



تحلیلی بر وضعیت اندوخته کربن در رویشگاه‌های جنگلی زاگرس

یعقوب ایران‌منش^{۱*}، مهدی پوره‌اشمی^۲، حسن جهان‌بازی^۳، سیدکاظم بردبار^۴، یوسف عسکری^۵، جلال هناره خلیانی^۶، علی نجفی‌فر^۷، احمد حسینی^۸، مازیار حیدری^۹، بهروز فانی^{۱۰}، آرش دریک^{۱۱}، فرهاد جهان‌پور^{۱۱}، مهرداد زرافشار^۴، محمدرضا نگهدارصابر^۴، هوشمند صفری^{۱۲}، یحیی پرویزی^{۱۳}، فاطمه درگاهیان^{۱۴}، ابوالفضل جعفری^{۱۵}، سجاد عالی محمودی سراب^{۱۶} و صابر قاسمیپور^{۱۷}

مقدمه

بود. به‌عبارت‌دیگر، به‌دلیل اینکه ترسیب کربن ناشی از رویش گونه‌های جنگلی، روشی مقرون‌به‌صرفه در کاهش غلظت گازهای گلخانه‌ای است، ارزیابی و پایش کمی ذخیره کربن کره زمین توسط کشورهای مختلف از مهم‌ترین برنامه‌هایی است که در پروتکل کیوتو بر آن تأکید شده است. بنابراین، با توجه به اهمیت و حساسیت موضوع تغییر اقلیم و گرمایش جهانی و نقش منحصر‌به‌فرد اکوسیستم‌های جنگلی در کنترل این معضل جهانی، ارزیابی اندوخته کربن اکوسیستم‌های جنگلی ضروری است، به‌طوری‌که می‌تواند به‌عنوان یک راهکار مدیریتی در حفاظت، احیا و توسعه این ذخایر ارزشمند طبیعی مورد توجه قرار گیرد و سیر قهقراپی و تخریب جنگل را مهار کند.

زی‌توده و مخازن اصلی کربن در جنگل

بر اساس تعریف، «زی‌توده»، به مقدار ماده خشک، یا کربن موجود در گیاهان چوبی (درختان و درختچه‌ها) و گیاهان علفی در واحد سطح (گرم بر مترمربع یا تن در هکتار) اطلاق می‌شود (Liu, 2009). بر آورد زی‌توده درخت، در ارزیابی ساختار و شرایط رویشگاه‌های جنگلی کاربرد دارد. همچنین، زی‌توده درختی یک شاخص بسیار

تغییر اقلیم و گرمایش جهانی از جمله موضوعاتی است که به یک تهدید جدی برای حیات بشری تبدیل شده است. افزایش دمای سطح کره زمین به‌دلیل افزایش میزان گازهای گلخانه‌ای، وقوع پدیده‌های نادر اقلیمی و برهم خوردن تعادل بوم‌شناختی، تغییر الگوی باد و بارش، وقوع سیل، طوفان، آلودگی هوا و اثرات آن بر اجزای زنده و غیرزنده اکوسیستم‌ها نمونه‌هایی از اثرات تغییر اقلیم است.

پوشش گیاهی، خاک و اقیانوس‌ها مهم‌ترین مخازن کربن در جهان محسوب می‌شوند. جنگل‌ها به‌دلیل ذخیره کربن در خاک، زی‌توده و لاش‌ریزه، به‌عنوان اندوخته‌های مهم کربن شناخته می‌شوند (Shannon et al., 2022). تخمین زده می‌شود ۸۶۱ گیگاتن کربن در جنگل‌های جهان ذخیره شده است که ۱۱۹ گیگاتن آن، متعلق به جنگل‌های معتدله است (Pan et al., 2011).

