مجلهٔ جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران
سال پانزدهم، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۴۰۲
ص ۱۵۴-۱۴۱
مقاله پژوهشی

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22034/ijf.2022.337770.1865
شناسه دیجیتال (DOR): 20.1001.1.20086113.1402.15.3.1.8

برآورد ظرفیت ترسیب کربن خاک و زی‌تودهٔ زیرزمینی در تودهٔ آمیختهٔ راش و ممرز (مطالعهٔ موردی: جنگل لیره‌سر تنکابن)

حسین داجلری[۱]، قوام‌الدین زاهدی امیری[۲]، احسان عبدی[۳*]، محسن جوانمیری‌پور[۴] و محمد عسگری[۵]

[۱] دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
[۲] استاد فقید، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
[۳] دانشیار، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
[۴] دانش‌آموختهٔ دکتری علوم جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
[۵] دانشجوی فقید دکتری علوم زیستی جنگل، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

(تاریخ دریافت ۱۴۰۱/۰۲/۰۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۱۱)

چکیده

بوم‌سازگان‌های جنگلی از بزرگ‌ترین منابع ذخیرهٔ کربن هستند. به‌منظور برآورد ظرفیت ترسیب کربن زی‌تودهٔ زیرزمینی، خاک و ریشه در تودهٔ راش و ممرز در جنگل لیره‌سر در تنکابن، ۳۰ نمونه از هر یک از دو گونهٔ راش و ممرز ریشه‌کن شده از زیر تنه و به‌طور تصادفی انتخاب شد. نمونه‌برداری خاک در سه عمق ۱۰-۰، ۳۰-۱۰، ۵۰-۳۰ سانتی‌متری و نمونه‌برداری ریشه در شش طبقهٔ قطری کمتر از یک، ۱-۵، ۵-۱۰، ۱۰-۲۰، ۲۰-۵۰ و بالاتر از ۵۰ میلی‌متری از قسمت‌های مختلف ریشه انجام شد. نمونه‌های خاک از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد و نمونه‌های ریشه خشک و با دستگاه آسیاب‌کن پودر شدند. مقدار ذخیرهٔ کربن در ریشه‌های گونهٔ راش ۸۴۰۴ کیلوگرم در هکتار و در ریشه ممرز ۶۲۳۵ کیلوگرم در هکتار و مقدار کلی کربن ترسیب‌شده در لایه‌های معدنی خاک از عمق ۱۰-۰ تا عمق ۵۰-۳۰ سانتی‌متر مربوط به راش ۱۲۱ و ممرز ۱۶۱ تن در هکتار محاسبه شدند. نتایج حاصل از ترسیب کربن خاک در دو گونهٔ راش و ممرز نشان داد که مقدار ترسیب کربن خاک در گونهٔ ممرز در همهٔ لایه‌ها به‌ترتیب ۶۲/۳، ۷۲/۵ و ۵۶/۹ و در گونهٔ راش به‌ترتیب ۴۲، ۴۳/۶ و ۳۵/۷ تن در هکتار است. نتایج آزمون تی مستقل نیز نشان داد که بین کربن ذخیره‌شده در قطرهای مختلف ریشهٔ راش اختلاف معنی‌داری با ممرز وجود ندارد. مقدار ترسیب کربن خاک در گونهٔ ممرز در همهٔ لایه‌ها بیشتر از راش است که تأثیر تنوع گونه‌ای بر مقدار ترسیب کربن خاک را نشان می‌دهد. با توجه به تأثیر آمیختگی گونه‌ها بر ذخیره و ترسیب کربن در مقایسه با گونهٔ خالص راش، انتظار می‌رود که در جنگلکاری در مناطق مستعد، از ترکیب گونه‌های مختلف درختی استفاده شود. همچنین با توجه به پراکنش گستردهٔ راش و ممرز در جنگل‌های هیرکانی، به‌نظر می‌رسد که گونهٔ ممرز تعدیل‌کننده در تجزیهٔ عناصر و ترسیب کربن در خاک باشد.

واژه‌های کلیدی: بوم‌سازگان‌های جنگل، ترسیب کربن، ذخیرهٔ کربن، زی‌تودهٔ زیرزمینی.

مقدمه

افزایش گازهای گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن، متان و نیتروزاکسید که در لایهٔ تروپوسفر تجمع می‌یابند و اثر گلخانه‌ای و گرمایش زمین را ایجاد می‌کنند (Pato et al., 2017) از مهم‌ترین چالش‌های محیط زیستی جهان امروز به شمار می‌رود. این گازها موجب افزایش گرمای جهانی می‌شوند و انتظار می‌رود که در آینده نیز بر مقدار آنها افزوده شود (Zahedi Amiri & Zargham, 2015). گرمایش زمین سبب تخریب بوم‌سازگان‌های طبیعی از جمله جنگل‌ها و

* نویسندهٔ مسئول
شمارهٔ تماس: ۰۲۶۳۲۲۲۳۰۴۴
ایمیل: abdie@ut.ac.ir

مراتع و همچنین مهاجرت گونه‌ها، وقوع سیل و خشکسالی می‌شود (Marvi Mohadjer, 2010). در این میان دی‌اکسید کربن مهم‌ترین گاز گلخانه‌ای در فرایند گرمایش زمین به شمار می‌رود (Hester & Harrison, 2010). نگرانی از افزایش دی‌اکسید کربن جو، سبب توجه مجمع‌های محیط زیستی جهان به این موضوع شده است و در پی این نگرانی‌ها کشورهای مختلف جهان از جمله ایران توافقنامه‌ای را برای کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و ذخیرهٔ کربن در بوم‌سازگان‌های زمینی مانند بوم‌سازگان‌های جنگلی امضا کرده‌اند (Zahedi Amiri & Zargham, 2015; Shamekhi, 2011;Taravati, 1998). جنگل‌ها کربن را از طریق فتوسنتز در بافت زندهٔ درختان (ریشه، شاخه و برگ) و همچنین از راه تجزیهٔ لاشبرگ‌ها در خاک ذخیره می‌کنند. خاک بزرگ‌ترین منبع ذخیرهٔ کربن در بوم‌سازگان‌های زمینی است (Porrostami et al., 2020)؛ بنابراین ترسیب کربن در زی‌تودهٔ گیاهی و بخشی از خاک که حاصل تجزیهٔ این مواد هستند، ساده‌ترین و از نظر اقتصادی عملی‌ترین راهکار ممکن به‌منظور کاهش دی‌اکسید کربن اتمسفر است (Emmerich, 2002). پالایش کربن با روش‌های مصنوعی مثل فیلتر هزینه‌های سنگینی را در بردارد و این هزینه را حدود ۵۰۰ دلار برای هر تن کربن تخمین زده‌اند (Pan et al., 2009; Zahedi Amiri & Zargham, 2015). در صورت استفاده از پوشش گیاهی و کاشت درختان در قالب جنگلکاری می‌توان افزون‌بر ایجاد فضای سبز، تولید چوب و داشتن دیگر مزایای زیست‌محیطی، به هدف ذخیره‌سازی کربن نیز دست یافت (Asgari et al., 2021). با این‌حال تأثیر عوامل تأثیرگذار بر کارایی مانند نوع گونه‌های درختی، مرحلهٔ رویشی، نوع خاک، فعالیت‌های مدیریتی و عوامل دیگری همچون انتشار سوخت فسیلی، بهره‌برداری و مصرف زی‌توده بر ترسیب کربن نباید نادیده گرفته شود. گذشته از خاک، زی‌توده نیز مخزن مهمی برای ترسیب کربن اتمسفری است و افزایش ترسیب کربن خاک سبب افزایش پایداری ساختمان خاک می‌شود و از فرسایش نیز جلوگیری می‌کند (Zahedi Amiri & Zargham, 2015).

