



دانشگاه گیلان، دانشکده منابع طبیعی گیلان

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و چهارم، شماره اول، ۱۳۹۶

<http://jwsc.gau.ac.ir>

اندازه‌گیری تغییرات مخازن فعال کربن آلی و برخی از خصوصیات خاک درختان جنگلی شمال ایران (پژوهش موردی: ایستگاه تحقیقات بذر و نهال گونه‌های جنگلی سلمان، استان گیلان)

*کریم آتش‌نما^۱، احمد گلچین^۲ و سیدعبداله موسوی‌کوپر^۳

^۱دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه زنجان، استاد گروه علوم خاک، دانشگاه زنجان،

^۲استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان

تاریخ دریافت: ۹۵/۲/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۲/۲۴

چکیده

سابقه و هدف: شناخت تأثیر متفاوت درختان جنگلی بر ویژگی‌های کیفی خاک، دورنمای کنترل سلامت خاک را در مدیریت‌های پایدار متصور می‌سازد و می‌توان ترمیم و رفع آسیب‌های وارده بر اکوسیستم‌های طبیعی را از طریق انتخاب صحیح گونه‌های درختی مدیریت نمود. در این پژوهش به منظور انتخاب گونه‌های درختی مناسب جنگل کاری، ایستگاه تحقیقات بذر و نهال گونه‌های جنگلی سلمان استان گیلان به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب و میزان ذخایر (موجودی) کربن آلی خاک^۱ و تأثیر گونه‌هایی از درختان پهن‌برگ و سوزنی‌برگ بر خصوصیات خاک مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت جهت معرفی شاخص‌های حساس کیفیت و سلامت خاک، مخازن فعال کربن آلی خاک مورد بررسی قرار گرفتند.

مواد و روش‌ها: پس از حفر خاک‌رخی‌هایی به عمق ۲۰۰ سانتی‌متر در خاک‌های تحت پوشش گونه‌های درختی مختلف، شامل کاج تدا (*Pinus taeda*)، دارتالاب (*Taxodium distichum*)، اُرس (*Juniperus polycarpos*)، توسکا (*Alnus glutinosa*)، بلوط بلندمازو (*Quercus castaneifolia*) و سفیدپلت (*Populus caspica*) نمونه‌برداری از ده لایه ۲۰ سانتی‌متری از سطح به عمق انجام شد. در نمونه‌های ۰-۲۰، ۲۰-۴۰، ۴۰-۶۰ و ۶۰-۸۰ سانتی‌متر میزان ظرفیت تبادل کاتیونی، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، هدایت الکتریکی، اسیدیته، چگالی ظاهری، کربن آلی و مخازن فعال (لبایل)^۲ اندازه‌گیری شدند و برای محاسبه میزان ذخایر (موجودی) کربن خاک نمونه‌های همه ضخامت‌های ۰-۲۰۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شدند. پس از تجزیه واریانس دوطرفه، داده‌ها بر اساس متغیرهای مستقل (گونه درختی و عمق) در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی مورد آنالیز آماری قرار گرفته و جهت تعیین شاخص‌های حساس کیفیت، روش همبستگی پیرسون مورد استفاده قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج اولیه بیانگر تأثیر خصوصیات خاک توسط گونه‌های درختی مورد پژوهش در طول عمق خاک بودند. به‌استثنای هدایت الکتریکی، اسیدیته و چگالی ظاهری نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر تأثیر معنی‌دار نوع

* مسئول مکاتبه: k_atashnama@znu.ac.ir

1- Soil organic carbon storage (Stocks)

