 55-70.

Pourrostami, R.; Zahedi Amiri, G.; Etemad, V., Spatial variability of carbon storage and sequestration in leaf litter and layers of soil in the forest area of Jahannama Park. Iranian Journal of Forest 2020, *12*(3), 317-330. (In Persian).

Raeisi, M.; Ghaderzadeh, H; Saedpanah, M.; Moradi, A., Carbon storage in the Abidar urban forest, Sanandaj, Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2019**, *27*(3), 363-376. (in Persian).

Sagheb Talebi, Kh., Sajedi, T.; Pourhashemi, M., Forests of Iran: A Treasure from the Past, A Hope for the Future. Springer, 2014, 152p.

Soleimani, A.; Hosseini, S.M.; Massah Bavani, A.; Jafari, M.; Francaviglia, R., The effects of tree species on soil organic carbon and soil properties in natural forest and plantations of northern Iran (Case study: Darabkola Forest-Sari). *Journal of Environmental Science and Technology* **2021**, *21*(9), 171-184. (In Persian).

Vahedi, A.A.; and Mataji, A., Variations of organic carbon sinks in the forests floor of mixed oriental beech in relation to plant diversity and physiographic factors. Iranian Journal of Forest **2017**, *8*(4), 459-475. (In Persian).

Varamesh, S.; Hosseini, S.M.; Sefidi, K., Evaluation of the amount of carbon sequestration in biomass, litter and soil of acacia and silver cypress stands around Tehran. *Environmental Science and Technology* **2014**, *16*, 343- 352. (In Persian).

Yousefi, M.; khoramivafa, M.; Mahdavi Damghani, A.; Mohammadi, G.; Beheshti Alagha, A., Assessment of carbon sequestration and its economic value in Iranian oak forests: case study Bisetoon protected area. *Environmental Sciences* **2017**, *15*(3), 123-133. (In Persian).

Yousofvand mofrad, M.; soosani, J.; Naghavi, H.; Abrari Vajari, K.; Shaabanian, N., Estimation of biomass and its reduction in forests affected by decline in DadAbad region, Lorestan Province. *Ecology of Iranian Forests* **2023**, 11(21), 170-178. (In Persian).

Zabiholahi, S.; Haidari, M., Study of forest structure in pruned (Galazani) and undisturbed stand in the 9Northern Zagros forest (Case study: Baneh, Kurdistan province). *Advances in Environmental Biology* **2013**, *7*(101): 3163-3170.

Zarafshar, M.; Rousta, M.J.; Matinizadeh, M.; Bordbar, S.K.; Enayati, K.; Kooch, Y., Comparison of carbon and nitrogen sequestration in soils under plantations, natural forest and agricultural farm land uses in Arjan plain in the Fars province. *Ecology of Iranian Forests* **2020**, 8(16), 165-172. (In Persian)

Investigating the trend of carbon storage of fine woody litter and coarse woody litter in the Marivan forests

Maziar Haidari[*2], Yaqub Iranmanesh[2] and Mehdi Pourhashemi[3]

1- Assistant Professor, Forests and Rangelands Research Department, Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sanandaj, I. R. Iran. (m.haidari@areeo.ac.ir)
2- Associate Professor, Forests and Rangelands Research Department, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shahrekord, I. R. Iran. (y_iranmanesh@yahoo.com)
3- Professor, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I. R. Iran. (doveyse@yahoo.com)

Received: 21 April 2024 Accepted: 26 June 2024

Abstract

Introduction and Objective: Zagros forests, as a second forest ecosystem in Iran. These forests have diverse ecosystem services and have a valuable position in terms of ecology, economy and society, and carbon storage. Tree species are one of the most important factors influencing soil characteristics through the production of litter and play an essential role in the carbon storage. Also, fine woody litter and coarse woody litter are very important to increace the carbon storage in forest soil. The purpose of this study is to investigate the trend of carbon storage of fine woody litter and coarse woody litter in the Marivan forests of Kurdistan province between 2019 to 2021 years.