اکوسیستم‌های جنگلی، نقش کلیدی در چرخه جهانی کربن دارند و از نظر اندوخته کربن بسیار مورد توجه هستند (Zhao et al., 2019). بنابراین، داشتن اطلاعات مشخص و قابل اعتماد از اندوخته کربن رویشگاه‌های جنگلی و پایش آن، یکی از مهم‌ترین فاکتورها برای طراحی و تکمیل برنامه‌های مدیریت پایدار منابع جنگلی خواهد

* نویسنده مسئول، دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، پست الکترونیک: y_iranmanesh@yahoo.com

- ۲- دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
- ۳- دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
- ۴- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
- ۵- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
- ۶- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
- ۷- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی ایلام، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
- ۸- دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی ایلام، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
- ۹- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
- ۱۰- محقق، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
- ۱۱- محقق، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
- ۱۲- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
- ۱۳- دانشیار پژوهش، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
- ۱۴- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
- ۱۵- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
- ۱۶- دکتری جنگل‌داری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
- ۱۷- محقق، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران



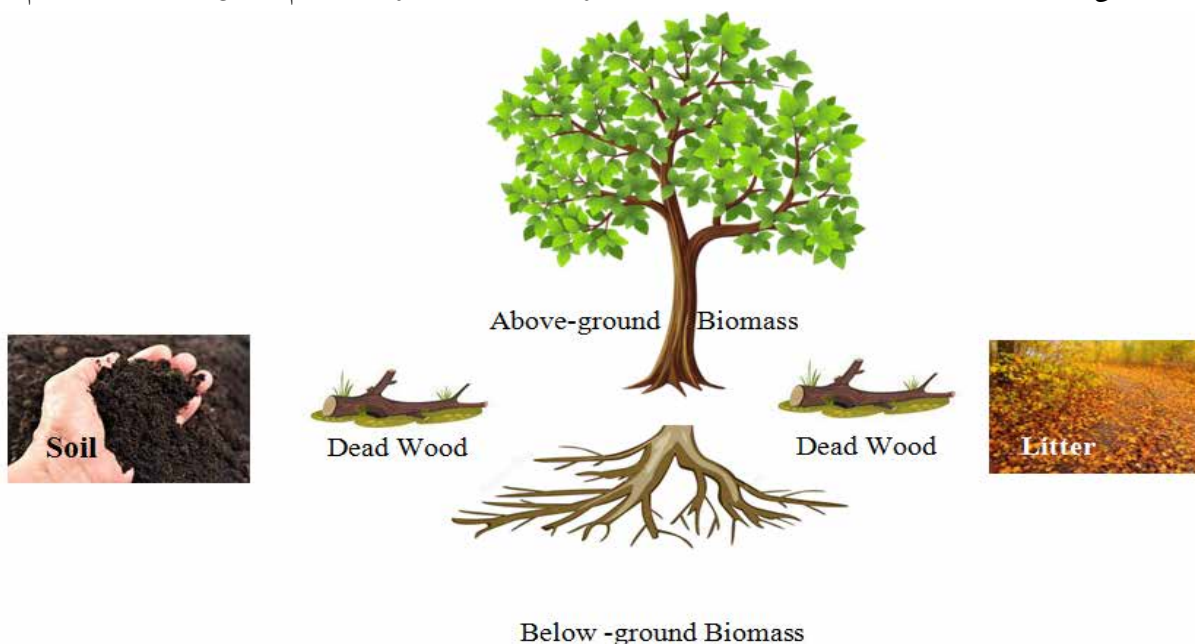
مثبت تنوع پوشش گیاهی را بر ذخیره کربن اثبات کردند. بررسی زی توده و اندوخته کربن اکوسیستم‌های جنگلی در کشور هند نشان داد، در این کشور مقدار زی توده روی زمینی پوشش گیاهی بین $۲۳۳/۴ - ۹/۵۷$ تن در هکتار متغیر است (Khaple et al., 2021). در جنگل‌های مرطوب همیشه‌سبز اتیوپی نیز میانگین اندوخته کربن روی زمینی و زیرزمینی به ترتیب $۲۰۳/۸$ و $۴۰/۷۶$ تن در هکتار برآورد شد. همچنین، اندوخته کربن خاک (عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر) در این جنگل‌ها بین $۵۸/۹۷$ تا $۱۹۸/۳۳$ تن در هکتار متغیر بود (Edae Daba et al., 2022).