2- Labile soil organic carbon pools

پوشش گیاهی و عمق خاک بر ویژگی‌های مورد بررسی بود. بیش‌ترین تأثیر نوع پوشش گیاهی بر ویژگی‌های مورد بررسی در ضخامت‌های سطحی خاک مشاهده گردید. در این رابطه و در مقایسه با سایر ضخامت‌های مورد بررسی، بیش‌ترین نوسانات در مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی و همچنین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها به ترتیب در خاک‌های تحت پوشش توسکا و ارس و توسکا و دارتالاب در ضخامت ۲۰-۰ سانتی‌متری مشاهده گردید. همچنین بیش‌ترین میزان نیتروژن کل و کربن آلی خاک به‌طور مشابه در ضخامت ۲۰-۰ سانتی‌متری به ترتیب در خاک‌های تحت پوشش توسکا < بلوط < سفیدپلت < ارس < دارتالاب < کاج تدا مشاهده شد. بیش‌ترین میزان ذخایر (موجودی) کربن تا عمق ۲۰۰ سانتی‌متری به مقدار ۲۰۶/۲۴ تن در هکتار و کم‌ترین مقدار به‌میزان ۱۳۶/۹۴ تن در هکتار به ترتیب در خاک‌های تحت پوشش توسکا و کاج تدا محاسبه گردید.

نتیجه‌گیری: گونه‌های پهن‌برگ به‌ویژه درختان توانمند در تثبیت نیتروژن هوا مانند توسکا بیش‌ترین تأثیر را بر ویژگی‌های کیفی خاک داشتند. در گونه‌های پهن‌برگ علاوه بر میزان بالای ذخایر (موجودی) کربن آلی خاک، توزیع کربن آلی نیز با یکنواختی بیش‌تری در طول عمق خاک همراه بود. در نهایت طبق نتایج حاصل از همبستگی صفات کیفی خاک و مخازن فعال کربن، شاخص کیفی واحدی تشخیص داده نشده بلکه مجموعه‌ای از این مخازن به‌عنوان شاخص‌های حساس سلامت و کیفیت خاک معرفی شدند.

واژه‌های کلیدی: مخازن فعال کربن آلی، کربن محلول در آب، سوزنی‌برگ، پهن‌برگ، ذخایر (موجودی) کربن، عمق خاک

مقدمه

تعریف پاولسون و همکاران (۲۰۱۱) میزان کربن ترسیب شده شامل بخشی از ذخایر (موجودی) کربن آلی خاک است که در نتیجه تغییر و یا بهبود مدیریت اراضی بر میزان ذخایر (موجودی) کربن آلی خاک افزوده شده است (۳۸).

در میان اکوسیستم‌های مورد مطالعه، جنگل‌ها به‌دلیل توان ذاتی بالا در ایجاد مخازن عظیمی از کربن آلی، توجه ویژه‌ای را به خود اختصاص داده‌اند؛ به‌گونه‌ای که با وجود مقادیر بالای کربن آلی موجود در بخش هوایی درختان، ۷۰ درصد کربن آلی موجود در جنگل در خاک تحت پوشش این اکوسیستم قرار دارد (۴۹، ۳۶، ۲۳، ۸). ترسیب مؤثر کربن و نقش درختان در این خصوص زمانی رخ می‌دهد که سیستم ریشه‌ای قوی و گسترده درختان با نفوذ به خاک، ترکیبات آلی کربن‌دار را در قالب اندام‌های زیرزمینی و ترشحات ریشه‌ای در عمق خاک به‌جا گذاشته و

ماده آلی خاک منبع بالقوه و عظیمی از ذخایر کربن آلی را تشکیل می‌دهد به‌طوری‌که $10^{13} \times 950$ کیلوگرم کربن آلی با منشاء گیاهی، جانوری و زیست‌توده میکروبی تنها در ضخامت یک متری از سطح خاک متمرکز است (۲۹). با توجه به این‌که کربن آلی خاک تأثیر به‌سزایی بر خصوصیات و فرآیندهای جاری در خاک دارد، انباشت کربن متناسب با ظرفیت خاک‌ها نه تنها می‌تواند در بهبود وضعیت سلامت خاک ایفای نقش نماید بلکه منجر به بهبود مدیریت‌های مرتبط با سطح اندوخته کربن آلی خاک و متعاقب آن افزایش ترسیب کربن اتمسفری خواهد شد. بر خلاف عدم تمایز دو واژه "میزان ذخایر (موجودی) کربن آلی" و "فرآیند ترسیب کربن" در برخی از گزارش‌های علمی، مفاهیم متفاوتی در این خصوص وجود دارد؛ طبق

گروه عمده کربن آلی عصاره‌گیری شده با آب داغ^۳ و آب سرد^۴ تقسیم‌بندی می‌شوند (۱۶).

