تأثیر نوع پوشش جنگلی بر ذخیره کربن آلی و خصوصیات خاک در جنگل خیرودکنار، نوشهر

زهرا فهیم*، محمد امیر دلاور و احمد گلچین[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۳/۱۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۴/۳)

چکیده

در میان خصوصیات خاک کربن آلی مهم‌ترین مؤلفه اکوسیستم‌های خاکی است و هر تغییر در فراوانی ترکیب آن اثرات اساسی روی تعداد زیادی از فرآیندهایی که در هر اکوسیستم رخ می‌دهد، خواهد داشت. تحقیق حاضر به منظور برآورد مقدار کربن ذخیره شده کل خاک و اجزای معدنی خاک در سه تیپ جنگلی راش- ممرز، انجیلی- ممرز و بلوط- ممرز در جنگل خیرودکنار انجام شد. نمونه‌برداری خاک از ارتفاع ۲۰۰ تا ۱۲۰۰ متر از سطح دریا با رعایت فواصل ۱۰۰ متر و با توجه به نوع پوشش جنگلی صورت گرفت. بیشترین مقدار ترسیب کربن در افق سطحی در تیپ جنگلی انجیلی- ممرز به مقدار ۱۶۷/۴ تن در هکتار و در کل خاک در تیپ جنگلی راش- ممرز ۵۱۴/۴ تن در هکتار برآورد شد. نتایج نشان داد که در بین بخش‌های معدنی خاک، بخش رس دارای بیشترین مقدار کربن آلی بوده اما بیشترین فاکتور غنای کربن در بخش شن و در تیپ راش- ممرز با مقدار ۱/۵۹ به‌دست آمد. بیشترین مقدار کربن آلی و میانگین وزنی قطر خاکدانه و کمترین مقدار چگالی ظاهری خاک در افق سطحی به‌ترتیب با مقادیر ۷/۸۹ درصد، ۴/۷۹ و ۱/۲۱ گرم بر سانتی‌مترمکعب در تیپ انجیلی- ممرز دیده شد.

واژه‌های کلیدی: کربن آلی خاک، ترسیب کربن، خصوصیات خاک، اجزای معدنی خاک

۱. گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: fahim_1264@yahoo.com

مقدمه

اهمیت خاک‌های دنیا در چرخه جهانی کربن و نقش کربن آلی خاک در پدیده گلخانه‌ای مورد توجه خاک‌شناسان و اکولوژیست‌های زیادی در سرتاسر جهان قرار گرفته است. فعالیت‌های انسان برای تولید غذا، انرژی و از بین بردن جنگل‌ها سبب برهم خوردن غلظت دی اکسید کربن به‌عنوان مهم‌ترین گاز گلخانه‌ای و بر هم خوردن چرخه کربن شده است(۲۱). از طرفی، تخمین مقدار کربن آلی آزاد شده از خاک به اتمسفر به همراه افزایش قابل ملاحظه مقدار کربن در اتمسفر از ۱۹ میلی‌لیتر در لیتر در اواسط قرن نوزدهم به ۳۶۵ میلی‌لیتر در لیتر به‌صورت حجمی در اواخر قرن بیستم رسیده است که حاصل جایگزینی کشاورزی سنتی به جای کشاورزی فشرده است. بنابراین دانشمندان و برنامه ریزان علاقمند به دانستن پتانسیل خاک‌های دنیا به‌عنوان مخزنی برای کربن اتمسفری هستند(۲۲). خاک به‌عنوان منبع یا مخزنی برای کربن اتمسفری می‌تواند با مهار تولید دی اکسید کربن از پدیده گلخانه‌ای جلوگیری کند(۲۰).

تغییرات و ذخیره ماده آلی خاک در هر زمان به مقدار و سرعت ورود آن به خاک بستگی داشته که از طریق بخش‌های هوایی و زیرزمینی پوشش گیاهی تأمین می‌شود. افزون بر این تجزیه و معدنی شدن ماده آلی بر اثر فعالیت میکروبی خاک سرعت خروج آن را از خاک و در نتیجه مقدار ماده آلی موجود در خاک را مشخص و کنترل می‌کند. هر دو فرآیند نام برده (ورود و خروج کربن) تحت تأثیر عوامل زنده و غیرزنده مانند اقلیم، پوشش گیاهی، مدیریت اکوسیستم و مهم‌تر از آن ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک قرار دارد(۹).

اکوسیستم جنگل یک سیستم کاربری اراضی برای ذخیره کربن بیشتر در خاک‌ها و حذف دی‌اکسیدکربن اتمسفری محسوب می‌شود (۱۵). کربن ذخیره شده در اکوسیستم جنگل جز اساسی کربن جهان بوده به‌طوری‌که پوشش گیاهی آن حدود ۸۲ تا ۸۶ درصد کربن بالای خاک را تشکیل می‌دهد و خاک‌های جنگلی حدوداً ۷۰ تا ۷۳ درصد کربن آلی خاک‌ها را در برمی‌گیرد(۱۶). ترسیب کربن در خاک‌های جنگلی و کربن آلی شده اتمسفری در درختان کاربرد مهمی در چرخه کربن جهان دارد (۲۱ و ۲۲). آکسلسون و همکاران(۳)، درایس و همکاران(۱۱) و جاندل و همکاران(۱۸)، تأثیر پوشش‌های گیاهی مختلف را بر مقدار ذخیره کربن خاک و کاهش گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر مطالعه کرده و بیان کردند که مقدار ذخیره کربن و نیتروژن آلی تحت تأثیر پوشش‌های گیاهی مختلف قرار می‌گیرد. آنها عنوان کردند که پوشش‌های صنوبر و راش بیشترین تأثیر را بر این ویژگی‌ها داشتند. گاور و سان (۱۵) در نتایج تحقیقات خود اعلام داشتند که گونه‌های سوزنی برگ و پهن برگ که به‌صورت خالص در یک خاک کاشته می‌شوند دینامیک و تحول کربن آلی را در خاک تغییر می‌دهند. زاهدی (۳۰) تأثیر نوع پوشش جنگلی را بر مقدار ترسیب کربن در منطقه‌ای از بلژیک مورد مطالعه قرار داده و نتیجه گرفتند که ترسیب کربن در لایه‌های آلی خاک در توده راش- بلوط بیش از توده افرا- زبان گنجشک بوده است. تورنر و لمبرت (۲۶) کمترین مقدار کربن آلی سطحی را در خاک تحت پوشش صنوبر در مقایسه با پوشش درختی قدیمی مجاور با پوشش اکالیپتوس مشاهده کردند. آنها نتیجه گرفتند که مقدار کربن آلی ذخیره شده در عمق‌های مختلف خاک تغییرات متفاوتی را در مدت ۲۰ ساله تثبیت پوشش درختی در منطقه مورد مطالعه نشان داده است.