اندوخته کربن جنگل‌های زاگرس

جنگل‌های زاگرس از جمله اکوسیستم‌های طبیعی کشور هستند که با توجه به گستره وسیع خود، نقش مهمی در چرخه کربن ایفا می‌کنند. این رویشگاه‌ها، طی سالیان گذشته از جنبه‌های کمی و کیفی به شدت تخریب شده‌اند و نقش کلیدی این اکوسیستم‌ها در کنترل تغییرات اقلیمی تحت تأثیر واقع شده است. از این رو، ارزیابی کمی ذخیره کربن روی زمینی، خاک و لاش‌ریزه در جنگل‌های زاگرس می‌تواند ارزش اقتصادی این بوم‌سازگان حیاتی کشور را ملموس کند و تلاش‌ها برای حفظ، احیا و توسعه منابع یادشده را در اولویت قرار دهد. بر همین اساس، اندازه‌گیری و پایش اندوخته کربن رویشگاه‌های جنگلی زاگرس، در چهارچوب طرح جامع «سنجش و پایش جنگل‌های زاگرس»، در دستور کار بخش تحقیقات جنگل مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور قرار گرفت. این طرح در قالب ۳۴ قطعه‌نمونه یک هکتاری با در نظر گرفتن وضعیت‌های مختلف مدیریتی توده‌ها، تیپ جنگل، ملاحظات اجتماعی و نظام‌های بهره‌برداری، در ۹ استان زاگرس (آذربایجان غربی، کردستان، کرمانشاه، لرستان، چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویراحمد، ایلام، فارس و خوزستان) انجام شد.

مهم برای ارزش‌گذاری فرایندهای اقتصادی و بوم‌شناختی مانند چرخه عناصر غذایی، تولید جنگل و ذخیره سوختی است (Houghton and Goodale, 2004).

جنگل‌های جهان با سطحی معادل $۴/۰۶$ میلیارد هکتار، حدود $۳۰/۸$ درصد از سطح کره زمین را پوشانده‌اند (FAO, 2020). درختان، مؤلفه اصلی بوم‌سازگان‌های جنگلی هستند و بیشترین ذخیره یا مقدار واقعی زی توده زنده جنگل را به خود اختصاص می‌دهند (Kindermann et al., 2008). پنج مخزن اصلی کربن برای رویشگاه‌های جنگلی معرفی شده است (شکل ۲) که شامل زی توده روی زمینی (Above-ground biomass)، لاش‌ریزه (Litter)، چوب‌های مرده (خشک‌دارها) (Dead wood) و کربن آلی خاک (Soil organic carbon) هستند (شکل ۱؛ IPCC, 2003). ذخیره کربن در اکوسیستم‌های جنگلی، به‌طور عمده شامل ذخیره کربن پوشش گیاهی، ذخیره کربن خاک و ذخیره کربن لاش‌ریزه است (Lafleur et al., 2018). پژوهش‌های انجام‌شده پیرامون روش‌های برآورد اندوخته کربن در اکوسیستم‌های جنگلی، بر سه موضوع اصلی ذخیره کربن پوشش گیاهی، خاک و لاش‌ریزه متمرکز شده‌اند (Sun and Liu, 2020). به‌طور متوسط، تقریباً ۴۲ درصد از ذخیره جنگل در زی توده گیاهی زنده، ۹ درصد در چوب مرده و بقیه (۴۹ درصد) در بستر و خاک تشکیل شده است (Pan et al., 2011). مقدار اندوخته کربن آلی خاک با ویژگی‌های مهم منطقه از قبیل مقدار لاش‌ریزه، عمق ریشه‌دوانی و نرخ تجزیه مواد آلی تعیین می‌شود (Andivia et al., 2016). خاک جنگل‌های سرد معتدله، به‌طور متوسط ۱۲۰ تن در هکتار ذخیره کربن دارند (Pan et al., 2011). آب‌وهوای گرم‌تر، موجب افزایش نرخ بازگشت و چرخه و جریان کربن در خاک می‌شود (Paré et al., 2022). Li و همکاران (۲۰۱۹) اثر



شکل ۱- مخازن اصلی کربن در اکوسیستم جنگلی

۲). برای برآورد اندوخته کربن روی زمینی، با آماربرداری از صفات کمی درختان، از معادلات آلومتری استفاده شد (ایران‌منش، ۱۳۹۲).

اندوخته کربن روی زمینی درختان

متوسط اندوخته کربن روی زمینی درختان در رویشگاه‌های مختلف ۱۶/۳ تن در هکتار برآورد شد که بین ۸ تا ۲۲ تن در هکتار متغیر بود. بیشترین اندوخته کربن روی زمینی متعلق به زاگرس شمالی (استان آذربایجان غربی) و کمترین آن مربوط به زاگرس جنوبی (استان فارس) بود. به‌طور متوسط، مقدار اندوخته کربن از زاگرس شمالی به سمت زاگرس جنوبی روند کاهشی داشت (شکل ۳).