بر اساس پیمان کیوتو، خاک به‌عنوان مخزن کربن آلی و معدنی می‌تواند تأثیر به‌سزایی در کاهش آلودگی گازهای گلخانه‌ای خصوصاً دی‌اکسیدکربن داشته باشد (۲۰). در این زمینه توانایی استفاده از کاشت درختان به‌عنوان راهکار مناسب مدیریتی جهت تقلیل غلظت فزاینده کربن اتمسفری به‌شمار می‌رود؛ این در حالی است که اجرای این امر در بسیاری از کشورها با محدودیت وجود عرصه‌های مناسب روبرو است. کشور ایران دارای ۱۳/۴ میلیون هکتار جنگل طبیعی و ۰/۹۵ میلیون هکتار جنگل مصنوعی است که مجموعاً ۸/۷ درصد از اراضی کشور را به خود اختصاص داده است (۴۶)؛ این مسأله بیانگر توان بالای ایران در زمینه افزایش سطح درخت‌کاری و جنگل‌زایی است و می‌تواند به‌عنوان بخشی از سیاست‌های کلان مدیریتی در نظر گرفته شود. ولی به‌کارگیری گونه‌های مختلف درختان جنگلی در عرصه‌های طبیعی نیازمند بررسی ویژگی‌های این گونه‌ها با استفاده از شاخص‌های کیفیت و سلامت خاک می‌باشد به‌طوری‌که بتوان با کم‌ترین هزینه و در کوتاه‌ترین مدت شرایط موجود را سنجیده و مدیریت نمود. در این راستا استفاده از گونه‌های درختی که با شرایط منطقه سازگاری داشته و باعث بهبود وضعیت ذخایر کربن آلی و ویژگی‌های کیفی خاک می‌شوند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند. متأسفانه در مناطق شمال کشور و اقلیم‌های مشابه در خصوص انتخاب گونه‌های درختی مناسب که خصوصیات کیفی خاک را ارتقا می‌بخشند مطالعات زیادی صورت نگرفته است به همین دلیل این پژوهش با اهداف الف) ارزیابی میزان ذخیره

آن‌ها را از محدوده فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی بخش فعال خاک خارج ساخته (۴۰) و در نهایت منجر به افزایش ذخایر (موجودی) کربن آلی خاک می‌گردد.

در کنار اهمیت ترسیب و افزایش اندوخته کربن آلی، آگاهی از میزان تأثیر درختان مختلف بر ویژگی‌های خاک پیرامون، از اهمیت خاصی برخوردار است به‌طوری‌که می‌توان چگونگی ترمیم تغییرات غیرطبیعی موجود در اکوسیستم‌ها را با انتخاب ترکیب متنوع و مناسبی از گونه‌های درختی پیش‌بینی و بهبود وضعیت کیفی و سلامت خاک را مدیریت نمود. در این رابطه ماده آلی خاک از مهم‌ترین ویژگی‌های کیفی خاک است که همواره به‌عنوان یکی از شاخص‌های اساسی تعیین وضعیت سلامت خاک مورد بررسی قرار گرفته است (۲۲). با این وجود به‌دلیل پیچیدگی ساختار ماده آلی خاک تشخیص ابعاد تغییرات کمی و کیفی آن با محدودیت‌هایی مواجه است (۱۱). به همین دلیل، امروزه بسیاری از پژوهش‌ها، معطوف مخازن فعال ماده آلی خاک می‌باشد (۲۷، ۱۴). از این میان زیست‌توده میکروبی حساس‌ترین شاخص شناخته شده کیفیت خاک است که سریعاً به تغییرات مدیریتی محیط خاک عکس‌العمل نشان می‌دهد (۱۸، ۱۱). اما به‌دلیل زمان‌بر بودن فرایندهای اندازه‌گیری زیست‌توده میکروبی، جزء فعال دیگری تحت عنوان کربن آلی محلول در آب^۱ اندازه‌گیری می‌شود که در پژوهش‌های صورت گرفته همبستگی بالایی با زیست‌توده میکروبی داشته است (۵۵، ۵۶، ۵۷). کربن آلی محلول در آب بخشی از کربن آلی محلول^۲ می‌باشد که حاصل عصاره‌گیری مقدار مشخصی از خاک آمیخته با آب است (۳۷) و بر اساس روش‌های آزمایشگاهی و نوع فرآیندهای عصاره‌گیری به دو