مراقبی و همکاران(۲) با بررسی مقدار ماده آلی در خاک مناطق جنگل‌کاری شده با اکالیپتوس، سرو نقره‌ای و صنوبر اعلام داشتند که مقدار ماده آلی در منطقه جنگل کاری اکالیپتوس بیشتر از منطقه سرو نقره‌ای و کمتر از صنوبر بود. آنها گزارش کردند که اسیدیته کل خاک در مناطق کاشت اکالیپتوس بیشتر از مناطق کاشت سرو نقره‌ای و صنوبر بود. شعبانیان و همکاران(۱)، در بررسی و مقایسه تنوع گونه‌های گیاهی پهن برگ (زبان گنجشک و اقاقیا) و سوزنی برگ (سرو نقره‌ای و سرو خمره‌ای) در منطقه دوشان سنندج گزارش کردند که

بیشترین مقدار کربن آلی در خاک جنگل کاری گونه‌های پهن برگ دیده شده است.

با توجه به این‌که اکوسیستم‌های جنگلی بیشتر از سایر انواع کاربری‌ها قادر به جذب کربن بوده و از آنجا که ترسیب کربن در خاک‌های جنگلی و کربن آلی شده اتمسفری نقش مهمی در چرخه کربن ایفا می‌کند، و از طرفی با توجه به ظرفیت بالای اکوسیستم جنگل در ذخیره و حفظ کربن و کاهش آثار گلخانه‌ای، جنگل آموزشی- پژوهشی خیرودکنار، در استان مازندران به‌عنوان یک انتخاب و ارتباط بین ذخایر کربن و نوع تیپ جنگلی در آن بررسی شد. این منطقه با دارا بودن مواد مادری یکسان و هم‌چنین تغییرات مشخص ارتفاعی و نوع تیپ جنگلی یکی از مناطق شاخص برای برآورد مقدار ذخیره کربن و ارتباط آن با نوع تیپ جنگلی بوده که در این تحقیق بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

جنگل خیرودکنار واقع در استان مازندران در فاصله ۷ کیلومتری شرق نوشهر بین ′۲۷ °۳۶ تا ′۴۰ °۳۶ عرض شمالی و ′۳۲ °۵۱ تا ′۴۳ °۵۱ طول شرقی قرار دارد. مقدار بارندگی سالیانه منطقه ۱۳۵۴/۵ میلی‌متر است، رژیم رطوبتی خاک یودیک و رژیم حرارتی خاک در ارتفاعات صفر و ۳۵۰ متر از سطح دریا ترمیک و در ارتفاعات ۷۰۰ و ۱۰۵۰ متری از سطح دریا مزیک بوده و میانگین دمای سالیانه آن ۱۵/۹درجه سانتی‌گراد است. مهم‌ترین بخش پوشش گیاهی این ناحیه شامل درختان جنگلی است. جوامع گیاهی با تیپ‌های گیاهی تفکیک شده در جنگل خیرودکنار شامل جوامع راشستان، جامعه بلوط- ممرزستان، جامعه انجیلی- ممرزستان، جامعه نمدار- شمشادستان و جامعه افراستان است که نیمرخ‌های مطالعه شده در این سه تیپ جنگلی راش- ممرزستان، بلوط- ممرزستان و انجیلی- ممرزستان قرار گرفته‌اند. جدول ۱ چگونگی پراکنش تیپ‌های جنگلی مورد مطالعه را در جنگل خیرودکنار نشان می‌دهد.

به منظور نمونه‌برداری از خاک با توجه به مطالعات موجود در خصوص تیپ جوامع جنگلی و ارتفاع از سطح دریا از ارتفاع ۲۰۰ تا ۱۲۰۰ متر بالاتر از سطح دریا با فاصله تقریباً ۱۰۰ متر تعداد ۱۰ نیمرخ حفر گردید. مطالعه ویژگی‌های مورفولوژیکی در هر یک از جوامع مطابق روش استاندارد(۲۵) اقدام گردید. حتی الامکان سعی گردید نیمرخ‌های مطالعه شده در یک جهت قرار گرفته تا تأثیر جهت شیب برای همه آنها یکسان باشد. نمونه‌های مقاطع مطالعه شده به تعداد ۵۴ نمونه و ۵۰ نمونه سطحی جمع‌آوری شده به آزمایشگاه ارسال شدند. کربن آلی به روش سوزاندن تر و مقدار مواد آلی نیز از ضرب کردن درصد کربن آلی در عدد ۱/۷۲ به‌دست آمد. مقدار پایداری خاکدانه با استفاده از روش الک تر و چگالی ظاهری به روش کلوخه محاسبه گردید(۶). تفکیک ترکیبات آلی- معدنی اولیه (ذرات هم اندازه شن، سیلت و رس)، با استفاده از دستگاه فراصوت به‌مدت ۷ دقیقه روی ۳۰ گرم خاکدانه در اندازه ۴/۷۵ تا ۶ میلی‌متر انجام شد. سوسپانسیون مورد نظر، از الک ۰/۰۵۳ میلی‌متر عبور داده شد. تا ذرات شن و مواد آلی ذره‌ای از آن جدا گردد. از روش رسوب و سیفون برای جداسازی ذرات رس از سیلت استفاده گردید (۵). پس از تفکیک فیزیکی ماده آلی خاک، کربن به روش اکسیداسیون مرطوب و ازت آلی به روش هضم در اسید در ذرات هم اندازه رس، سیلت و شن اندازه‌گیری شد.

پس از تکمیل آزمایش‌های متفاوت مربوط به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در آزمایشگاه، کلیه ویژگی‌های خاک که در آزمایشگاه و یا در حین مطالعات مرفولوژیکی در جنگل مشخص گردیده و می‌توانستند به‌صورت اعداد کمی در آیند در تجزیه و تحلیل آماری به‌کار گرفته شدند. برای تجزیه و تحلیل‌های آماری از روش تجزیه واریانس ANOVA با استفاده از نرم‌افزار SAS استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش توکی انجام شد.

نتایج و بحث

مطالعات ریخت‌شناسی در نیمرخ‌های حفر شده برای تعیین رده خاک‌های مورد مطالعه نشان داد که خاک‌های موجود در تیپ

جدول۱. وضعیت تیپ‌های جنگلی در ارتباط با برخی از مهم‌ترین خصوصیات توپوگرافی در منطقه مورد مطالعه

تیپ‌های جنگلی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	جهت شیب	درصد شیب
انجیلی- ممرز	۱۵۰ تا ۷۰۰	اکثراً در شیب غربی، شرقی و جنوبی و ندرتاً در شیب شمالی	در روی شیب‌های مختلف ظاهر می‌شوند.
بلوط- ممرز	۶۵۰ تا ۹۰۰ ×۱۰۰۰ تا ۱۱۰۰	اکثراً در شیب غربی و جنوبی، × ندرتاً در شیب شمالی	در روی شیب‌های مختلف ظاهر می‌شوند.
راش- ممرز	۹۰۰ تا ۱۴۰۰	اکثراً در شیب غربی و شمالی، ندرتاً در شیب جنوبی	در روی شیب‌های مختلف ظاهر می‌شوند.