برای اندازه‌گیری کربن آلی خاک، پنج نمونه خاک در هر قطعه نمونه، به‌طور منظم و از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری برداشت شد. همچنین، وزن مخصوص ظاهری خاک و درصد قطعات بزرگ (مانند سنگ‌ریزه)، اندازه‌گیری و مقدار کل کربن آلی خاک، محاسبه شد (IPCC, 2003). اندازه‌گیری لاش‌ریزه توسط یک قاب کوچک ۰/۵ مترمربعی (۱۰ ریزقطعه نمونه در هر قطعه نمونه) انجام و همه لاش‌ریزه‌های موجود در آنها جمع‌آوری شد. وزن تر، وزن خشک و مقدار کربن نمونه‌های لاش‌ریزه به روش احتراق در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد (شکل



اندازه‌گیری کربن لاش‌ریزه در کوره الکتریکی



توزین نمونه‌های لاش‌ریزه



برداشت نمونه لاش‌ریزه



آزمایش‌های شیمیایی خاک

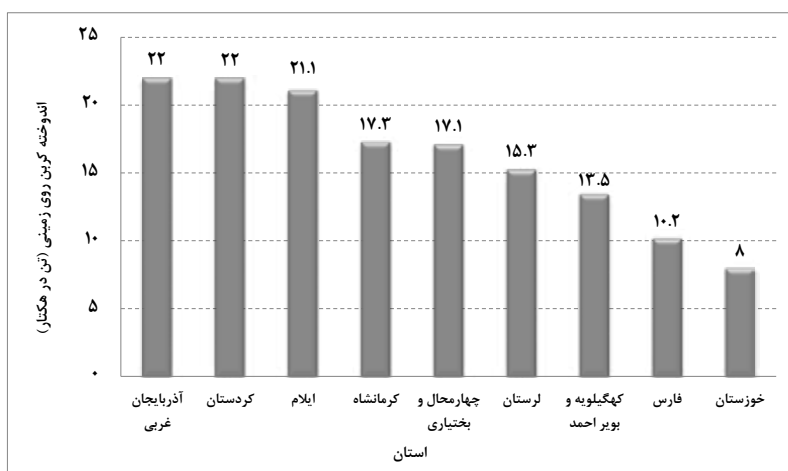


برداشت نمونه خاک



برداشت نمونه خاک و لاش‌ریزه

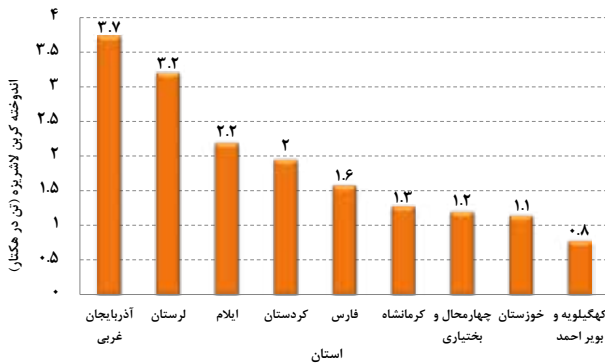
شکل ۲- مراحل مختلف برداشت نمونه‌های خاک و گیاه و اندازه‌گیری‌های مربوطه



شکل ۳- میانگین اندوخته کربن روی زمینی در رویشگاه‌های زاگرسی

اندوخته کربن لاش‌ریزه

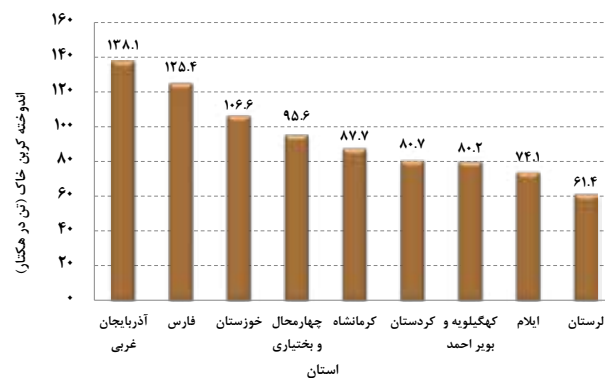
متوسط اندوخته کربن لاش‌ریزه در رویشگاه‌های مختلف تن در هکتار برآورد شد که از حدود ۰/۸ تا ۳/۷ تن در هکتار نوسان داشت. بیشترین اندوخته کربن لاش‌ریزه مربوط به زاگرس شمالی (استان آذربایجان غربی) و کمترین آن متعلق به زاگرس جنوبی (استان کهگیلویه و بویراحمد) بود. روند تغییرات مقدار اندوخته کربن لاش‌ریزه نیز از زاگرس شمالی به سمت زاگرس جنوبی، تقریباً مشابه اندوخته کربن روی زمینی بود (شکل ۴).