نتایج پژوهش Zahedi Amiri (1998) روی تیپ‌های جنگلی راش(*Fagus orirntalis* Lipsky) – بلوط (*Quercus castaneifolia* C.A.Mey.) و افرا (*Acer velutinum* Boiss.)- زبان‌گنجشک (*Fraxinus excelsior* L.) در لایه‌های آلی و معدنی خاک نشان داد که ترسیب کربن در لایه‌های آلی خاک در تودهٔ راش– بلوط (با ۲۵ تن در هکتار) بیش از تودهٔ افرا- زبان‌گنجشک (با ۰/۳ تن در هکتار) بوده است. درحالی که مقدار ذخیرهٔ کربن در لایه‌های معدنی خاک در تودهٔ افرا- زبان‌گنجشک (۱۶۹ تن بر هکتار) به‌مراتب بیشتر از تودهٔ راش – بلوط (۱۱۶ تن بر هکتار) بوده است. نتایج بررسی Badehiyan et al. (2016)، در جنگل خیرود نوشهر نشان داد که مقدار کربن هر دو بخش آلی و معدنی خاک در تودهٔ خالص راش (۳۴۱/۲۰ تن در هکتار) بیشتر از مقدار کربن خاک تودهٔ آمیختهٔ راش (۲۹۵/۹ تن در هکتار) است. Mahmoudi Taleghani et al. (2007) در پژوهشی با عنوان مقدار ترسیب کربن در جنگل‌های گلبند نتیجه گرفتند که تأثیر حجم در هکتار جنگل رابطهٔ مستقیمی با مقدار زی‌تودهٔ جنگل دارد و در نتیجه به افزایش ذخیرهٔ کربن خاک کمک می‌کند. آنها مقدار کربن ترسیب‌شده را ۲۸۳ تن در هکتار برآورد کردند. در تحقیقی در جنگل‌های جنوب آمریکا گزارش شد که کوددهی به این جنگل‌ها سبب افزایش ترسیب کربن در زی‌تودهٔ زیرزمینی (ریشه‌ها و اندام‌های زیرزمینی) شده است (Johnson, 1996). در پژوهشی، رابطهٔ بین مقدار زی‌توده و ترسیب کربن در سطح زمین، ساختار جنگل و تنوع زیستی پیش و پس از تخریب در جنگلی در یک پارک ملی در اوگاندا بررسی شد. پس از ۱۸ سال از احیای قطعهٔ تخریب‌شده، زی‌تودهٔ روی زمین در قطعه مورد نظر ۱۲ درصد افزایش یافته بود و تنوع

زیستی نیز افزایش چشمگیری داشت، ولی تنوع زیستی نسبت به جنگل اولیه کمتر بود. نتایج نشان داد که احیای جنگل برای تجمع زی‌توده مفید است و تجمع زی‌توده بر ترسیب کربن تأثیر بسزایی دارد (Wheeler et al., 2016). با توجه به اهمیت ترسیب کربن در جهان، همان‌طور که اشاره شد در سال‌های اخیر پژوهش‌های متنوعی در زمینهٔ ترسیب کربن در مراتع، مناطق جنگلی، توده‌های جنگلکاری‌شده و جنگل‌های شهری در نقاط مختلف جهان انجام و پژوهش‌های مناسبی نیز از نظر کمی و کیفی در ایران صورت گرفته است. بررسی پوشش گیاهی منطقهٔ هیرکانی به‌دلیل اهمیت محیط زیست جهانی و مواجههٔ آن با خطرهای متعدد و نیز به‌سبب توانایی زیاد ترسیب کربن در این بوم‌سازگان‌ها بسیار حائز اهمیت است. از سوی دیگر به‌دلیل تأثیر عوامل انسانی مانند قطع بی‌رویهٔ درختان و چرای مفرط دام بر مقدار ترسیب کربن، ضروری است که مقدار ترسیب کربن در این منطقه ارزیابی شود. در این بررسی گونهٔ خالص راش با گونهٔ ممرز (*Carpinus betulus* L.) همراه با گونه‌های دیگر (لیلکی (*Gleditschia amorphoides* (Griseb.) Taub.)، افراپلت، توسکا (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.)، ون) مقایسه و پتانسیل نسبی این گونه‌ها برآورد شد. فرضیهٔ این تحقیق، وجود اختلاف معنی‌دار ترسیب کربن در عمق‌های مختلف خاک و ریشه در دو گونهٔ تحت بررسی راش و ممرز است. این تحقیق با هدف بررسی تأثیر گونه‌های غالب طرح جنگلداری لیره‌سر (راش و ممرز) بر مقدار ترسیب کربن خاک و ریشه صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ پژوهش

جنگل‌های سری دو طرح جنگلداری لیره‌سر در بخش‌های جنوبی شهرستان تنکابن قرار دارد و در حوضهٔ آبخیز شمارهٔ ۳۵ واقع است. این سری از شمال به سری‌های ۳ و ۴ لیره‌سر، از شرق به سری ۱ طرح جنگلداری مسگلی، از جنوب به سری ۱ لیره‌سر و از غرب به حوضهٔ آبخیز ۳۴ سه‌هزار محدود می‌شود. با استناد به کتابچهٔ طرح جنگلداری لیره‌سر، این منطقه در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۵ دقیقه و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۵ دقیقه واقع شده است. متوسط بارندگی سالیانه این سری ۱۲۷۵ میلی‌متر است. بیشترین بارش در ماه مهر و کمترین آن در ماه مرداد صورت می‌گیرد. در این سری متوسط ارتفاع از سطح دریا ۸۰۰ متر و میانگین دما ۱۴ درجهٔ سانتی‌گراد است. رویش قطری راش‌های منطقه نشان داد که حجم در هکتار گونهٔ راش در منطقهٔ پژوهش ۲۴۰ متر مکعب، تعداد درختان در هکتار ۲۲۶ اصله و مقدار رویش ۳/۴۷ متر مکعب در سال در هکتار بوده است. دربارهٔ گونهٔ ممرز نیز براساس کتابچهٔ طرح، در این رویشگاه ۳۸۰ متر مکعب چوب سرپا وجود دارد که ۲۴ درصد آن معادل ۹۲ متر مکعب در هکتار به گونهٔ ممرز تعلق دارد. در این رویشگاه تعداد در هکتار کلی درختان ۱۷۹ اصله است که ۷ درصد آن معادل ۱۳ اصله در هکتار مربوط به گونهٔ ممرز است.

شیوهٔ اجرای پژوهش

روش نمونه‌برداری

پس از بازدید مقدماتی، جنگل گردشی و تعیین محدودهٔ منطقهٔ پژوهش، درختان مورد نظر به‌شکل تصادفی انتخاب و ارزیابی شدند. در این پژوهش ۳۰ درخت ریشه‌کن‌شدهٔ راش (*F.orientalis*) و ۳۰ درخت ممرز (*C. betulus*) انتخاب و قطر برابرسینه و قطر یقهٔ درختان افتاده با متر نواری اندازه‌گیری شد. سپس برای سنجش زی‌توده، در نزدیک‌ترین مکان به سیستم ریشهٔ درختان که خاک آن ناحیه نسبت به دیگر نواحی کمتر دست‌خورده بود، با ایجاد یک پروفیل از عمق‌های ۱۰-۰، ۳۰-۱۰ و ۵۰-۳۰ سانتی‌متر، نمونهٔ خاک برداشت شد (Varamesh et al., 2010). نمونه‌های خاک در هوای آزاد خشک شدند و بعد از خرد کردن کلوخه‌ها و جدا کردن

ریشه‌ها، سنگ‌ها و دیگر ناخالصی‌ها، به‌منظور اجرای آزمایش از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. سپس قسمتی از شاخه (تنهٔ اصلی شاخه) به‌عنوان نمونه به‌صورت مکعب با ابعاد ۱×۱×۱ سانتی‌متر تهیه و با استفاده از رابطهٔ چگالی (رابطهٔ ۱)، چگالی چوب شاخه محاسبه شد (Zahedi Amiri & Zargham, 2015).

رابطهٔ ۱ $$d = \frac{p}{v}$$

در این رابطه p وزن (گرم)، v حجم (سانتی‌متر مکعب) و d چگالی (گرم/ سانتی‌متر مکعب) است.

سپس از چگالی به‌دست‌آمده برای به‌دست آوردن جرم درخت استفاده شد. برای اندازه‌گیری کربن آلی ریشه، ابتدا درختان برحسب قطر برابرسینه طبقه‌بندی شدند و از هر طبقهٔ قطری یک درخت به‌عنوان نمونه انتخاب شد و از طبقات قطری ریشه شامل ۱-۰، ۵-۱، ۱۰-۵، ۲۰-۱۰، ۵۰-۲۰ و بیشتر از ۵۰ میلی‌متر جرم ریشه‌های درختان به‌صورت وزنی (گرم) محاسبه شد. سپس از همهٔ درختان، از تمام طبقات قطری ریشه نمونه‌ای برداشت شد. نکتهٔ مهم در برداشت نمونه برای اندازه‌گیری درصد کربن آلی این است که این نمونه‌ها برای هر طبقهٔ قطری ریشه از چهار قسمت مختلف ریشهٔ درخت برداشت و سپس با یکدیگر مخلوط شدند و مقداری از آن، برای اندازه‌گیری درصد کربن آلی به روش احتراق در کوره الکتریکی استفاده شد (Zahedi Amiri & Zargham, 2015).