3- Hot Water Extractable Organic Carbon (HWEOC)

4- Cold Water Extractable Organic Carbon (CWEOC)

1- Water Soluble Organic Carbon (WSOC)

2- Dissolved Organic Carbon (DOC)

بلوط بلندمازو (*Quercus castaneifolia*) و سفیدپلت (*Populus caspica*) بودند.

نمونه‌برداری و تجزیه‌های آزمایشگاهی: نمونه‌های خاک در اواخر خرداد سال ۱۳۹۲ هم‌زمان با حداقل رطوبت خاک جمع‌آوری گردید. بر اساس طرح بلوک کاملاً تصادفی، سه خاکرخ به‌عنوان سه تکرار تا عمق ۲۰۰ سانتی‌متری از سطح خاک در زیر تاج و به فاصله یک متری از تنه هر یک از پوشش‌های درختان حفر گردیدند. نمونه‌های خاک از ۱۰ ضخامت ۲۰ سانتی‌متری جمع‌آوری شدند.

برای نمونه‌های جمع‌آوری شده از ضخامت‌های ۰-۲۰، ۲۰-۴۰، ۴۰-۶۰، ۶۰-۸۰ و ۸۰-۱۰۰ سانتی‌متر پس از هواخشک نمودن خاک‌ها در دمای اتاق (۲۵ درجه سانتی‌گراد) و حذف ذرات درشت، ریشه‌ها و سنگریزه بخشی از نمونه‌ها جهت تعیین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها^۱ به روش الک مرطوب (۱۲) و چگالی ظاهری به روش کلوخه (۱۷) مورد استفاده قرار گرفت و مابقی نمونه‌ها پس از کوبیدن جهت اندازه‌گیری سایر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی مطابق روش‌های استاندارد از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. بافت خاک به روش هیدرومتری (۲۸) پس از حذف مواد آلی با آب اکسیژنه ۶ درصد (۵۲)، نیتروژن کل به روش کج‌لدال (۶)، اسیدیته خاک در گل اشباع به روش پتانسیومتری (۳۱)، هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع (۳۲)، ظرفیت تبادل کاتیونی با استفاده از استات آمونیوم یک نرمال (۴۵)، معدنی شدن کربن (تنفس میکروبی) به مدت سه ماه طبق روش مشروح توسط بهشتی و همکاران (۲۰۱۰)، کربن زیست‌توده میکروبی به روش تدخین با کلروفرم و عصاره‌گیری با سولفات پتاسیم (۵۳)، کربن آلی محلول در آب به روش عصاره‌گیری توسط آب سرد و آب داغ و قرائت توسط دستگاه اندازه‌گیری میزان

(موجودی) کربن توسط گونه‌های درختی مختلف جنگلی و انتخاب گونه‌های مناسب برای این منظور؛ (ب) بررسی تأثیر گونه‌های درختی مختلف جنگلی بر برخی از ویژگی‌های کیفی خاک (ج) بررسی نحوه توزیع مخازن فعال کربن آلی در طول خاکرخ خاک و انتخاب حساس‌ترین مخزن فعال کربن به‌عنوان شاخص کیفیت و سلامت خاک به اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