شکل ۴- میانگین اندوخته کربن لاش‌ریزه در رویشگاه‌های زاگرسی

اندوخته کربن خاک

متوسط اندوخته کربن خاک رویشگاه‌های مختلف ۹۴/۴ تن در هکتار برآورد شد که از ۶۱/۴ تا ۱۳۸/۱ تن در هکتار متغیر بود. بیشترین اندوخته کربن خاک در زاگرس شمالی (استان آذربایجان غربی) و کمترین آن در استان لرستان گزارش شد. تغییرات اندوخته کربن خاک در رویشگاه‌های مختلف رویه مشخصی را نشان نداد (شکل ۵).



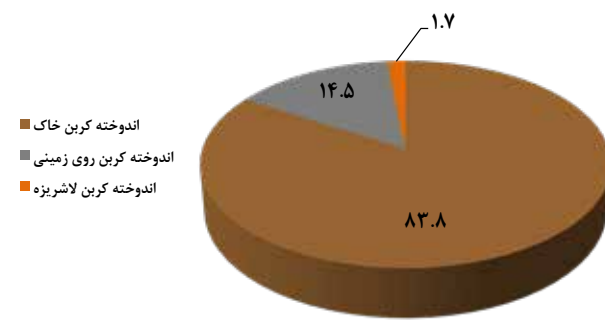
شکل ۵- میانگین اندوخته کربن خاک در رویشگاه‌های زاگرسی

سهم اندوخته کربن قسمت‌های مختلف

مقایسه سهم اندوخته کربن در مخازن اصلی ذخیره کربن در قطعات نمونه رویشگاه‌های زاگرسی نشان داد، بیشترین سهم اندوخته کربن مربوط به خاک (۸۳/۸ درصد) و پس از آن اندوخته کربن روی زمینی گونه‌های درختی و درختچه‌ای (۱۴/۵ درصد) بود. اندوخته کربن لاش‌ریزه نیز ۱/۷ درصد کل اندوخته کربن را به خود اختصاص داده بود (شکل ۶).

نتیجه‌گیری

نقش کلیدی جنگل‌ها برای دستیابی به اهداف اقلیمی توافق پاریس، به‌طور گسترده توسط جامعه علمی، به رسمیت شناخته شده است (IPCC, 2019). در این میان نوع رویشگاه جنگلی و مدیریت حاکم بر آن بر مقدار زی‌توده و اندوخته کربن رویشگاه تأثیر دارد و انجام اقدامات حفاظتی مؤثر و رویکرد مدیریتی صحیح با هدف افزایش تنوع زیستی نقش مهمی در افزایش ترسیب کربن توده جنگلی دارد (Daba et al., 2022). زی‌توده روی زمینی جزء اصلی ذخیره کربن بوم‌سازگان‌های خشکی محسوب می‌شود. نتایج این پژوهش نشان داد، اندوخته کربن روی زمینی در زاگرس شمالی (استان آذربایجان غربی) بیشتر از سایر مناطق جنگلی زاگرس است و به سمت جنوب روند کاهشی چشمگیری دارد. این موضوع، تأثیر تعداد در هکتار، آمیختگی، تیپ جنگل و تنوع پوشش گیاهی را بر مقدار اندوخته کربن نشان می‌دهد. Li و همکاران (۲۰۱۹) اثر مثبت تنوع پوشش گیاهی را بر ذخیره کربن اثبات کردند. Behera و همکاران (۲۰۱۷) نیز ویژگی‌های ساختاری و گونه‌های غالب درختی را مهم‌ترین عوامل در تعیین مقدار زی‌توده و ذخیره‌سازی کربن اعلام کردند. آنها جمعیت، قطر برابر سینه و ارتفاع درختان را



شکل ۶- سهم اندوخته کربن مخازن مختلف در رویشگاه‌های زاگرسی

اصلی‌ترین پارامترها در مقدار تولید زی‌توده و اندوخته کربن توده جنگلی ذکر کردند. مطالعات نشان داد، تعداد در هکتار، آمیختگی و تیپ جنگل، رابطه مستقیمی با زی‌توده جنگلی دارد و به افزایش ذخیره کربن خاک کمک می‌کند. اندوخته کربن پوشش گیاهی در جنگل‌های چین ۴۲/۰۴ تن در هکتار برآورد شد و میانگین جهانی اندوخته کربن روی زمینی ۷۱/۶ تن در هکتار گزارش شده است (Sun and Liu, 2020).