راش- ممرز و بلوط- ممرز در رده آلفی‌سول قرار گرفته و در سطوح تحت رده و گروه بزرگ از همدیگر متمایز می‌شوند، نیمرخ‌های مطالعه شده در تیپ انجیلی- ممرز در رده مالی‌سول قرار داشتند (جدول ۲). دربرخی از نیمرخ‌های حفر شده در تیپ راش- ممرز شرایط گلی (حضور منقوطه‌های رنگی به مقدار زیاد مشاهده گردید که به چگونگی موقعیت قرارگیری خاک بر روی زمین‌نما مرتبط می‌شود. در خاک‌های آلفی سول به‌طور متوسط در عمق ۴۰ سانتی‌متر به پایین افق آرجلیک عمیق و پوسته‌های رسی و کوتان‌ها مشخص و قابل مشاهده هستند، که به‌واسطه بارندگی شدید شستشوی رس و تجمع آن به‌صورت افق‌های آرجلیک دور از انتظار نیست. فرآیندهای غالب در منطقه مورد مطالعه شامل فرآیندهای هوموسی شدن(نیمرخ‌های ۴، ۶ و ۱۰)، اضافه شدن بقایای گیاهی (نیمرخ‌های ۳، ۴، ۵، ۹ و ۱۱) و تشکیل و تجمع رس به‌صورت افق آرژلیک (تمام نیمرخ‌ها به‌جز نیمرخ شماره ۱) است که این به‌دلیل بارندگی زیاد در منطقه است که شرایط را برای شستشوی رس و تشکیل کوتان و پوسته‌های رسی فراهم می‌کند.

جدول ۳ مقدار ذخیره کربن در افق‌های آلی و معدنی در نیمرخ‌های شاهد جوامع جنگلی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. برای این منظور از بخش‌های آلی و معدنی ۱۰ نیمرخ مطالعه شده در ضخامت‌های یکسان نمونه‌های دست خورده و دست نخورده جمع‌آوری و در آن مقدار کربن آلی و وزن مخصوص ظاهری اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد که مقدار ظرفیت کربن اختلاف معنی‌داری با نوع تیپ جنگلی داشته و مقدار ذخیره کربن در افق‌های آلی در تیپ جنگلی انجیلی- ممرز بیشترین مقدار و در تیپ راش- ممرز کمترین مقدار بود. این در حالی است که در افق‌های معدنی تیپ راش- ممرز بیشترین مقدار ذخیره کربن مشاهده شد (شکل ۱).

مقدار کل ذخیره کربن (آلی + معدنی) در خاک‌های تحت پوشش راش- ممرز بیشتر از انجیلی- ممرز و بلوط- ممرز بود. طبق مطالعات مورفولوژیکی بالا بودن مقدار کربن آلی در لایه آلی سطحی در جامعه انجیلی- ممرز ارتباط مستقیم با تجمع ماده آلی در افق مولیک در این خاک‌ها دارد، این در حالی است که در جوامع راش- ممرز و بلوط- ممرز تشکیل کمپلکس بین رس و هوموس انتقالی از افق‌های رویین باعث افزایش مقدار کربن آلی اندازه‌گیری شده در این پوشش‌های جنگلی شده است، این نتایج با نتایج برگر و همکاران(۴) و لاوت و همکاران(۲۳) در خصوص ذخیره کربن آلی در پوشش‌های مختلف جنگلی از جمله راش و بلوط مطابقت دارد.

برگر و همکاران(۴) در مطالعه خود در مقایسه گونه‌های درختی در بخش‌های مرکزی و غربی اروپا اظهار داشتند که مقدار کربن آلی در گونه‌های راش و صنوبر با یکدیگر تفاوت معنی‌داری داشته و این ویژگی در گونه صنوبر به مراتب بیشتر بوده است. لاوت و همکاران(۲۳)، در مطالعه خود در شمال آمریکا تفاوت معنی‌داری را در مقدار کربن و ازت آلی در خاک‌های تحت پوشش راش، افرا و بلوط گزارش کردند. آنها بیشترین مقدار ذخیره کربن را در گونه راش مشاهده کردند.

جدول۲. رده‌بندی و پوشش جنگلی غالب نیمرخ‌های حفر شده

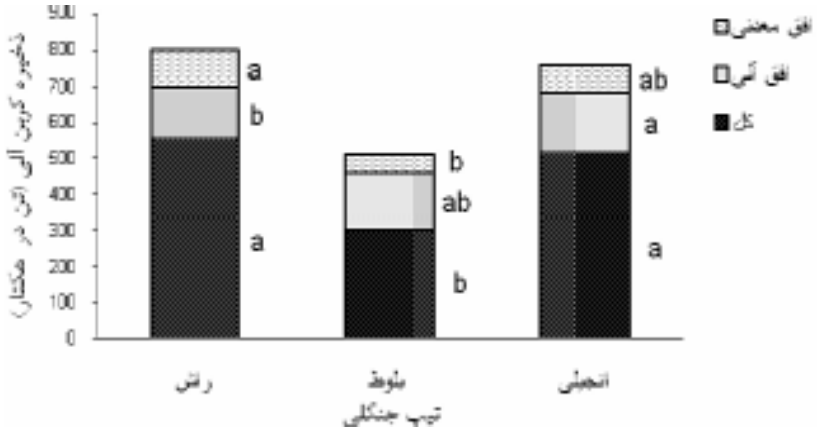
نیمرخ	ارتفاع از سطح دریا (متر)	پوشش جنگلی غالب	رده‌بندی خاک (۲۰۱۰)
۲	۲۷۶	انجیلی- ممرزستان	Typic Haplrendolls
۳	۴۰۰	انجیلی- ممرزستان	Aqualitic Hapludalf
۴	۴۷۵	بلوط- ممرزستان	Typic Hapludalf
۵	۶۰۰	بلوط- ممرزستان	Typic Hapludalf
۶	۸۰۰	بلوط- ممرزستان	Typic Paleudalf
۷	۱۱۰۰	بلوط- ممرزستان	Lithic alfic Eutrudalf
۸	۷۵۰	راش- ممرزستان	Mollic Hapludalf
۹	۸۷۰	راش- ممرزستان	Mollic Hapludalf
۱۰	۱۰۰۰	راش- ممرزستان	Typic Hapludalf
۱۱	۱۱۲۰	راش- ممرزستان	Typic Paleudalf