روش آزمایشگاهی

اسیدیتهٔ خاک در همهٔ نمونه‌ها با استفاده از دستگاه pH سنج اندازه‌گیری شد (Cottenie, 1982). اندازه‌گیری کربن آلی با روش کربن معدنی خاک و احتراق از روش والکی بلاک انجام گرفت (Cottenie, 1982). جرم مخصوص ظاهری افق‌های معدنی خاک (عمق ۱۰-۰، ۳۰-۱۰ و ۵۰-۳۰ سانتی‌متری) با استفاده از کلوخه‌های خاک و به روش پارافین محاسبه شد (Jafari Haghighi, 2003). برای برآورد مقدار ذخیره و ترسیب کربن از مدل Zahedi Amiri (1998) استفاده شد (رابطهٔ ۲).

رابطهٔ ۲ $$Cc\ (gr/m^2) = 10000 \times C\ (\%) \times Bd\ (gr/m^3) \times e(cm)$$

در این رابطه، Cc مقدار ذخیره و ترسیب کربن برحسب گرم بر متر مربع، C مقدار کربن به درصد، Bd جرم مخصوص ظاهری خاک برحسب گرم بر سانتی‌متر مکعب و e عمق نمونه‌برداری برحسب سانتی‌متر است.

ابتدا نمونه‌های ریشه خشک و با دستگاه آسیاب‌کن پودر شدند و ۱ گرم از آن توزین و در ظرف مخصوص خود قرار داده شد. سپس وزن ظرف همراه با ۱ گرم ریشه آسیاب‌شده به‌دست آورده شد. بعد از آن ظرف در کورهٔ الکتریکی در دمای ۳۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد. ظرف بعد از خارج شدن از کوره توزین شد و سپس برحسب اختلاف وزن مقدار اولیه و مقدار ثانویهٔ ظرف، مقدار خاکستر که همان مادهٔ معدنی است، به‌دست آمد. از تفریق مقدار خاکستر از ۱ گرم وزن ریشهٔ خشک‌شده ابتدایی، مقدار مادهٔ آلی در ۱ گرم به‌دست آمد و ازآنجا که ۵۰ درصد مادهٔ آلی، کربن آلی است (Zahedi Amiri, 2006)، مقدار کربن آلی در ۱ گرم به‌دست آمد. در نهایت با توجه به اندازه‌گیری ریشه‌های درختان در هر طبقهٔ قطری، مقدار کربن ذخیره‌شده در کل ریشهٔ درختان راش و ممرز در آن طبقهٔ قطری به‌دست آمد. بافت خاک نیز به روش دانسی‌متری بایکاس به‌دست آمد (Zarrin Kafsh, 2001).

مقدار ذخیرهٔ کربن در ریشه

برای محاسبهٔ ذخیرهٔ کربن در ریشهٔ گونه‌های راش و ممرز، ابتدا در هر یک از گونه‌ها، چند طبقهٔ قطری انتخاب شد (برای راش پنج طبقهٔ قطری که شامل طبقات قطری ۲۵، ۴۰، ۵۵، ۷۰ و ۸۵ سانتی‌متری و برای ممرز شش طبقهٔ قطری شامل ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵، ۹۰ و ۱۲۵ سانتی‌متری). سپس از هر طبقهٔ قطری،

درختی به‌عنوان نمونه انتخاب و ریشه‌های آن در طبقات قطری (۱-۰، ۵-۱، ۱۰-۵، ۲۰-۱۰، ۵۰-۲۰ و بالاتر از ۵۰ میلی‌متری) به‌طور کامل وزن شد. مقدار ریشه در هر طبقهٔ قطری به‌دست آمد. پس از محاسبهٔ کربن ذخیره‌شده در طبقات قطری ریشه، حاصل جمع کربن به‌دست‌آمده از همهٔ قطرهای ریشه، کربن کل ذخیره‌شدهٔ درخت در آن طبقه قطری به‌دست آمد. با توجه به اطلاعات کتابچهٔ طرح جنگلداری، تعداد درختان راش و ممرز در هر طبقهٔ قطری در هکتار استخراج و با توجه به مقدار کربن ذخیره‌شده در ریشه در طبقهٔ قطری مورد نظر، مقدار ذخیرهٔ کربن در ریشه در هر طبقهٔ قطری در هکتار به‌دست آمد.

روش تحلیل

ابتدا نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و همگنی واریانس داده‌ها با آزمون لون بررسی شد. بعد از حصول اطمینان از نرمال بودن پراکنش داده‌ها و همگنی واریانس داده‌ها، برای مقایسهٔ کلی مشخصه‌های تحت بررسی توده‌ها از تجزیهٔ واریانس یکطرفه (ANOVA) و برای مقایسه‌های چندگانهٔ میانگین‌ها از آزمون توکی استفاده شد.

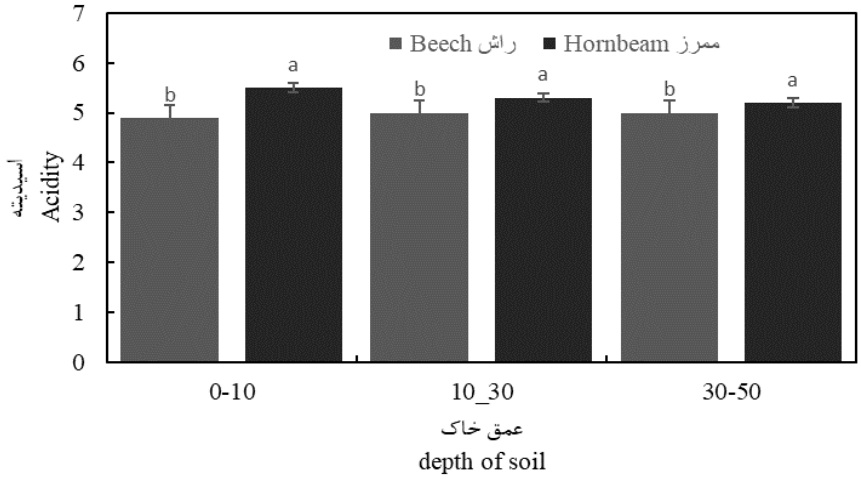
نتایج

اسیدیته در عمق‌های مختلف خاک

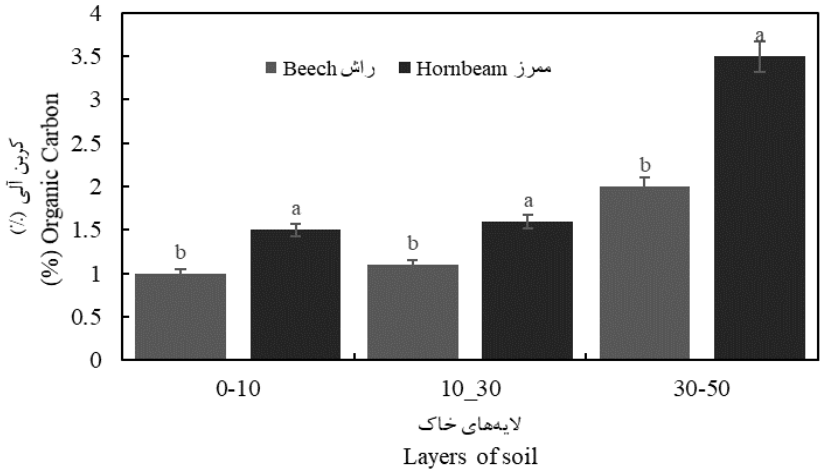
مقدار اسیدیته در سه لایهٔ معدنی خاک در گونه‌های ممرز و راش محاسبه شد (شکل ۱). به‌طور کلی اسیدی‌ترین لایهٔ خاک در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری گونهٔ راش و قلیایی‌ترین لایهٔ خاک نیز در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری گونهٔ ممرز قرار دارد. نتایج مقایسهٔ میانگین pH با استفاده از آزمون تی بین لایه‌های مختلف در دو گونهٔ تحت بررسی نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین دو گونه به احتمال ۹۵ درصد وجود دارد.