از طرفی، بررسی روند تغییرات شاخص‌های آشکارکننده تغییر اقلیم در زاگرس نشان داد، از زاگرس شمالی به سمت زاگرس

جنوبی، بر تعداد روزهای همراه با موج گرما افزوده شده است. همچنین، طولانی‌ترین رخدادهای موج گرم هم در زاگرس جنوبی بوده است. هرچند رخداد خشک‌سالی‌های دو، سه و حتی چهار ساله، جزو ماهیت اقلیم ایران و از جمله محدوده زاگرس است، همه گستره این محدوده، در سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۷، با یک سیکل خشک‌سالی طولانی ۱۰ ساله مواجه شده است. در این بازه زمانی، سه خشک‌سالی فراگیر در زاگرس رخ داده است که بررسی توزیع مکانی آنها نشان داد، از زاگرس شمالی به سمت زاگرس جنوبی، بر شدت خشک‌سالی‌ها افزوده شده است. به طوری که شدیدترین آنها در محدوده استان‌های کهگیلویه و بویراحمد، غرب فارس و خوزستان رخ داده است.

اندوخته کربن خاک، بخش مهمی از ترسیب کربن در اکوسیستم خشکی است و تأثیر شدیدی بر CO₂ اتمسفری دارد، به طوری که تغییرات کم در تراکم کربن خاک در اثر تغییر کاربری اراضی ممکن است تغییرات زیادی در تراکم CO₂ اتمسفر ایجاد کند. همچنین، کاهش ذخیره کربن آلی خاک با افزایش احتمال فرسایش‌پذیری و فشردگی خاک و افزایش رواناب، اثر زیادی بر ساختمان خاک دارد. مقدار کربن آلی موجود در خاک تا عمق ۳۰ سانتی‌متری در قطعات نمونه موردبررسی در استان‌های مختلف زاگرس و تغییرات به‌وجودآمده، علاوه بر اثر ترکیب، تراکم و آمیختگی گونه‌ها، به نقش دخالت‌های انسانی در طبیعت نیز اشاره دارد. محمودی طالقانی و همکاران (۱۳۸۶)، عامل تنوع در ترکیب و آمیختگی گونه‌ها را موجب فعال بودن بوم‌سازگان و در نتیجه ترسیب کربن بیشتر در خاک ذکر کردند. نتایج پژوهش‌های مختلف

بررسی روند تغییرات شاخص‌های آشکارکننده تغییر اقلیم در زاگرس نشان داد، از زاگرس شمالی به سمت زاگرس جنوبی، بر تعداد روزهای همراه با موج گرما افزوده شده است. همچنین، طولانی‌ترین رخدادهای موج گرم هم در زاگرس جنوبی بوده است. هرچند رخداد خشک‌سالی‌های دو، سه و حتی چهار ساله، جزو ماهیت اقلیم ایران و از جمله محدوده زاگرس است، همه گستره این محدوده، در سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۷، با یک سیکل خشک‌سالی طولانی ۱۰ ساله مواجه شده است.

نشان داد، مقدار کربن آلی خاک در شرایط پوشش‌های درختی مترکم بیشتر است، این موضوع نشان‌دهنده پتانسیل زیاد ذخیره کربن توسط پوشش گیاهی است. نتایج اولیه تحلیل همبستگی میان ویژگی‌های مختلف خاک در رویشگاه‌های مورد مطالعه نشان داد، مقدار نیتروژن کل، فسفر قابل جذب، تنفس میکروبی و رطوبت بیشترین ارتباط را با مقدار کربن آلی خاک دارند. افزایش نیتروژن از طریق تغییر کمیت و کیفیت لاش‌برگ و نیز تغییر در جامعه تجزیه‌کننده میکروبی، بر کربن آلی خاک تأثیر می‌گذارد. رطوبت خاک نیز از عوامل مهمی است که در تجزیه لاش‌ریزه و تنفس میکروبی تأثیر مشخصی دارد. به همین دلیل، تغییرات اقلیمی می‌توانند اثرات خود را به‌طور محسوسی بر اندوخته کربن خاک در بلندمدت به نمایش بگذارند.