جدول ۳. مقدار ذخیره کربن (تن در هکتار) در نیمرخ‌های حفر شده براساس تیپ جنگلی

شماره نیمرخ	تیپ جنگلی	مقدار ذخیره کربن (تن در هکتار)		
		افق آلی	افق معدنی	مجموع
۲	انجیلی- ممرز	۱۶۷/۴	۷۵/۴۵	۵۱۴/۴
۷	بلوط- ممرز	۱۵۷/۵	۴۸/۳	۳۰۲/۸
۱۰	راش- ممرز	۱۴۱/۹	۱۰۳	۵۵۳/۹
P		۰/۰۳۷۰*	۰/۰۰۱۴**	۰/۰۰۲۹**

*: معنی‌داری در سطح ۵ درصد آماری

**: معنی‌داری در سطح ۱ درصد آماری



شکل۱. مقدار ذخیره کربن آلی در افق‌های آلی و معدنی تیپ‌های جنگلی مورد مطالعه

نتایج مقایسه میانگین داده‌های حاصل از اندازه‌گیری مقدار کربن آلی در بخش‌های رس، سیلت و شن نشان داد که مقدار کربن بخش شن در تیپ جنگلی راش- ممرز به‌ترتیب ۳۱ و ۲۱ درصد از تیپ‌های بلوط- ممرز و انجیلی- ممرز بیشتر بود. با این وجود اختلاف مقدار کربن بخش شن در پوشش‌های گیاهی مختلف از نظر آماری معنی‌دار نشد. براساس این نتایج بخش رس خاک‌های مورد مطالعه حاوی بیشترین مقدار کربن آلی بوده که این مقدار در تیپ راش- ممرز به‌ترتیب ۱/۰۷ و ۲/۲ برابر، در تیپ بلوط- ممرز به‌ترتیب ۱/۳۴ و ۲/۱۹ برابر و در تیپ انجیلی- ممرز به‌ترتیب ۱/۴۵ و ۲/۵۴ برابر کربن اجزای سیلت و شن بود.

جدول ۴ نتایج مقایسه میانگین‌های درصد توزیع کربن در ذرات اولیه خاک در سه تیپ جنگلی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بر این اساس درصد توزیع کربن در ذرات اولیه خاک در هر سه تیپ جنگلی در سطح آماری ۵ درصد معنی‌دار شد. نتایج نشان داد که در هر سه پوشش جنگلی توزیع کربن در بخش رس نسبت به بخش سیلت و شن بیشترین مقدار را دارا بوده و بیشترین مقدار آن در پوشش جنگلی انجیلی با ۵۴/۰۳ درصد اندازه‌گیری شد، با این‌حال اثر پوشش گیاهی بر درصد توزیع وزنی کربن در بخش رس معنی‌دار نبود.

توزیع کربن آلی در بخش سیلت و شن نسبت به تیپ‌های جنگلی مختلف در سطح آماری ۵ درصد معنی‌دار شد. درصد توزیع کربن در تیپ جنگلی بلوط- ممرز با مقدار ۳۶/۴ درصد بیشترین مقدار را دارا بود و به‌ترتیب ۱۰/۴ و ۲۱/۲ درصد بیشتر از تیپ‌های جنگلی راش- ممرز و انجیلی- ممرز بود. بیشترین توزیع کربن در بخش شن در تیپ جنگلی راش- ممرز با مقدار ۱۹ درصد دیده شد (شکل۲).

مقایسه بین درصد توزیع کربن در اجزای معدنی در تیپ‌های گیاهی مختلف حاکی از آن است که در هر سه تیپ جنگلی راش- ممرز، انجیلی- ممرز و بلوط- ممرز مقدار کربن روند مشابه وجود دارد و بخش‌های رس، سیلت و شن بیشترین مقادیر کربن را دارا هستند. کربن بخش رس در تیپ راش- ممرز به‌ترتیب ۱/۴۸و ۲/۵۴ برابر در تیپ جنگلی بلوط- ممرز به‌ترتیب ۱/۲۸ و ۲/۷۴ برابر و در تیپ انجیلی- ممرز به‌ترتیب ۱/۸۸و ۳/۱۲ برابر کربن اجزای سیلت و شن بود.

جیمز و همکاران (۱۹) در مطالعه غلظت و مقدار ذخیره کربن آلی خاک در اجزای خاک تا عمق ۵۰ سانتی‌متر در چهار نوع تیپ جنگلی در شمال شرقی کاستاریکا نتیجه گرفتند که بخش سیلت ریز و رس بیشترین مقدار توزیع کربن آلی را در همه تیپ‌های جنگلی دارا بوده و بعد از آن بخش سیلت درشت و شن قرار دارد.

نتایج مقایسه میانگین‌های فاکتور غنی شدن کربن در سه بخش رس، سیلت و شن در سه تیپ جنگلی متفاوت نشان داد که فاکتور غنای کربن در هر سه بخش نسبت به تیپ جنگلی در سطح آماری ۵ درصد معنی‌دار شده است. نتایج نشان داد که بین سه تیپ جنگلی متفاوت از لحاظ غنای کربن در اجزای مختلف ذرات خاک تفاوت آماری معنی‌داری وجود دارد (جدول ۵). غنای کربن بخش شن تیپ راش- ممرز، تیپ انجیلی- ممرز و تیپ بلوط- ممرز به‌ترتیب ۱/۵۹، ۱/۵ و ۱/۴۵ بوده که این نسبت در تیپ راش- ممرز ۸/۸ درصد بیشتر از تیپ بلوط- ممرز است. در حالی‌که غنای کربن در تیپ انجیلی–ممرز با دو تیپ جنگلی دیگر فاقد تفاوت معنی‌دار بود. در هر سه تیپ جنگلی فاکتور غنی شدن کربن در بخش رس کمتر از یک بود که نشان‌دهنده تهی شدن کربن در این بخش از خاک است. فاکتور غنی شدن کربن در بخش سیلت در دو تیپ جنگلی راش- ممرز و بلوط- ممرز فاقد تفاوت معنی‌دار بود، ولی به‌طور معنی‌دار کمتر از تیپ انجیلی- ممرز بود. رابطه مقدار غنای کربن در بخش رس و تیپ جنگلی از نظر آماری معنی‌دار نشد، اما بیشترین غنای کربن در بخش رس خاکدانه‌های مربوط به تیپ راش- ممرز مشاهده شد. در تیپ جنگلی انجیلی- ممرز بیشترین ضریب غنای کربن در بخش سیلت با مقدار ۱/۱۴ درصد دیده شد که به‌ترتیب ۷ درصد و ۱۲/۳ درصد بیشتر از تیپ بلوط- ممرز و راش- ممرز بود. بر این اساس بیشترین و کمترین مقدار غنای کربن به‌ترتیب در