مشخصات عمومی منطقه مورد مطالعه: این پژوهش در ایستگاه تحقیقاتی بذر و نهال گونه‌های جنگلی سلمان انجام شد. ایستگاه مذکور با مساحت تقریبی ۴ هکتار در عرض جغرافیایی $37^{\circ}9' N$ و طول جغرافیایی $50^{\circ}13' E$ در ارتفاع ۱۶- متری از سطح دریا در شرق شهرستان لنگرود استان گیلان قرار دارد. بر اساس دوره آماری ۲۰ساله ایستگاه هواشناسی موجود در محوطه، میانگین سالانه بارندگی ۱۱۸۰ میلی‌متر و متوسط سالانه دما ۱۷/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. رژیم رطوبتی و دمایی محل مورد مطالعه به‌ترتیب آکوئیک و مزیک بوده و خاک منطقه نیز بر اساس رده‌بندی خاک‌ها به روش آمریکائی (۵۱) اینسپتی‌سول و در زیرگروه Typic Endoaquepts با بافت متوسط^۱ طبقه‌بندی گردید. این ایستگاه شامل انواع گونه‌های بومی و غیربومی درختان سوزنی‌برگ و پهن‌برگ است که در پلات‌هایی به مساحت‌های ۵۰۰۰-۱۰۰۰ متری به‌صورت تصادفی کشت شده‌اند. با در نظر گرفتن سن یکسان ۲۰ سال، گونه‌های درختی انتخاب شده در این پژوهش شامل سه گونه درختی سوزنی‌برگ شامل کاج تدا (*Taxodium distichum*) و ارس (*Juniperus polycarpus*) و سه گونه درختی پهن‌برگ شامل توسکا (*Alnus glutinosa*).

2- Mean Weight Diameter (MWD)

1- Sandy loam

نتایج و بحث

بر اساس پژوهش‌های اسمولاندر و کیتانن (۲۰۰۲)، رچ و همکاران (۲۰۰۵) و چن و همکاران (۲۰۰۴) و به دلیل وسعت کم محل مورد مطالعه و ابعاد پلات‌های گونه‌های درختی^۳، تغییرات ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی اولیه خاک به دلیل یکسان بودن مواد مادری ناچیز می‌باشد (۵۰، ۴۲، ۸)؛ بنابراین ویژگی‌های خاک محل پژوهش پیش از کشت درختان کاملاً مشابه و یکسان بوده و اختلافات فعلی در صفات مورد بررسی، ناشی از تأثیر گونه‌های درختی بر خاک در طی زمان می‌باشد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که تأثیر نوع گونه‌های درختی و عمق، به‌عنوان اثرات اصلی در سطح ۱ درصد بر مقادیر برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مورد بررسی خاک منطقه معنی‌دار است، در حالی که اثر متقابل آن‌ها تنها برای مقادیر ظرفیت تبادل کاتیونی و میزان میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها معنی‌دار شد. اختلافات معنی‌دار برای تمامی گونه‌ها در مقادیر ظرفیت تبادل کاتیونی و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در ضخامت‌های سطحی مشاهده گردیدند. این اختلافات نیز با افزایش عمق در کنار کاهش تدریجی میزان صفات مذکور، روند کاهشی داشتند، به‌طوری‌که برای ظرفیت تبادل کاتیونی بیش‌ترین اختلاف (۴/۱۷ واحد) میان درخت توسکا به‌میزان ۱۷/۶ سانتی‌مول بار بر کیلوگرم به‌عنوان بیش‌ترین مقدار و ارس به‌میزان ۱۳/۴۳ سانتی‌مول بر کیلوگرم به‌عنوان کم‌ترین مقدار در ضخامت ۰-۲۰ سانتی‌متری مشاهده گردید؛ همچنین بیش‌ترین اختلاف تفاوت (۲/۵۸ واحد) بین بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر میانگین وزنی قطر خاکدانه برای خاک تحت پوشش توسکا به‌میزان ۴/۱۱ میلی‌متر و خاک تحت پوشش دارتالاب به‌میزان ۱/۵۳ میلی‌متر محاسبه گردید.