متغیر دیگری که ذخیره کربن اکوسیستم به آن وابسته است، لاش‌ریزه موجود در پوشش کف جنگل است. اجزای لاش‌برگ، ریشه و متابولیسم میکروبی، از راه‌های اصلی ورود کربن به ماده

آلی خاک هستند. به‌ویژه کف جنگل‌ها و افق‌های خاک معدنی در اکوسیستم‌های جنگلی شامل مقادیر زیاد کربن است. مقدار لاش‌ریزه بر فرایندهای مهم بوم‌سازگان جنگلی مانند چرخه کربن و عناصر غذایی مؤثر است. همچنین، بر تنوع زیستی و رفتار آتش‌سوزی در جنگل تأثیر اساسی دارد (Bigler and Veblen, 2011). دخالت انسانی و حضور دام در رویشگاه‌های مختلف، همچنین حضور روستاییان در عرصه و جمع‌آوری چوب‌های خشک موجود با هدف تهیه سوخت، یکی از دلایل اساسی تغییرات اندوخته کربن لاش‌ریزه است. در اکوسیستم‌های جنگلی، تولید لاش‌برگ و فرایندهای تجزیه آن بسیار مهم هستند. لاش‌برگ اثر معنی‌داری بر مواد غذایی و چرخه بیوژئوشیمیایی و عملکرد سالم در اکوسیستم جنگلی مناطق استوایی دارد (Giweta, 2020).

تخصیص کربن (Carbon allocation) در قسمت‌های مختلف اکوسیستم طبیعی فرایندی کلیدی در چرخه کربن است و با توجه به اینکه قسمت‌های مختلف، طول عمر و نرخ تجزیه متفاوتی دارند، مقدار کربن موجود در هر اندام، زمان باقی ماندن کربن در اکوسیستم و چرخه کربن آن را تعیین می‌کند (Campi-oli et al., 2008). در بررسی‌های انجام‌شده، بیشترین سهم اندوخته کربن مربوط به خاک است که نقش و اهمیت خاک را در اکوسیستم جنگلی زاگرس نشان می‌دهد. در پژوهش پیش‌رو، میانگین سهم اندوخته کربن لاش‌ریزه در رویشگاه‌های موردبررسی کمتر از دو درصد بود. Pan و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که لاش‌ریزه‌ها تنها پنج درصد از ذخیره کربن را در اکوسیستم جنگلی به خود اختصاص می‌دهند، اما به دلیل

اینکه در چرخه کربن نقش اساسی دارند و رابط بین کربن گیاه و خاک محسوب می‌شوند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. در مجموع، تأثیر شرایط رویشگاهی، ساختار و تراکم پوشش گیاهی در اندوخته کربن اکوسیستم جنگلی بسیار مهم بوده و بر همین اساس، تفاوت مقدار اندوخته کربن کل در رویشگاه‌های زاگرس موردبررسی کاملاً مشهود است. اندوخته کربن خاک، بیشترین سهم اندوخته کربن را در اکوسیستم‌های مورد مطالعه به خود اختصاص داده است، این موضوع بر نقش و اهمیت خاک در اکوسیستم‌های طبیعی به‌عنوان یک اندوخته طبیعی برای جذب و نگهداشت کربن اتمسفری تأکید دارد، هرگونه دخالت و تخریب در خاک رویشگاه‌های طبیعی می‌تواند به‌عنوان یک چالش جدی در تغییرات اقلیمی محسوب شود. ارزیابی و پایش ذخایر کربن در اکوسیستم‌های طبیعی، یک استراتژی برد-برد برای کاهش تغییرات آب‌وهوایی، مدیریت پایدار جنگل‌ها و توسعه جوامع



جنگلی است. بنابراین، برای دستیابی به تحلیل‌های کامل‌تر و عمیق‌تر از تأثیر عوامل مختلف بر تغییرات اندوخته کربن در رویشگاه‌های جنگلی زاگرس، انجام مطالعات پایش در دوره‌های زمانی کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت، بسیار مهم است و می‌تواند راهنمایی کاربردی برای مدیریت اندوخته کربن در بخش‌های اصلی بوم‌سازگان جنگلی زاگرس باشد.