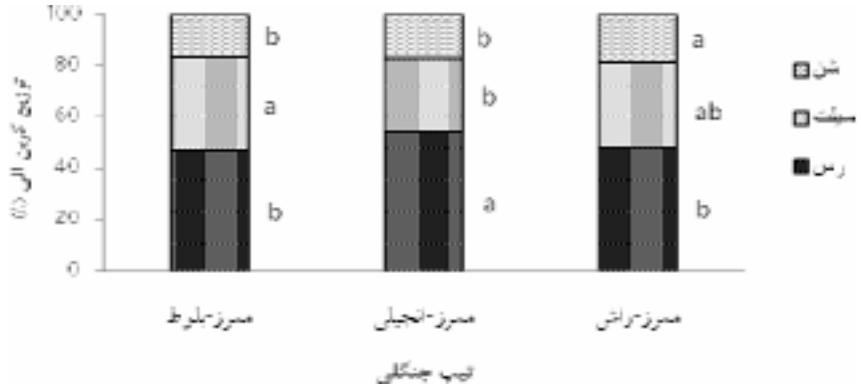
جدول ۴. نتایج مقایسه میانگین‌های درصد توزیع کربن در سه بخش رس، سیلت و شن در سه تیپ جنگلی

اجزای معدنی خاک	راش- ممرز	بلوط- ممرز	انجیلی- ممرز	P
رس	۴۸/۴ [b]	۴۶/۶ [b]	۵۴/۰۳ [a]	۰/۰۰۱۲[**]
سیلت	۳۲/۶ [ab]	۳۶/۴ [a]	۲۸/۶۷ [b]	۰/۰۲۳[*]
شن	۱۹ [a]	۱۷ [b]	۱۷/۳ [b]	۰/۰۳۷۰[*]

[*]: میانگین‌هایی که در یک حرف مشترک می‌باشند اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

[*]: معنی‌داری در سطح ۵ درصد آماری

[**]: معنی‌داری در سطح ۱ درصد آماری



شکل ۲. تغییرات درصد توزیع کربن در سه بخش معدنی خاک در تیپ‌های جنگلی

جدول ۵. نتایج مقایسه میانگین‌های فاکتور غنی شدن کربن در سه بخش رس، سیلت و شن در سه تیپ جنگلی

اجزای معدنی خاک	راش- ممرز	بلوط- ممرز	انجیلی- ممرز	P
رس	۰/۸۸ [a]	۰/۸۶ [a]	۰/۸۵ [a]	
سیلت	۱/۰۰ [b]	۱/۰۶ [b]	۱/۱۴ [a]	۰/۰۲[*]
شن	۱/۵۹ [a]	۱/۴۵ [b]	۱/۵ [ab]	۰/۰۱۲۱[*]

[*]: میانگین‌هایی که در یک حرف مشترک می‌باشند اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

[*]: معنی‌داری در سطح ۵ درصد آماری

بخش شن و در بخش رس دیده شد که تفاوت مقدار بیشینه و کمینه غنای کربن ۴۶/۵ درصد محاسبه شد. در نیمرخ‌های مطالعه شده مشاهده گردید که با افزایش عمق، کربن آلی خاک کاهش یافته است. متوسط مقدار کربن در افق سطحی ۵۷/۹۵ درصد بیشتر از متوسط مقدار کربن آلی در افق‌های تحتانی بود. پاگت و لال (۲۴) مشاهده کردند که توزیع مقدار کربن آلی به‌طور معنی‌داری با عمق نیمرخ تغییر کرده به‌طوری‌که بیشترین مقدار کربن آلی در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر مشاهده می‌شود. کاراواکا و همکاران (۷) حداکثر عمق تجمع کربن آلی را در خاک عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متر گزارش کردند.

مقدار کربن آلی خاک در افق‌های زیرین معدنی با تیپ جنگلی در سطح آماری ۵ درصد ارتباط معنی‌داری را نشان داد

جدول ۶. میانگین برخی از ویژگی‌های خاک در عمق‌های مختلف و مقایسه آنها در تیپ‌های جنگلی متفاوت براساس روش توکی

ویژگی خاک و عمق	راش- ممرز	انجیلی- ممرز	بلوط- ممرز	P
خصوصیات افق A				
درصد کربن آلی	۷/۲۱	۷/۸۹	۶/۱۷	ns
پایداری خاکدانه	۳/۹۳	۴/۷۹	۳/۳۹	ns
وزن مخصوص ظاهری	۱/۲۳^{ab}	۱/۲۱ ^{b}	۱/۲۷^{a}	۰/۰۴۷۵ *
خصوصیات افق دوم (B1)				
درصد کربن آلی	۳/۸۷ ^{a}	۲/۸۱ ^{ab}	۱/۷۲ ^{b}	۰/۰۰۲۹**
پایداری خاکدانه	۳/۷۷ ^{a}	۳/۲۷ ^{a}	۱/۶۶ ^{b}	۰/۰۰۱۴**
وزن مخصوص ظاهری	۱/۲۵	۱/۲۹	۱/۲۹	ns
خصوصیات افق سوم (B2)				
درصد کربن آلی	۲/۲۸ ^{a}	۲/۰۵^{ab}	۱/۵۸ ^{b}	۰/۰۳۷۰*
پایداری خاکدانه	۲/۹۱ ^{a}	۲/۱۱ ^{ab}	۱/۹۷ b	۰/۰۲۶۲*
وزن مخصوص ظاهری	۱/۲۹	۱/۳۲	۱/۳۶	ns

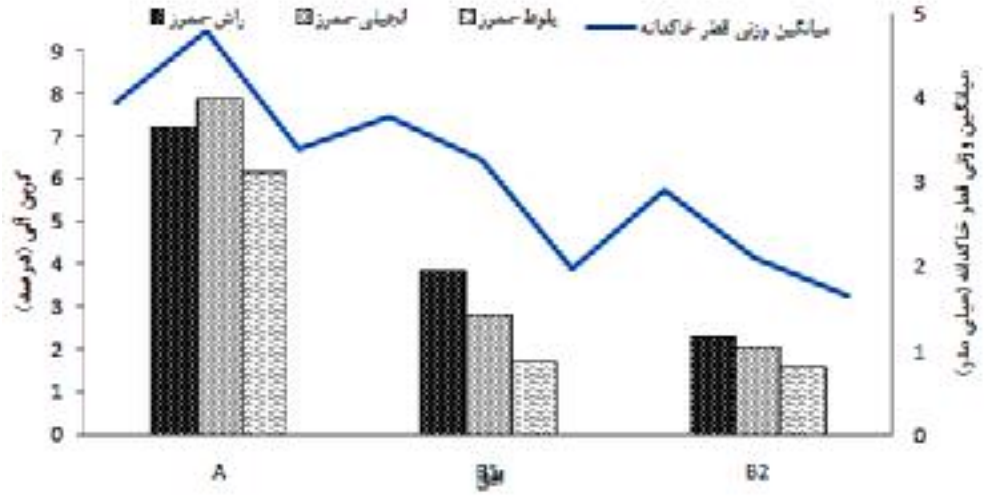
*: میانگین‌هایی که در یک حرف مشترک هستند اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