درصد کربن آلی خاک در نمونه‌های خاک

نتایج بیانگر بیشتر بودن میانگین درصد کربن آلی در گونهٔ ممرز نسبت به گونهٔ راش است. درصد کربن آلی در خاک اطراف گونهٔ راش در محدودهٔ ۰/۰۱۲ تا ۴/۷ درصد و در خاک اطراف گونهٔ ممرز در محدودهٔ ۰/۰۱۵ تا ۵/۸۵ درصد است (شکل ۲). نتایج مقایسهٔ میانگین درصد کربن آلی با استفاده از آزمون تی بین لایه‌های مختلف خاک در دو گونه نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین دو گونه به احتمال ۹۵ درصد وجود دارد.



شکل ۱- مقدار pH خاک در لایه‌های مختلف در گونه‌های راش و ممرز
Figure 1. Soil pH value in different layers in Beech and Hornbeam

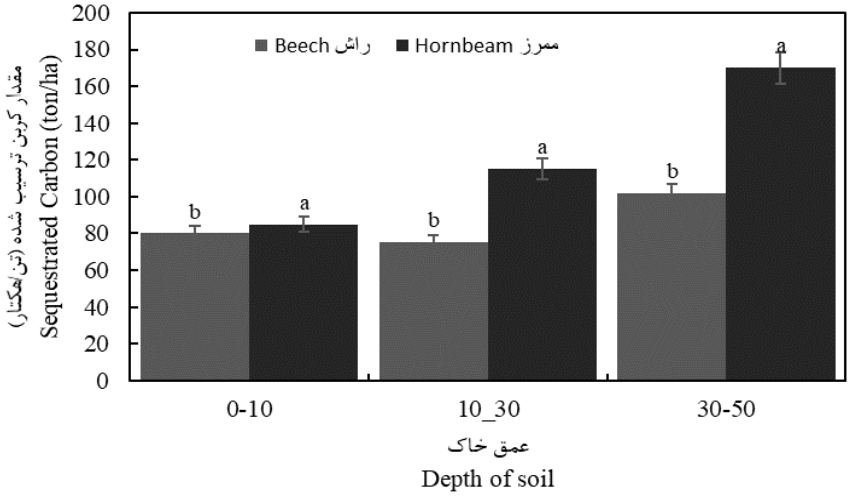


شکل ۲- میانگین درصد کربن آلی در گونه‌های راش و ممرز
Figure 2. The average percentage of organic carbon in Beech and Hornbeam

مقدار ترسیب کربن خاک در لایه‌های مختلف خاک

مقدار ترسیب کربن سه عمق از لایهٔ معدنی در خاک اطراف گونهٔ راش کمتر از مقدار ترسیب کربن در خاک اطراف گونهٔ ممرز است. در گونهٔ راش بیشترین مقدار در عمق ۳۰-۱۰ سانتی‌متر با میانگین ۴۳/۶۰ تن در هکتار و در گونهٔ ممرز بیشترین مقدار مربوط به عمق ۳۰-۱۰ سانتی‌متر با میانگین ۷۲/۵۲ تن در هکتار است (شکل ۳).

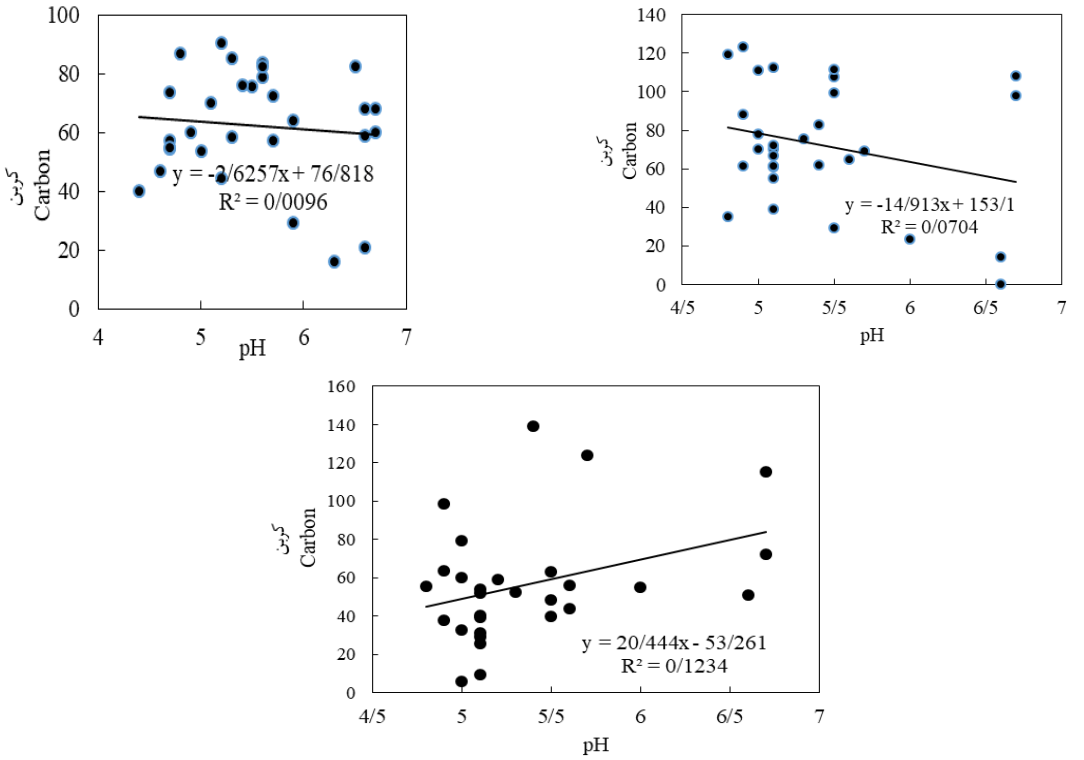
آنالیز مقایسهٔ میانگین داده‌ها روی همهٔ لایه‌های خاک در دو گونه نشان داد که مقدار ترسیب کربن به احتمال ۹۵ درصد اختلاف معنی‌دار دارند (جدول ۳). همچنین با توجه به نتایج تجزیه‌وتحلیل داده‌ها براساس آزمون واریانس یکطرفه (ANOVA) و مقایسهٔ چندگانهٔ میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی، ترسیب کربن در سه لایهٔ معدنی ذکرشده در گونهٔ ممرز با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارند. همچنین براساس نتایج مقایسهٔ میانگین‌ها در گونهٔ راش ترسیب کربن در سه لایهٔ معدنی دارای اختلاف معنی‌دارند (جدول ۳).



شکل ۳- میانگین مقدار ترسیب کربن خاک در لایه‌های مختلف خاک در گونه‌های راش و ممرز
Figure 3. The average amount of carbon sequstration in soil layers in Beech and Hornbeam

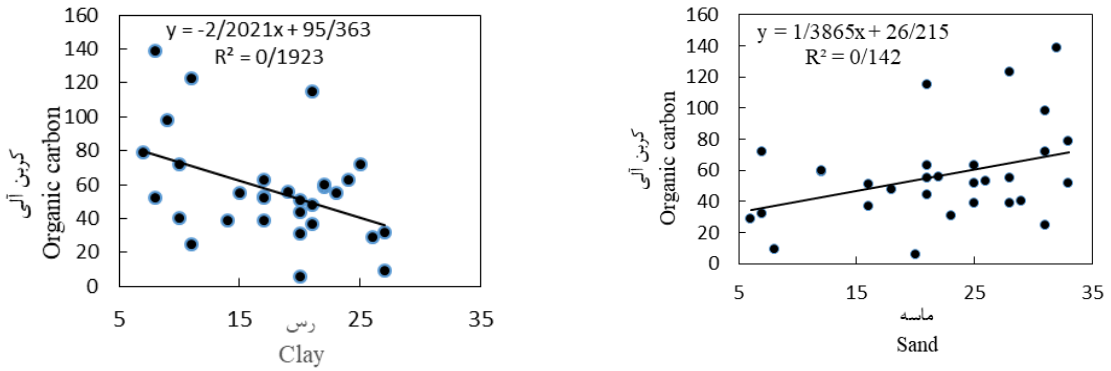
بررسی همبستگی بین مقدار ترسیب کربن خاک با مؤلفه‌های محاسبه‌شدهٔ خاک در لایه‌های مختلف نتایج تجزیه‌وتحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که مقدار ترسیب کربن در لایه‌های معدنی (۱۰-۰، ۳۰-۱۰ و ۵۰- ۳۰ سانتی‌متر) در گونه‌های راش و ممرز همبستگی معنی‌داری با مقدار اسیدیته ندارد (شکل ۴).