منابع

- iranian, Y., 1392. ارزیابی روش‌های برآورد زی‌توده و ترسیب کربن گونه بلوط ایرانی در جنگل‌های استان چهارمحال و بختیاری. پایان‌نامه دکتری. دانشگاه تربیت مدرس، ۱۰۶ صفحه.
- محمودی طالقانی، ع.ا.، زاهدی امیری، ق.، عادل، ا. و ثاقب‌طالبی، خ.، ۱۳۸۶. برآورد میزان ترسیب کربن خاک در جنگل‌های تحت مدیریت (مطالعه موردی: جنگل گلبد در شمال کشور). تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۵(۳): ۲۴۱-۲۵۲.
- 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.
- Behera, S., Sahu, K.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.
- Bigler, C. and Veblen, T.T., 2011. Changes in litter and dead wood loads following tree death beneath subalpine conifer species in northern Colorado. *Canadian Journal of Forest Research*, 41: 331-340.
- Campoli, M., Verbeeck, H., Lemeur, R. and Samson, R., 2008. C allocation among fine roots, above and below-ground wood in a deciduous forest and its implication to ecosystem C cycling: a modelling analysis. *Biogeosciences Discuss*, 5: 3781-3823.
- Edae Daba, D., Workneh Dullo, B. and Soromessa, T., 2022. Effect of forest management on carbon stock of tropical moist Afromontane Forest. *International Journal of Forestry Research*, [https:// doi.org/10.1155/2022/3691638](https://doi.org/10.1155/2022/3691638)
- FAO, 2020. *Global Forest Resources Assessment 2015-How Are the World's Forests Changing?* 2nd eds. Rome, 54p.
- 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(11): 1-9.
- Houghton, R.A. and Goodale, C.L., 2004. Effects of land-use change on the carbon balance of terrestrial ecosystems. In: DeFries, R., Asner, G., Houghton, R.A. (Eds.), *Ecosystems and Land Use Change*. American Geophysical Union, pp. 85-98.
- IPCC, 2003. *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.
- IPCC, 2019. *Climate change and land: An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*, Inter-
- governmental Panel on Climate Change, <https://www.ipcc.ch/srccl/> (last access: 27 June 2022).
- Khaple, A.K., Devagiria, G.M., Veerabhadraswamy, N., Babu, S. and Mishra, S.B., 2021. Vegetation biomass and carbon stock assessment using geospatial approach. *Forest Resources Resilience and Conflicts*. Chapter 6, 77-91.
- Kindermann, G.E., McCallum, I., Fritz, S. and Obersteiner, M., 2008. A global forest growing stock, biomass and carbon map based on FAO statistics. *Silva Fennica*, 42: 387-396.
- 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.
- Li, Q., Yang, D., Jia, Z., Zhang, L., Zhang, Y., Feng, L., He, L., Yang, K., Dai, J., Chen, J. 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.
- Liu, C., 2009. 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, 43p.
- Pan, Y., Birdsey, R.A., Fang, J. and Houghton, R.A., 2011. A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, 80: 988-993.
- Paré, D., Laganière, J., Larocque, G.R. and Boutin, R., 2022. Effects of climate and forest composition on soil carbon cycling, soil organic matter stability and stocks in a humid boreal region. *Egusphere*, 1-30: <https://doi.org/10.5194/egusphere-2022-136>
- Sun, W. and Liu, X., 2020. Review on carbon storage estimation of forest ecosystem and applications in China. *Forest Ecosystems*, 7(4): 1-14.
- Shannon, V.L., Vanguelova, E.I., Morison, J.I.L., Shaw, L.J. and Clark, J.M., 2022. The contribution of deadwood to soil carbon dynamics in contrasting temperate forest ecosystems. *European Journal of Forest Research*, 141: 241-252.
- Zhao, M., Yang, J., Zhao, N., Liu, Y., Wang, Y., Wilson, J.P. and Yue, T., 2019. Estimation of China's forest stand biomass carbon sequestration based on the continuous biomass expansion factor model and seven forest inventories from 1977 to 2013. *Forest Ecology and Management*, 448: 528-534.