*: معنی‌داری در سطح ۵ درصد آماری

**: معنی‌داری در سطح ۱ درصد آماری

(جدول ۶). بیشترین مقدار کربن آلی در افق سطحی در تیپ انجیلی- ممرز با ۷/۸۹ درصد کربن آلی بود، که به‌ترتیب ۳/۴ و ۲۱/۸ درصد بیشتر از تیپ جنگلی راش- ممرز و بلوط- ممرز محاسبه شد. در افق‌های معدنی کربن آلی در تیپ راش- ممرز به‌ترتیب ۲۷/۳ و ۵۵/۵ درصد بیشتر از تیپ انجیلی- ممرز و بلوط- ممرز بود. مقدار متوسط کربن آلی در افق‌های معدنی و آلی تیپ راش- ممرز با مقدار ۴/۶۸ درصد در مقایسه با دو تیپ جنگلی بیشترین مقدار بود (شکل ۳). طبق اظهارات فیشر و بینکلی (۱۳) اساساً شدت تجزیه مواد آلی به فعالیت میکروارگانیسم‌ها و عوامل متعددی از جمله شرایط آب و هوایی و مقدار بارندگی و درجه حرارت محیط و علاوه بر آن به گونه‌های درختی یک منطقه مرتبط است. هانتوریا و همکاران (۱۷) به نقل از دای و هوانگ (۱۰) اظهار داشتند که نوع پوشش گیاهی و توپوگرافی روی مقدار کربن آلی خاک تأثیر می‌گذارند.

خاکدانه‌سازی و پایداری خاکدانه‌ها به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر عمق نیمرخ خاک، مقدار کربن آلی افق‌ها و نوع تیپ جنگلی قرار داشت. مقدار میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها با افزایش عمق نیمرخ خاک و کاهش درصد کربن آلی کاهش نشان داد. کاراواکا و همکاران (۷)، رایت و هانس (۲۹)، توریون و همکاران (۲۷) و عمادی و همکاران (۱۲) هم‌بستگی مثبتی بین مقدار کربن آلی و پایداری خاکدانه گزارش کردند. براساس پژوهش‌های کریستنسن (۸)، ماده آلی با پوشاندن سطح خاکدانه‌ها، سرعت مرطوب شدن آنها را کاهش داده و از آنها در برابر پدیده فروپاشی در آب محافظت می‌کند. فرانزلوبرز (۱۴) نشان داد که افزودن ماده آلی به خاک باعث افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در دو عمق صفر تا سه و شش تا ۱۲ سانتی‌متر شده و رابطه بین کربن آلی خاک و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها یک رابطه غیرخطی بود. در افق سطحی میانگین وزنی قطر خاکدانه در تیپ انجیلی- ممرز با مقدار ۴/۷۹ میلی‌متر به‌ترتیب ۱/۲۲ و ۱/۴۱ برابر بیشتر از تیپ‌های



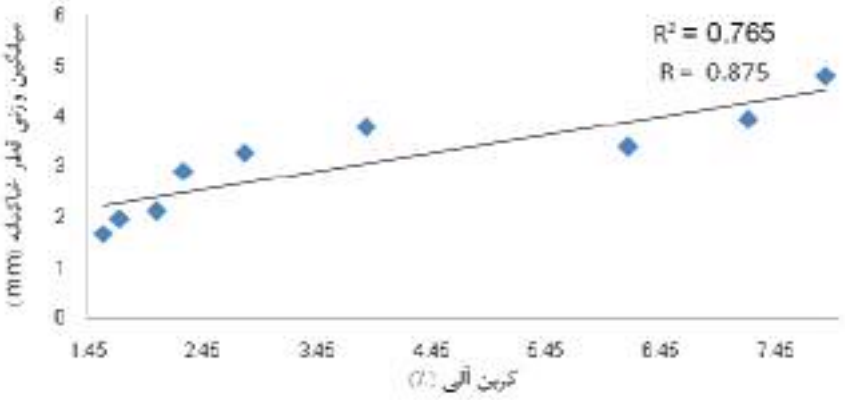
شکل ۳. نمودار تغییرات مقدار کربن آلی و میانگین وزنی قطر خاکدانه با عمق در تیپ‌های جنگلی متفاوت

راش- ممرز و بلوط- ممرز بود. تیپ راش- ممرز در افق‌های زیرین بیشترین میانگین وزنی قطر خاکدانه را داشت. متوسط وزنی قطر خاکدانه در افق‌های زیرین در سه تیپ راش- ممرز، انجیلی- ممرز و بلوط- ممرز به‌ترتیب ۳/۷۷، ۲/۲۷ و ۱/۶۶ میلی‌متر بود که در تیپ راش- ممرز ۳۹/۸۷ درصد بیشتر از تیپ انجیلی- ممرز و ۵۰/۷۴ درصد بیشتر از تیپ بلوط- ممرز بود. در افق‌های زیرین میانگین وزنی قطر خاکدانه در تیپ راش- ممرز به‌ترتیب ۲۷/۴۹ و ۳۲/۳ درصد بیشتر از این مقدار در تیپ‌های انجیلی- ممرز و بلوط ممرز بود. هم‌بستگی مثبت و بالایی بین مقدار کربن آلی و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در سه نوع تیپ جنگلی دیده شد به‌طوری‌که ضریب هم‌بستگی ۰/۸۷۵ به‌دست آمد که از رابطه نسبتاً بالایی برخوردار هستند(شکل ۴ و جدول ۷).

مقدار زیاد رس، باعث تشکیل خاکدانه‌های بزرگ و متراکم گردید و این نشان‌دهنده حفاظت از ماده آلی ذره‌ای در برابر تخریب میکروبی در مرحله اولیه تجزیه است. در مقادیر کم رس و تشکیل خاکدانه‌های بزرگ با پایداری کم، تخریب با درجه بالا صورت می‌گیرد و در نتیجه ماده آلی ذره‌ای کمتری در خاکدانه محافظت می‌شود (۲۸).

ماده آلی به تدریج ساختمان فیزیکی با تخلخل بیشتر را سبب شده و در نتیجه جرم معینی از خاک در حجم بیشتری تظاهر می‌نماید. چگالی ظاهری خاک با افزایش عمق افزایش نشان داده است که دلیل آن کاهش کربن آلی با عمق خاک و یا وزن طبقات رویین خاک است (شکل ۳). هم‌چنین در خاک‌های جنگلی فعالیت بیشتر ریزجانداران سبب افزایش حفرات شده و لاشبرگ‌ها و بقایای گیاهی جمع شده در سطح خاک بکر از فشرده شدن خاک در اثر اصابت قطرات باران به خاک جلوگیری می‌کند. پاگت و لال (۲۴) نیز در مطالعه خود در یک خاک مالی سول در اوهایو افزایش مقدار چگالی ظاهری خاک را با افزایش عمق نیمرخ گزارش کردند.