بین مقدار ترسیب کربن خاک در خاک اطراف گونهٔ ممرز فقط در لایهٔ ۵۰-۳۰ سانتی‌متر بین کربن ترسیب‌شده با رس و ماسه همبستگی وجود دارد و در بقیهٔ لایه‌ها همبستگی وجود ندارد که مقدار ضریب همبستگی آن در ماسه حدود ۰/۴ و در رس نیز حدود ۰/۴۵ است (شکل ۵).



شکل ۴- همبستگی بین مقدار ترسیب کربن خاک با مقدار اسیدیته در عمق‌های ۱۰-۰ سانتی‌متر (بالا، چپ)، ۳۰-۱۰ سانتی‌متر (بالا، راست) و ۵۰-۳۰ سانتی‌متر (پایین)

Figure 4. Correlation between the amount of soil carbon sequstrtion and the amount of acidity in the depths (cm) of 0-10 (top, left), 10-30 (top, right) and 30-50 at the bottom



شکل ۵- همبستگی بین مقدار ترسیب کربن خاک در گونهٔ ممرز در لایهٔ ۵۰-۳۰ سانتی‌متر با ماسه (راست) و رس (چپ)

Figure 5. Correlation between the amount of soil carbon sequestration in Hornbeam in the 30-50 cm layer with sand (right) and clay (left)

مقدار ذخیرهٔ کربن در ریشه

به‌طور کلی با افزایش طبقهٔ قطری ریشه در گونهٔ راش مقدار کربن ذخیره‌شده در طبقات قطری یکسان ریشه افزایش می‌یابد (جدول ۱). با افزایش طبقهٔ قطری ریشه، مقدار کربن ذخیره‌شده در ریشهٔ گونهٔ راش نیز افزایش یافته است. در واقع با افزایش طبقهٔ قطری (قطر برابرسینه) در یک طبقهٔ معین، هرچه قطر ریشه بیشتر شود، مقدار کربن ذخیره‌شده در ریشهٔ گونهٔ راش نیز افزایش می‌یابد.

به‌طور کلی با افزایش طبقهٔ قطری ریشه در گونهٔ ممرز مقدار کربن ذخیره‌شده در طبقات قطری یکسان ریشه افزایش می‌یابد (جدول ۲). با افزایش طبقهٔ قطری ریشه، مقدار کربن ذخیره‌شده در ریشهٔ گونهٔ ممرز نیز افزایش یافته است. در واقع با افزایش طبقهٔ قطری (قطر برابرسینه) در طبقه‌ای معین، هرچه قطر ریشه بیشتر شود، مقدار کربن ذخیره‌شده در ریشهٔ گونهٔ ممرز نیز افزایش می‌یابد.

نتایج آزمون تی نشان داد که بین مقدار ذخیرهٔ کربن در طبقات قطرهای مختلف ریشه در گونه‌های راش و ممرز در طبقات قطری کمتر از ۱ ، ۱۰-۵ و ۲۰-۵۰ میلی‌متر اختلاف معنی‌داری وجود ندارد و در دیگر طبقات قطری (۵-۱، ۲۰-۱۰ و بیش از ۵۰ میلی‌متر) به احتمال ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۳).

جدول ۱- مقدار کربن ذخیره‌شده در طبقات قطری راش (کیلوگرم)

Table 1. The amount of carbon stored in the dimaeter class of Beech (in kilograms)

مجموع Sum	>50	20-50	10-20	5-10	1-5	0-1	طبقه (سانتی‌متر) Class (cm)
76.1	38.5	19.6	7.3	5.8	3.4	1.5	25
114.6	66	24.6	12.3	10.8	5.2	1.6	40
135.7	68.8	32.1	14.8	12.5	5.5	2	55
169.7	87.5	36.5	22.1	14.3	7	2.3	70
188.5	95.3	39.4	24.7	16.9	9.4	2.9	85

جدول ۲- مقدار کربن ذخیره‌شده در طبقات قطری ممرز (کیلوگرم)

Table 2. The amount of stored carbon (kg) in the diameter class of Hornbeam

مجموع Sum	>50	20-50	10-20	5-10	1-5	0-1	طبقه (سانتی‌متر) Class (cm)
78.8	39.7	19.7	7.8	6.6	3.3	1.7	30
121.5	68.9	24.5	13	9.6	3.7	1.8	45
151	85.5	29.3	17.2	10.9	5.2	2.9	60
165	90.2	31.5	20.4	13.2	6.7	3	75
192	100.2	37	24.2	17.2	9.5	3.9	90
213.2	108.9	42.2	26.3	19	11.7	5.1	125

جدول ۳- مقایسهٔ میانگین ذخیرهٔ کربن در قطرهای مختلف ریشه در گونه‌های راش و ممرز (t-test)

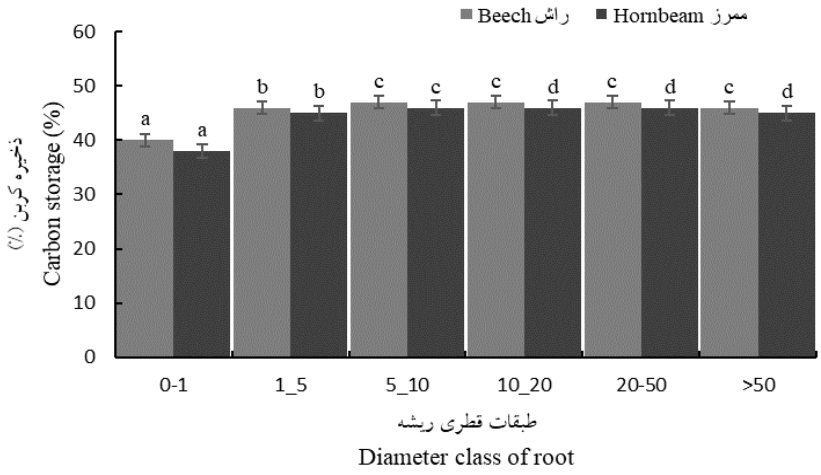
Table 3. Comparison of the average carbon storage in different root diameters in Beech and Hornbeam species (t-test)

بیش از ۵۰ میلی‌متر >50 mm	۲۰-۵۰ میلی‌متر 20-50 mm	۱۰-۲۰ میلی‌متر 10-20 mm	۵-۱۰ میلی‌متر 5-10 mm	۱-۵ میلی‌متر 1-5 mm	۱> میلی‌متر <1 mm	طبقات قطری ریشه Diameter class of roots
*	ns	*	ns	*	ns	اختلاف میانگین Mean difference

** دارای اختلاف معنی‌دار به احتمال ۹۹ درصد * دارای اختلاف معنی‌دار به احتمال ۹۵ درصد ns نبود اختلاف معنی‌دار

** Significant difference (p>0.01) * Significant difference (p>0.05) ns no significant difference

همچنین نتایج مقایسهٔ میانگین نشان داد بین مقدار ذخیرهٔ کربن در طبقات قطرهای مختلف ریشه در گونهٔ راش در بین طبقات قطری ۱-۰ و ۵-۱ میلی‌متر و دیگر طبقات قطری ریشه اختلاف معنی‌داری به احتمال ۹۵ درصد وجود دارد. بنابراین در گونهٔ راش شش طبقهٔ قطری ریشه به سه گروه تقسیم شدند (شکل ۶). در واقع افزایش طبقهٔ قطری ریشه تا حدی سبب افزایش ذخیرهٔ کربن می‌شود، یعنی از حد مشخصی به بعد با افزایش قطر ریشه، مقدار ترسیب کربن ثابت می‌ماند (شکل ۶). همچنین در گونهٔ ممرز بین مقدار ذخیرهٔ کربن در ریشه در طبقات قطری مختلف اختلاف معنی‌داری به احتمال ۹۵ درصد وجود دارد و شش طبقهٔ قطری ریشه به چهار گروه تقسیم شدند (شکل ۶).