کل کربن آلی^۱ (۱۱، ۱۹)، کربوهیدرات‌های خاک به روش آب داغ و قرائت توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۴۹۰ نانومتر (۵۹)، کربن آلی به روش اکسیداسیون مرطوب توسط دی‌کرومات پتاسیم در مجاورت اسید سولفوریک غلیظ (۳۳) اندازه‌گیری شدند. میزان ذخیره (موجودی) کربن آلی به تفکیک هر کدام از پوشش‌های گونه‌های درختی برای ۱۰ ضخامت ۲۰ سانتی‌متری از ضخامت ۰-۲۰ تا ضخامت ۲۰۰-۱۸۰ طبق رابطه زیر محاسبه گردید:

$$SOC_d = \sum_{i=1}^k OC_i \times BD_i \times D_i \times 10$$

که در آن، SOC_d میزان ذخیره (موجودی) کربن آلی خاک در طول عمق d (۲۰۰ سانتی‌متر) بر حسب تن در هکتار، OC_i غلظت کربن آلی بر حسب درصد، BD_i چگالی ظاهری بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب در لایه i ام (۱۰-۱) و D_i ضخامت لایه i ام که برای همه لایه‌های ده‌گانه برابر ۲۰ سانتی‌متر می‌باشد.

تجزیه و تحلیل آماری: ابتدا توزیع نرمال داده‌های به‌دست آمده توسط آزمون شاپیرو-ویلک و سپس همگنی واریانس داده‌ها به روش آزمون لون در سطح احتمال ۰/۰۵ درصد مورد بررسی قرار گرفت. سپس تجزیه واریانس دوطرفه با در نظر گرفتن گونه‌های جنگلی و عمق به‌عنوان صفات مستقل در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی و مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار^۲ به کمک نرم‌افزار SAS (۲۰۰۲) انجام شد (۴۷). همچنین برای ارزیابی میزان ارتباط مخازن فعال کربن با سایر خصوصیات مورد بررسی از آزمون همبستگی خطی پیرسون استفاده شد.

1- Total Organic Carbon (TOC) Analyzer

2- Least Significant Difference (LSD)

3- Common garden experiment

نقش کربن آلی خاک، نسبت کربن به نیتروژن خاک نیز از عوامل مؤثر در شاخص پایداری خاکدانه‌ها می‌باشد (۱۰). عوامل فوق می‌تواند علل سطح مطلوب شاخص پایداری خاکدانه مربوط به توسکا، که از گونه‌های تثبیت‌کننده نیتروژن هوا می‌باشد را روشن سازد. حضور درختان تثبیت‌کننده نیتروژن در میان سایر جوامع گونه‌های درختی، منجر به افزایش سطح کربن و نیتروژن خاک می‌گردد (۲۴). رش و همکاران (۲۰۰۲) نشان دادند میزان کربن و نیتروژن خاک تحت پوشش درختان تثبیت‌کننده نیتروژن ۲۰ الی ۱۰۰ درصد بیش‌تر از توده‌های سایر گونه‌های درختان می‌باشد (۴۳). بینکلی و گیاردینا (۱۹۹۸) گزارش دادند که حضور درختان تثبیت‌کننده نیتروژن باعث افزایش ۴ تا ۱۰ برابری نیتروژن بقایای آلی بستر جنگل و متعاقب آن محتوای نیتروژن خاک سطحی می‌باشد (۵).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار اثرات متقابل نوع گونه‌های درختی و عمق بر تغییرات هدایت الکتریکی، چگالی ظاهری و اسیدیته می‌باشد. با این وجود با افزایش عمق، روند کاهشی معنی‌داری برای pH در تمام گونه‌های درختی مشاهده گردیده و بیش‌ترین نوسان (۰/۶۵ واحد) pH در لایه سطحی (۲۰-۰ سانتی‌متر) بین دارتالاب (pH=۶/۷۲) و بلوط بلندمازو (pH=۷/۳۷) اندازه‌گیری شد. ریشه‌های گیاهان با تولید دی‌اکسیدکربن و اسیدهای آلی قادرند تا حدودی بر اسیدیته خاک اثر افزایشی داشته باشند که در این پژوهش این مسأله می‌تواند تغییرات pH خاک در طول عمق را توجیه نماید. به‌علاوه علی‌رغم عدم کیفیت بقایای گونه‌های سوزنی‌برگ، بقایای آلی درختان پهن‌برگ حاوی طیف گسترده‌ای از عناصر غذایی مانند کلسیم بوده که حضور این دسته از کاتیون‌ها در خاک منجر به کاهش اسیدیته خاک می‌شود (۵۵).