تغییرات چگالی ظاهری خاک در افق سطحی نسبت به تیپ جنگلی معنی‌دار شده به‌طوری‌که بیشترین مقدار آن در تیپ جنگلی بلوط- ممرز با مقدار ۱/۲۷ و کمترین مقدار آن در تیپ انجیلی- ممرز با مقدار ۱/۲۱ دیده شد. در این افق مقدار کربن آلی در تیپ بلوط- ممرز ۲۱/۸ درصد کمتر از مقدار کربن در تیپ انجیلی- ممرز بود که می‌توان این افزایش چگالی ظاهری در تیپ بلوط- ممرز را به مقدار کربن آلی آن نسبت داد. با توجه به مقدار کربن آلی در هر تیپ جنگلی و هم‌چنین ارتفاع می‌توان اظهار کرد که با افزایش مقدار کربن آلی، چگالی ظاهری خاک کاهش یافته است(جدول ۸، شکل۵). نتایج

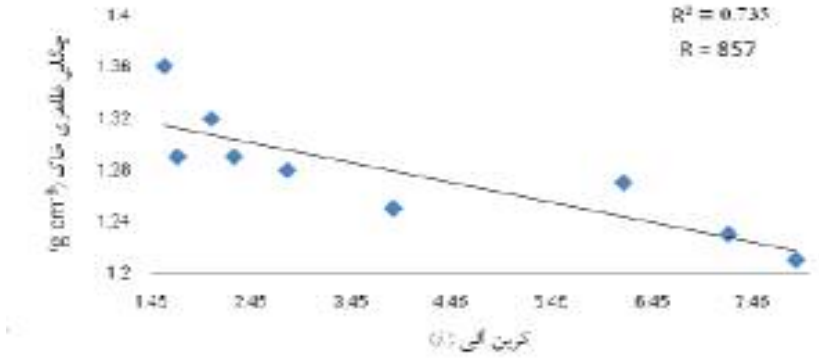


شکل ۴. نمودار تغییرات میانگین وزنی قطر خاکدانه با تغییرات کربن آلی در تیپ‌های جنگلی

جدول ۷. معادلات رگرسیون خطی بین مقدار کربن آلی و میانگین وزنی قطر خاکدانه در تیپ‌های جنگلی متفاوت

تیپ جنگلی	رابطه بدست آمده	r^2	r
راش- ممرز	$OC = ۳/۸۳۸۳\ MWD - ۹/۱۲۱۴$	۰/۷۰	۰/۸۳۷**
انجیلی- ممرز	$OC = ۲/۲۳۷۸\ MWD - ۳/۳۳۶۲$	۰/۹۰	۰/۹۴۷**
بلوط- ممرز	$OC = ۲/۸۰۱۶\ MWD - ۳/۳۹۹$	۰/۹۸	۰/۹۹۰**

**: معنی‌دار شده در سطح ۱ درصد



شکل ۵. نمودار تغییرات چگالی ظاهری خاک با تغییرات کربن آلی در تیپ‌های جنگلی

جدول ۸. معادلات رگرسیون خطی بین مقدار کربن آلی و چگالی ظاهری خاک در تیپ‌های جنگلی متفاوت

تیپ جنگلی	رابطه بدست آمده	r^2	R
راش- ممرز	$OC= -۷۶/۱۰۷\ BD + ۱۰۰/۰۹$	۰/۹۸۸	۰/۹۹۴**
انجیلی- ممرز	$OC= -۵۵/۲۹\ BD + ۷۴/۴۶۹$	۰/۷۱۸	۰/۹۴۷**
بلوط- ممرز	$OC = -۳۸/۲۰۱\ BD + ۵۳/۰۷۳$	۰/۹۰۹	۰/۹۵۳**

**: معنی‌دار شده در سطح ۱ درصد

هم‌بستگی رابطه منفی و معنی‌داری را بین مقدار کربن آلی و چگالی ظاهری خاک نشان داد. معادلات رگرسیون خطی در تیپ‌های جنگلی متفاوت در جدول ۸ ارائه شده است. وستردال و همکاران (۲۸) تغییرات چگالی ظاهری خاک را در خاک‌های تحت پوشش‌های درختی متفاوت گزارش کردند. آنها بیان کردند که چگالی ظاهری خاک تحت پوشش سوزنی برگ بیشتر از پهن برگان است که دلیل آن را مقدار کربن بیشتر در خاک تحت پوشش پهن برگ عنوان کردند.

بیشترین مقدار ذخیره کربن در افق آلی و افق‌های معدنی به‌ترتیب در خاک‌های تحت پوشش انجیلی- ممرز و راش- ممرز مشاهده شد. بیشترین مقدار کربن ذخیره شده در کل خاک در تیپ راش- ممرز به‌دست آمد. بیشترین مقدار میانگین وزنی قطر خاکدانه و کمترین مقدار چگالی ظاهری خاک در افق سطحی و افق‌های معدنی به‌ترتیب در تیپ انجیلی- ممرز و راش- ممرز دیده شد. می‌توان اظهار کرد از بین سه گونه درختی راش، بلوط و انجیلی گونه راش مؤثرترین گونه در ذخیره کربن و بهبود خصوصیات کیفی خاک است.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که اختلاف قابل توجهی در مقدار ذخیره کربن بین سه تیپ جنگلی مورد مطالعه وجود داشت.

منابع مورد استفاده

۱. شعبانیان، ن.،م. حیدری و م. زینی وندزاده. ۱۳۸۹. اثر جنگل‌کاری با گونه‌های سوزنی برگ و پهن برگ بر تنوع گونه‌های گیاهی و برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (مطالعه موردی: جنگل کاری دوشان سنندج). مجله تحقیقات جنگل و صنوبر ایران ۲(۱۸): ۴۴۶- ۴۳۷.

۲. مراقبی، ف.، س. علی احمد کروری و م. تیموری. ۱۳۸۰. بررسی اثرات دگر آسیبی اکالیپتوس، صنوبر و سرو نقره‌ای بر زیر اشکوب و برخی از خواص خاک در ایستگاه‌های شیخ نشین و سراوان استان گیلان. مجله پژوهش و سازندگی ۵۳(۱۴): ۲۴- ۳۴.