شکل ۶- ذخیرهٔ کربن در قطرهای مختلف ریشه در دو گونهٔ راش و ممرز

Figure 6. Carbon storage in different diameters of roots in two species of Beech and Hornbeam

بحث

نتایج این پژوهش بیانگر اسیدی بودن بیشتر خاک در نمونه‌های گونهٔ راش نسبت به گونهٔ ممرز است که علت آن وجود گونهٔ راش و فراوانی آن (نسبت C/N زیاد در لاشبرگ‌های گونهٔ راش) در منطقه است. در نمونه‌های خاک گونهٔ راش، به‌دلیل فعالیت بیشتر قارچی در لایهٔ آلی و آبشویی حاصل کاهش اسیدیته (اسیدی شدن) در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر مشاهده می‌شود، اما با افزایش عمق خاک، افزایش مقدار اسیدیته (قلیایی شدن) چشمگیر است (Berhongaray, 2013) که علت، کاهش فعالیت قارچی با افزایش عمق خاک است). (Berhongaray, 2013 اما در گونهٔ ممرز وضعیت کمی متفاوت است و با افزایش عمق از لایهٔ ۱۰-۰ به ۳۰-۱۰ سانتی‌متر، اسیدیته کاهش می‌یابد که دلیل آن، افزایش تنوع گونه‌های درختی و درختچه‌ای و به‌خصوص گونه‌های علفی در سطح خاک و لایهٔ آلی خاک است. این امر با پژوهش Jalilvand & Asghari (2021) مطابقت دارد، چراکه مواد آلی در لایهٔ سطحی خاک بیشتر است که موجب کاهش اسیدیته در عمق اول خاک نسبت به عمق دوم و دیگر اعماق خاک شده است. به‌طور کلی هرچه نور کمتری به‌دلیل تراکم تاج‌پوشش درختان جنگلی به کف جنگل (لاشبرگ‌ها) برسد، فرایند تجزیهٔ لاشبرگ‌ها کندتر می‌شود و همچنین اگر لاشبرگ‌ها متعلق به گونه‌های درختی باشند که C/N زیادی (مانند گونه‌های راش و بلوط) دارند، اسیدیتهٔ خاک در عمق‌های ابتدایی خاک کاهش می‌یابد (Marvi Mohadjer, 2010). در واقع از لایهٔ ۳۰-۱۰ به ۵۰-۳۰ سانتی‌متر مشابه راش، اسیدیتهٔ ممرز نیز افزایش می‌یابد. مقایسهٔ میانگین اسیدیته در لایه‌های مختلف خاک در دو گونهٔ راش و ممرز بیانگر این است که به احتمال ۹۵ درصد اختلاف معنی‌دار دارند (Berhongaray et al.,

(2013. نتیجهٔ این بررسی با نتیجهٔ پژوهش Zahedi Amiri (1998) مطابقت دارد. در بررسی در توده‌های پهن‌برگ جنگل‌های بلژیک، گرچه اسیدیته با ازت خاک ارتباط معنی‌داری داشت، رابطهٔ معنی‌داری بین اسیدیته و کربن در لایه‌های مختلف خاک در این تحقیق مشاهده نشد (Zahedi Amiri, 1998). در پژوهش حاضر، درصد کربن آلی در ممرز در همهٔ لایه‌ها بیشتر از درصد کربن آلی در راش است. درصد کربن آلی در هر دو گونهٔ راش و ممرز به احتمال ۹۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دارند. Jalilvand & Asghari (2021) نشان دادند که هر چه شدت بهره‌برداری در تودهٔ جنگلی کمتر باشد، مقدار ذخیرهٔ کربن خاک افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه کیفیت لاشبرگ از مهم‌ترین عوامل مؤثر تجزیه لاشبرگ و بازگشت عناصر غذایی به بوم‌سازگان جنگل است (Zahedi Amiri & Zargham, 2015) و با توجه به اینکه تنوع گونه‌های درختی (درجهٔ آمیختگی) در نمونه‌های گونهٔ ممرز نسبت به گونهٔ راش بیشتر است، تفاوت چشمگیری از نظر درصد کربن آلی مشاهده شد. همچنین کاهش درصد کربن آلی با افزایش عمق در لایه‌های معدنی خاک مشاهده می‌شود. در تحقیق دیگری در جنگل‌های بلژیک (Zahedi Amiri, 1998)، تأثیر تیپ جنگلی بر مقدار ترسیب کربن در خاک ارزیابی شد. در این تحقیق نتیجه‌گیری شد که مقدار ذخیرهٔ کربن در لایه‌های معدنی خاک در تودهٔ افرا-زبان گنجشک بیشتر از تودهٔ راش- بلوط بوده است. با توجه به نتایج این تحقیق، تأثیر ترکیب گونه‌ای و تیپ جنگل در فرایند ترسیب کربن در افق‌های آلی و معدنی خاک بسیار اثرگذار است. در پژوهش حاضر مقدار ترسیب کربن خاک در تودهٔ ممرز بیشتر از گونهٔ راش و دارای اختلاف معنی‌داری است. این امر با تحقیق Jalilvand & Asghari (2021) تطابق دارد، زیرا در پژوهش ذکرشده که میان سه تیپ ممرز خالص، بلوط- ممرز و ممرز- افرا انجام گرفت، تیپ ممرز خالص بیشترین ذخیرهٔ کربن را نسبت به دو تیپ دیگر دارا بود که دلیل آن سرعت تجزیهٔ لاشبرگ‌های گونهٔ ممرز (C/N کم) است. به‌طور کلی در نمونه‌های خاک گونهٔ ممرز که یک تودهٔ آمیخته با گونه‌های مختلف درختی بود، انتظار می‌رود سرعت تجزیهٔ لایه‌های آلی خاک به‌دلیل فعالیت تجزیه‌کنندگان و ضخامت کمتر این لایه، بیشتر باشد. بنابراین مقدار ترسیب کربن خاک در لایه‌های معدنی افزایش یافته است. همچنین شایان ذکر است که رابطهٔ C/N در گونهٔ ممرز نسبت به گونهٔ راش از مقدار کمتری برخوردار است و بنابراین سرعت تجزیهٔ لاشبرگ‌های گونهٔ ممرز نیز نسبت به گونهٔ راش بیشتر است. اما در مورد نمونه‌های خاکی گونهٔ راش به‌دلیل کم بودن تنوع گونه‌ای در رویشگاه و همچنین تجزیه‌پذیری کند (C/N زیاد) لاشبرگ‌های گونهٔ راش، مقدار ترسیب کربن لایهٔ معدنی کاهش می‌یابد. همچنین کند بودن تجزیهٔ لاشبرگ‌های راش سبب کمتر شدن مقدار کربن در لایه‌های معدنی خاک در گونه‌های راش می‌شود. افزون‌بر آن، ازآنجا که تعداد در هکتار گونهٔ راش در توده‌های آمیختهٔ راش بیشتر از دیگر درختان است، تاج‌پوشش درختان حالت بسته تا نیمه‌بسته می‌یابد که سبب افزایش رطوبت خاک و در نتیجه کند شدن فرایند تجزیهٔ لاشبرگ‌های گونهٔ راش نسبت به دیگر گونه‌های درختی می‌شود (Ghanbari Motlagh et al., 2021). Ghanbari Motlagh et al. (2021) نشان دادند که در برآورد ذخیرهٔ کربن در سه راشستان مختلف در ناو اسالم (گیلان)، سرد آبرود (مازندران) و کردکوی (گلستان)، همواره مقدار ذخیرهٔ کربن از شرق (کردکوی) به غرب (ناو اسالم) در حال افزایش بوده است که دلیل آن، افزایش طول دورهٔ خشکی، افزایش دما و کاهش مقدار بارش سالانهٔ جنگل‌های راش کردکوی (گلستان) نسبت به ناو اسالم (گیلان) است.