Material and Methods: To do this research, a two-sample plot (one-hectare) was selected in Garan (protected and protected stands) and Dolah Naw (typical forests of the Marivan county). The research was do from 2019 to the end of September 2021, and to ensure the location of the center of the microplot, the location of the microplot was recorded and marked. At the end of September of each three years of the study, by implementing 10 micro-samples of 0.5 square meters. In order to measure the dry weight and carbon stock, the samples of small scraps and wood chips were placed in an oven at 104 degrees Celsius for 24 hours according to the ASABE S358.2 (2010) standard, and then the dry weight of the samples was immediately calculated. To measure the percentage of organic carbon in the samples of scrap and wood chips, the combustion method was used in an electric furnace, and the samples were placed for 4 hours at a temperature of 550-600 degrees Celsius, and after measuring the percentage of carbon, the percentage of carbon was calculated, and then it was calculated by multiplying the percentage of carbon by weight. After the samples were dry, the weight of carbon was calculated for each microplot (separated by carrion and wood chips). in each sample, fine woody litter and coarse woody litter were sampled and samples of scraps and pieces of wood are packed in the storage space and their dry weight, percentage moisture, carbon percentage and carbon storage amount are measured in the laboratory. Two-way analysis of variance test was used to compare carbon percentage, dry weight and carbon storage of fine woody litter and coarse woody litter, and the effect of two stands (site) and sampling period (two years of research include 2019 and 2021) on research parameters was investigated. Also, Duncan's intergroup comparison test was used to check and compare the research parameters in three sampling periods. Data analysis and statistical comparisons were done using SPSS 20 software.

Results: The finding showed that the dry weight of fine woody litter was 4.46, 2.89, and 4.94 tons per hectare in the years 2019, 2020 and 2021, respectively, and the average fine woody litter in Garan site was higher than that of Dolah Naw. Garan site fine woody litter carbon was estimated as 1.878, 1.21, and 2.009 tons per hectare in the three years of study, and these values were higher than Doleh Naw site. The results of two-way analysis of variance showed that the difference in dry weight and carbon storage in two stands (site) was statistically significant. Also, the average dry weight of coarse woody litter in the sample plot of Garan in the years 2019, 2020 and 2021 was 0.456, 0.327 and 0.599 tons per hectare, respectively. 0.214, 0.178 and 0.322 tons per hectare were confirmed, and in total, the carbon storage of

[*] Corresponding author Tel: +989183565852

coarse woody litter in Garan habitat was more than that of Doleh Naw, and this difference was statistically significant. On the other hand, the average carbon percentage of fine woody litter in Garan sample plot in 2019, 2020 and 2021 was 42.07, 42.22 and 41.03%, respectively, and the carbon percentage of fine woody litter in Garan sample plot was more than Doleh Naw. Based on the two-way analysis of variance test for coarse woody litter, a significant difference was observed for the parameters of dry weight, carbon storage and carbon percentage of the samples in the years of statistical collection, but no significant effect was observed in the context of the site and the interaction effect of year × stands (site). In general, in the Garan site, the carbon storage of fine woody litter and coarse woody litter was estimated as 4.09 and 0.46 tons per hectare, respectively, which was more than Dolah Naw (with values of 3.55 and 0.39 tons per hectare). The highest carbon storage in fine woody litter and coarse woody litter occurred in the years 2021, 2019 and 2020, respectively. The general results showed that the amount of carcass dry weight and carbon storage in Garan site was 0.14 more than Dolah Naw site.

Conclusion: The general findings of the research showed that the average dry weight and carbon storage for fine woody litter and coarse woody litter in Garan stands (site) was higher than Doleh Naw stands and according to the positive effect of protection on the amount of carbon storage a fine woody litter and coarse woody litter; in order to optimally manage the study forests and other similar forests, it is suggested to manage and use protection in degraded areas. Forest restoration and development increased the amount of fine woody litter and coarse woody litter.

Keywords: Carbon percentage, Carbon storage, Coarse woody litter, Dry weight, Fine woody litter.