3. Akselsson, C., B. Berg, V. Meentemeyer and O. Westling. 2005. Carbon sequestration rates in organic layers of boreal and temperate forest soils-Sweden as a case study. Global Ecol. Biogeogr. 14: 77–84.
4. Berger, T.W., C. Neubauer and G. Glatzel. 2002. Factors controlling soil carbon and nitrogen stores in pure stands of Norway spruce (Picea abies) and mixed species stands in Austria. For. Ecol. Manage. 159: 3–14.
5. Bronick, G.L. and R. Lal. 2005. Manuring and rotation effect on soil organic carbon concentration for different aggregate size fractions on two soils northeastern Ohio, USA. Soil. Till. Res. 81: 239-252.
6. Burt, R. 2004. Soil survey laboratory methods manual. Version 4.0. Soil Survey Investigation Report. No. 42. U. S. Gov. Print.
7. Caravaca, F., A. Lax and J. Albaladejo. 2004. Aggregate stability and carbon characteristics of particle- size fractions in cultivated and forested soils of semiarid Spain. Soil and Till. Res. 83-90.
8. Christensen, B.T. 2004. Physical fractionation of soil and structural and function complexity in organic matter turn over. Eur. J. Soil Sci. 52: 345-353.
9. Cui, X. and Y. Wang, H. Niu, J. Wu, S. Wang, E. Schung, J. Rogasik, J. Fleckenstein and Y. Tang. 2005. Effect of long-term grazing on soil organic carbon content in semiarid steppes in Inner Mongolia. Ecol. Res. 20: 519-527.
10. Dai, W. and Y. Huang. 2006. Relation of soil organic matter concentration to climate and altitude in zonal soils of Chin. Catena 65: 87- 94.
11. de Vries, W., G.J. Reinds, P. Gundersen and H. Sterba. 2006. The impact of nitrogen deposition on carbon sequestration in European forests and forest soils. Global Change Biol. 12: 1151–1173.
12. Emadi, M., M. Baghernejad and H.R. Memarian. 2009. Effect of land use change on soil fertility characteristics within water-stable aggregates of two cultivated soils in Northern Iran. Land Use Policy 26: 452-457.
13. Fisher, R.F and D. Binkley. 2000. Ecology and Management of Forest Soils. 3rd ed., John Wiley and Sons Pub. Inc., 489 pp.

14. Franzluebbers, A.J. 2002. Water infiltration and soil structure related to organic matter and is stratification with depth. Soil Till. Res. 66: 197-205.
15. Gower, S.T. and Y. Son. 1992. Differences of soil and leaf litterfall nitrogen dynamics for five forest plantation. Soil Sci. Soc. Am. 56: 1956-1966
16. Han, G., X. Hao, M. Zhao, M. Wang, B.H. Ellert, W. Willms and M. Wang. 2008. Effects of grazing intensity on carbon and nitrogen in soil and vegetation in a meadow steppe in Inner Mongolia. Agric., Ecosys. and Environ. 125: 21-32.
17. Hantoria, C., J.C. Rodriguez-Murillo and A. Saa. 1999. Relationships between soil organic carbon and site characteristics in peninsular Spain. Soil Sci. Soci. Am. J. 63: 614-621.
18. Jandl, R., M. Lindner, L. Vesterdal, B. Bauwens, R. Baritz, F. Hagedorn, D.W. Johnson, K. Minkkinen and K.A. Byrne. 2007. How strongly can forest management influence soil carbon sequestration? Geoderma 137: 253–268.
19. Jemenez, J.J., R. Lal., R.O. Russo and H.A. Leblanc. 2008. The soil organic carbon in particle size separates under different regrowth forest stands of north eastern Costa Rica. Ecol. Eng. 34: 300-310.
20. Lal, R. 2007. Soil science and the carbon civization. Soil. Sci. Soc. Am. J. 71: 1425- 1437.
21. Lal, R. 2008. Carbon sequestration. Philosophical Transactions of the Royal Society B. 363: 815-830.
22. Lal, R., J.M. Kimble, R.F. Follet and V.R. Cole. 1998. The potential of US cropland to sequester carbon and mitigate the grean house effect. Sleeoing Bear Press, Ann Arbor, Chelsea, MI.
23. Lovett, G.M., K.C. Weathers, M.A. Arthur and J.C. Schultz. 2004. Nitrogen cycling in a northern hardwood forest: do species matter? Biogeochemistry 67: 289–308.
24. Puget, P. and R. Lal. 2005. Soil organic carbon and nitrogen in a Mollisol in central Ohio as affected by tillage and land use. Soil and Till. Res. 80: 201-213.
25. Schoenberger, P.J., D.A. Wysocki, E.D. Benham and W.D Broderson. 2002. Field book for describing and sampling soils. Natural Resource conservation service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.
26. Turner, J. and M. Lambert. 2000. Change in organic carbon in forest plantation soils in eastern Australia. Forest Ecol. and Manage. 133: 231- 247.
27. Turrion, M.B., K. Schneider and J.F. Gallardo. 2009. Carbon accumulation in umbrisols under QuercusPyrenaica forests: effect of bedrock and annual precipitation. Catena 79: 1-8.
28. Vesterdal, L., I.K. Schmidt, I. Callesen, L.O. Nilsson and P. Gundersen. 2008. Carbon and nitrogen in forest poor and mineral soil under six common European tree species. Forest Ecol. Manage. 255: 35– 48.
29. Wrighte, A.L. and F.M. Hons. 2005. Carbon and nitrogen sequestration and soil aggregation under sorghum cropping sequences. Biol. and Fertil. Soils 41: 95-100.
30. Zahedi, G.H. 1998. Relation Between Vegetation and Characteristics in a Mixed Hard Wood Stand. Academic Press, Ghent University (Behgium), 319 p.

J. Sci. & Technol. Agric. & Natur. Resour., Water and Soil Sci., Vol. 17, No. 63, Spring 2013, Isf. Univ. Technol., Isf., Iran.

The Effect of Vegetative Cover on Carbon Sequestration and Soil Properties in Khairoodkenar Region, Noshahr

Z. Fahim*, M. A. Delavar and A. Golchin[1]

(Received : June 8-2012 ; Accepted : June 23-2012)

Abstract

Organic carbon is the most important component of terrestrial ecosystems and any change in its abundance can have a major impact on the processes that take place in ecosystem. The aim of this study was to estimate carbon sequestration in three different elevations (200 to 1200 m from sea level) and according to vegetation type in the Khairoodkenar forest. The highest carbon sequestration was observed in the surface layer of a soil with *Fig-Carpinus betulus* vegetative cover and it was estimated to be 167.4 ton/ha. But when carbon sequestration was measured in soil solum, it was found that soils with *Fagus orientalis-Carpinus betulus* vegetation cover had the highest amount of organic carbon (514.4 ton/ ha). The results showed that clay fraction had the highest carbon content but the highest enrichment factor (1.59) was measured for sand fraction in soils with *Fagus orientalis- Carpinus betulus* vegetative cover. The highest organic carbon content (7.89%) and aggregate stability (MWD= 7.79mm) and lowest bulk density (1.21 g/cm^3) were measured in soils with *Figs- Carpinus betulus* vegetative cover.

Keywords: Soil organic carbon, Carbon sequestration, Soil properties.

1. Dept. of Soil Sci., College of Agric., Zanjan Univ., Zanjan, Iran.
*: Corresponding Author, Email: fahim_1264@yahoo.com