Zahedi Amiri (1998) در بررسی تأثیر جنگلکاری‌های خالص و آمیختهٔ بلوط بر مقدار مواد آلی و معدنی و ازت خاک به این نتیجه رسیدند که مقدار کربن آلی و ازت در سطح خاک تا ۱۵ سانتی‌متر در جنگلکاری‌های آمیختهٔ بلوط و توسکای ییلاقی (*Alnus subcordata* C.A.Mey.) بیشتر از

جنگلکاری‌های خالص بلوط است. افزون‌بر این به نظر می‌رسد که بررسی عوامل مختلف نفوذ کربن آلی در خاک، مانند نفوذ ریشه‌ها در خاک، حائز اهمیت است. با توجه به سنگلاخی بودن رویشگاه راش در منطقهٔ پژوهش و همچنین مناسب‌تر بودن بستر خاکی رویشگاه ممرز، در نتیجه ریشه در رویشگاه راش به اعماق کمتری از خاک نفوذ می‌کند؛ اما در نقطهٔ مقابل، در رویشگاه ممرز ریشه به اعماق بیشتری در خاک نفوذ می‌کند. ریشه‌ها با توجه به شرایطی که از نظر میکروارگانیسم و تنفس ایجاد می‌کنند، مقدار بیشتری از کربن را ترسیب می‌کنند. در پژوهش حاضر با افزایش عمق خاک (۵۰-۳۰ سانتی‌متری نسبت به دو عمق اول خاک)، مقدار کربن ترسیب‌شده افزوده شد. در ایران پژوهش‌های اندکی در مورد مقدار ترسیب کربن گونهٔ ممرز صورت گرفته است. برای مثال Jalilvand & Asghari (2021) در پژوهشی در زمینهٔ بررسی اثر توده‌های بهره‌برداری‌شده و بهره‌برداری‌نشده با تیپ غالب گونهٔ ممرز بر ذخیرهٔ کربن خاک، دریافتند که مقدار کربن ترسیب‌شده در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متری نسبت به عمق ۱۰-۱ سانتی‌متری بیشتر بوده است که دلیل آن کمبود رطوبت در سطح خاک و آبشویی بیشتر مواد آلی از لایه‌های بالاتر و افزایش آن در لایهٔ دوم خاک است. همچنین می‌توان نتایج این تحقیق را از نظر عوامل دیگر (ریشه، تاج‌پوشش، قطر برابرسینه، تنوع زیستی و غیره) با یافته‌های پژوهشگران مقایسه کرد. نتایج این تحقیق با یافته‌های Zarrin Kafsh (2001) و Nourmohammadi& Esmaeilzadeh (2015) مطابقت ندارد؛ زیرا در پژوهش‌های یادشده در جوامع جنگلی در نتیجهٔ افزایش تراکم درختان ممرز، درصد کربن کاهش یافت. همچنین نتایج این تحقیق با یافته‌های Schlesinger (1984) مطابقت ندارد، زیرا در آن تحقیق مقدار ترسیب کربن خاک با تجزیهٔ کمتر لاشبرگ‌ها افزایش یافت، درحالی که در پژوهش حاضر ترسیب کربن خاک گونهٔ راش با توجه به تجزیهٔ کمتر لاشبرگ‌ها کمتر از ترسیب کربن ممرز است. یافته‌های این‌گونه پژوهش‌ها در مناطق مختلف متفاوت است و علت اصلی این اختلاف در نتایج را می‌توان عوامل اقلیمی، توپوگرافی، ویژگی‌های خاک، ترکیب جوامع گیاهی و اعمال مدیریتی مختلف بیان کرد. Wheeler et al. (2016) در پژوهش‌های خود به این نتیجه رسیدند که تجمع زی‌توده تأثیر بسزایی در افزایش ترسیب کربن خاک دارد که با نتیجهٔ این تحقیق همسو است. نتایج حاکی از آن است که در نمونه‌های خاک در دو گونهٔ راش و ممرز بیشترین ترسیب کربن خاک در عمق ۳۰-۱۰ سانتی‌متری به‌دلیل نفوذ بیشتر ریشه‌ها در این لایه از خاک و تأثیر ریشه بر مقدار ترسیب کربن خاک است که این یافته با پژوهش Zahedi Amiri & Zargham (2015) که بهترین عمق سنجش زی‌تودهٔ زیرزمینی در گیاهان را ۱ تا ۳۰ سانتی‌متری نخست خاک می‌داند مطابقت دارد. همچنین انتقال کربن از سطح ۱۰-۰ سانتی‌متری خاک به‌دلیل آبشویی و ته‌نشست به لایهٔ ۳۰-۱۰ سانتی‌متری شایان ذکر است. در نمونه‌های هر دو گونه با افزایش عمق خاک از ۱۰-۳۰ به عمق ۳۰-۵۰ سانتی‌متر با کاهش ترسیب کربن خاک همراه است که دلیل آن تثبیت کربن در لایهٔ فوقانی است. در نمونه‌های خاک گونهٔ راش برخلاف نمونه‌های خاک گونهٔ ممرز، ترسیب کربن خاک در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر بیشتر از عمق ۵۰-۳۰ سانتی‌متر است که شاید به‌دلیل حجم زیاد لاشبرگ در سطح لایه‌های معدنی خاک باشد (به‌دلیل کندی تجزیه‌پذیری). پتانسیل ترسیب کربن خاک تحت تأثیر عواملی چون نوع گونهٔ درختی، سن، اقلیم، عمق خاک و شرایط رویشگاه و عملیات پرورشی جنگل متفاوت خواهد بود (Zahedi Amiri & Zargham, 2015). بنابراین می‌توان بیان کرد که در تحقیق حاضر با افزایش عمق، ترسیب کربن کاهش یافته است.

بنابر نتایج به‌دست‌آمده مقدار ذخیرهٔ کربن در بین نمونه‌های ریشهٔ گونهٔ راش و ممرز در قطرهای ۵-۱، ۲۰-

۱۰ و بیش از ۵۰ میلی‌متر به احتمال ۹۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار است و در دیگر طبقات قطری ریشه (۱-۰، ۵-۱۰، ۲۰-۵۰ میلی‌متری) به احتمال ۹۵ درصد اختلاف معنی‌دار وجود ندارد. علت را می‌توان در شرایط یکسانی دانست که ریشه‌ها از نظر میکروارگانیسم و تنفس در هر دو گونهٔ راش و ممرز ایجاد می‌کنند. در این پژوهش مقدار ذخیرهٔ کربن در ریشه‌های راش و ممرز در هکتار برآورد شد که در راش ۸۴۰۴ و در ممرز ۶۲۳۵ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. تفاوت موجود در مقدار ذخیرهٔ کربن در دو گونه در ریشه، شاید در ظاهر بیانگر توان بیشتر گونهٔ راش در ذخیرهٔ کربن باشد؛ ولی این‌چنین نیست، بلکه دلیل بیشتر بودن ذخیرهٔ کربن در ریشهٔ گونهٔ راش، فراوانی بیشتر گونهٔ راش در طبقات قطری اندازه‌گیری شده است، زیرا گونه‌های راش در رویشگاه‌های آمیخته با غالبیت راش اندازه‌گیری شدند که در آنها فراوانی گونهٔ راش بسیار زیاد است، درحالی که گونهٔ ممرز در رویشگاه‌هایی اندازه‌گیری شد که آمیختگی و تنوع گونه‌ای زیاد بود و در نتیجه فراوانی در واحد سطح گونهٔ ممرز کمتر از گونهٔ راش بود. به‌طور کلی مقدار ذخیرهٔ کربن در ریشه به عواملی چون قطر برابرسینه، نوع رویشگاه، سن درخت، حاصلخیزی خاک، کیفیت عملیات پرورشی در جنگل، تاج‌پوشش و غیره بستگی دارد. شایان ذکر است زمانی که نمونه‌های ریشه اندازه‌گیری شدند، مقداری ریشه در خاک باقی ماند که به‌صورت تخمینی محاسبه شد و همچنین در دسته‌بندی طبقات قطری ریشه رفرنسی وجود نداشت؛ بنابراین با توجه به وضعیت ریشهٔ درختان طبقات قطری مذکور ارائه شد.

نتیجه‌گیری

نتایج بررسی ترسیب کربن خاک در دو گونهٔ راش و ممرز نشان داد که مقدار ترسیب کربن خاک در گونهٔ ممرز در همهٔ لایه‌ها با گونهٔ راش متفاوت است که تأثیر تنوع گونه‌ای بر مقدار ترسیب کربن خاک را نشان می‌دهد. بنابراین با شناخت گونه‌هایی که قابلیت بیشتری به‌منظور ترسیب کربن دارند و همچنین بررسی عوامل مدیریتی تأثیرگذار بر فرایند ترسیب، می‌توان اصلاح و احیای اراضی جنگلی را از منظر ترسیب کربن مدنظر قرار داد.

References

Asgari, M., Javanmiri Pour, M., Etemad, V., & Liaghat, A. (2021). Evaluation of Water Requirement of *Fraxinus rotundifolia* Mill and *Morus alba* under Different Water Stresses in Arid Region (Case Studty: Robat Karim City). *Journal of Ecohydrology, 8* (1), 161- 176. 10.22059/IJE.2021.311250.1392. In Persian

Badehiyan, Z., Mansouri, M., Foshat, M., Fakhari, M.A., & Hosseini, M. (2016). Investigation on the soil carbon sequestration in natural forest and different plantation types (case study: Chamestan forest, Mazandaran). Forest and Wood Products, 69(3), 523-534. doi: 10.22059/jfwp.2016.59892. In Persian

Berhongaray, I., Pellens, R., Kindel, A., Barros, E., & Franco, A.A. (2013). Evaluation of soil conditions in fast-growing plantations of Eucalyptus grandis and Acacia mangium in Brazil: A contribution to the study of sustainable land use. *Journal of Applied Soil Ecology*, *27* (4), 177-187. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2004.03.007.

Cottenie, A., Verlo, M., Kjekens, L., & Camerlynch, R. (1982). *Chemical Analysis of Plant and Soil; Laboratory of Analytical Agrochemistry*. Gent: State University of Gent Press, 204 p.

Emmerich, W.E., (2002). Carbon dioxide fluxes in a semiarid environment with high carbonate soils. *Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, *116* (3), 91-102. https://doi.org/10.1016/S0168-1923(02)00231-9.

Ghanbari Motlagh, M., Babaie Kafaky, S., Mataji, A., & Akhavan, R. (2021). Prelude on Estimation of Carbon Reserves in Beech Forests of Northern Iran. *Journal of Human and Environment*, *57* (2), 59-73. 20.1001.1.15625532.1400.19.2.6.0. In persian

Hester, R.E., & Harrison, R.M. (2010). *Carbon Capture Sequestration and Storage*. Birmingham: The Royal Society of Chemistry Press, 325 p.

Jafari Haghighi, M. (2003). *Soil decomposition methods (sampling and important physical and chemical decompositions).* Tehran: Nedaye Zoha Press, 240 p. In persian

Johnson, G.R. (1996). Geospatial methods provide timely and comprehensive urban forest information, Urban Forestry & Urban Greening. *Journal of Arid Environments, 6,* 15–22. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2006.11.002.

Jalilvand, H., & Asghari, K.H. (2021). Imapact of Degraded (Exploited) and Undegraded (Un Exploited) Forest Tree Stands on Soil Characteristics and Carbon Storage. *Journal of Degradation and Rehabilitation of Natural Land*, *1* (2), 26-34.

Mahmoudi Taleghani, E., Zahedi Amiri, Gh., Adeli, E., & Sagheb-Talebi, Kh. (2007). Assessment of carbon sequestration in soil layers of managed forest. *Journal of Forest and Poplar Research*, *15* (3), 241-252. In persian

Marvi Mohadjer, M.R. (2010). *Silviculture*, Tehran: University of Tehran press. 400 p. In persian

Nourmohammadi, K., & Esmaeilzadeh. O. (2015). Changes in soil carbon sequestration along an altitudinal gradient in Salahodinkola Forest, Nowshahr. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, *22* (3), 109-126. 20.1001.1.23222077.1394.22.3.6.2. In persian

Pan, Y., Birdsey, R., Hom, J., & McCullough, K. (2009). Separating effects of changes in atmospheric composition, climate and land-use on carbon sequestration of U.S. Mid-Atlantic temperate forests. *Forest Ecology and Management*, *259*, 151–164. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.049.

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

Porrostami, R., Zahedi Amiri, G.h., & Etemad, V. (2020). 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*, *12* (3), 317-330. In persian

Schlesinger, W.H. (1984). *Carbon Sequestration in Soils*. Washington, D.C.: Ecological society of America Press, 284 p.

Shamekhi, T. (2011). *Regulats and Administration of Natural Resources (forests ans Rangelands).* Tehran: University of Tehran press. 421 p. In persian

Taravati, H., & Eiafati, S.A. (1998). Agenda 21 (United Nations Conference on Environment & Development) (translation). Environmental Protection Agency and United Nations Development Programme, 478 p.

Varamesh, S., Hosseini, S.M., Abdi, N., & 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

Wheeler, Ch., Omeja, P.A., Chapman, C.A., Glipin, M., Tumwesigye, Ch., & Lewis, S.L. (2016). Carbon sequestration and biodiversity following 18 years of active tropical forest restoration. *Journal of Forest Ecology and Management*, *373,* 44-55. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.04.025.

Zahedi Amiri, GH. (1998). *Relation between Ground Vegetation and Soil Characteristics, in a Mixed Hardwood Stand*, Gent: University of Gent Academic press. 319 p.

Zahedi Amiri, Gh. (2006). Spatial dependence between soil carbon and nitrogen storage in two forest types. Proceeding of the XII Word Forestry Congress in Canada, Quebec, 357 – 358. In persian

Zahedi Amiri, Gh., & Zargham, N. (2015). *Carbon sequestration in terrestrial ecosystems*. Tehran: University of Tehran press. 500 p. In persian

Zarrin Kafsh, M. (2001). *Forest Pedology (Soil-plant interactions in relation to environmental factors of forest ecosystem)*. Tehran: Forests and Rangelands Research Institute Press. 376 p. In persian

Iranian Journal of Forest
Vol. 15, No. 2, Summer 2023
pp. 141-154

DOI: 10.22034/ijf.2022.337770.1865
DOR: 20.1001.1.20086113.1402.15.3.1.8

Research Article

Appraisal of Carbon Sequestration Capacity of Soil and Underground Biomass in Mixed stands of Beech and Hornbeam (A case study: Lirasar Forest- Tonekabon)

H. Dajleri[1], G.H. Zahedi Amiri[2], E. Abdi[3*], M. Javanmiri Pour[4], and M. Asgari[5]

[1]Master Graduated oygf Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran
[2]Late Prof., Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran
[3]Associate Prof., Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran
[4]Ph.D. Graduated, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran
[5]Late Ph.D. Student of Forest Biological Sciences, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran

(Received: 24 April 2022; Accepted: 02 July 2022)

Abstract

Forest ecosystems are one of the principal sources of carbon storage. The Lirehsar forest in Tonekabon was studied to assess the carbon sequestration capacity of underground biomass, soil, and roots of beech and hornbeam mixed stands. Thirty samples of uprooted beech and hornbeam trees were unintentionally selected. Soil sampling was carried out at three depths (0-10, 10-30, 30-50 cm), and root diameter sampling was conducted in six classes (<1, 1-5, 10-5, 10-20, 20-50, and >50 mm) from distinct parts of the root. Soil samples were passed through a 2 mm sieve, and root samples were dried and pulverized with a grinder. The carbon storage value in beech and hornbeam roots was 8404 kg.ha-1 and 6235 kg.ha-1, respectively. The total amount of carbon deposited in soil mineral layers from 0-10 cm to 30-50 cm depth on beech and hornbeam was calculated 121 and 161 t.ha, respectively. Furthermore, the study results on soil carbon sequestration in beech and hornbeam revealed that the amount of soil carbon sequestration in all layers was 56.9, 72.5, and 62.3 t.ha for hornbeam, while its value for beech in all layers was 42, 43.6, and 35.7 t.ha. The independent t-test results showed no significant difference between carbon stored in diverse root diameters in beech and hornbeam. Findings showed that the amount of soil carbon sequestration on hornbeam was higher than on beech in all layers, revealing the influence of species diversity on soil carbon sequestration. It is expected that a variety of different tree species can be employed for reforestation in suitable areas as a result of the species diversity effect on carbon storage and carbon sequestration compared to pure beech species. It is supposed that hornbeam is a mitigated species for decomposition of soil elements and carbon sequestration in forest soil due to the developed distribution of the studied species in Hyrcanian forests.

Keywords: Forest ecosystems, Carbon sequestration, Carbon storage, Underground biomass.

[*]Corresponding author Tel: +98 2632223044 Email: abdie@ut.ac.ir