ورود مواد آلی و انباشته شدن آن از دلایل میزان بالای ظرفیت تبادل کاتیونی در ضخامت‌های سطحی خاک می‌باشد. کلیک (۲۰۰۵) مشاهده کرد که با افزایش عمق، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک در سه کاربری جنگل، مرتع و زراعی کاهش یافت (۷). نتایج پژوهش‌های انجام شده نشان داده است که ۲۰ تا ۷۰ درصد ظرفیت تبادل کاتیونی خاک ناشی از مواد آلی بوده و بنابراین کاهش در میزان ماده آلی خاک منجر به کاهش تبادل کاتیونی خواهد شد. با توجه به بافت یکسان خاک منطقه مورد مطالعه و همبستگی مثبت ظرفیت تبادل کاتیونی و میزان مواد آلی (جدول ۳)، کاهش ظرفیت تبادل کاتیونی در طول عمق ناشی از کاهش کربن آلی خاک می‌باشد.

رابطه میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها با میزان مواد آلی و مخازن فعال آن توسط مطالعات صورت گرفته شده به اثبات رسیده است (۳۹، ۳۵، ۱۲، ۴، ۲)؛ آن و همکاران (۲۰۱۰) افزایش شاخص پایداری خاکدانه‌ها در خاک سطحی مناطق جنگلی و خاک‌های تحت پوشش درختچه‌ها را گزارش کردند (۲). ایشان نشان دادند که مقادیر متنابهی از مواد آلی خاک و کربوهیدرات‌ها از طریق اتصال ذرات رس خاک به‌ویژه ۱۰-۰ سانتی‌متری باعث بهبود در شاخص پایداری خاکدانه‌ها می‌شوند. کارا و بایکارا (۲۰۱۴) همبستگی کربن زیست‌توده میکروبی با شاخص پایداری خاکدانه‌ها را گزارش نمودند (۲۵). ایشان بیان داشتند که زیست‌توده میکروبی با تولید مواد چسبنده حاوی کربوهیدرات و قندهای ساده زمینه اتصال ذرات تشکیل‌دهنده خاک را فراهم می‌سازند. نتایج حاصل از همبستگی کربن زیست‌توده میکروبی و شاخص پایداری خاکدانه بیانگر کاهش پایداری خاکدانه‌ها با افزایش عمق می‌باشد.

نتایج مطالعات متعدد بیانگر آن است که قارچ‌های میکوریز در تشکیل و استحکام خاکدانه‌ها نقش به‌سزایی ایفا می‌کنند (۴۸، ۴۴، ۱۳). به‌علاوه مشابه

جدول ۱- مقادیر اندازه گیری شده برخی از ویژگی های فیزیکوشیمیایی خاک های تحت پوشش گونه های درختی مختلف به تفکیک عمق.

Table 1. Selected chemical and physical properties in different soil layers under tree species (mean±SEM, n=3).

عمق Depth (cm)	گونه درخت Tree sp	چگالی ظاهری BD (g cm ⁻³)	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC (cmol ⁺ kg ⁻¹)	میانگین وزنی قطر خاکدانه MWD (mm)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS m ⁻¹)
۰-۲۰	<i>T. distichum</i> دارتالاب	1.45±0.06 A(a)	14.00±0.23 C(a)	1.53±0.08C(a)	6.72±0.04 A(a)	0.90±0.01 A(a)
	<i>P. caspica</i> سفیدپلت	1.44±0.03 A(a)	16.04±0.18 B(a)	2.42±0.29B(a)	7.14±0.13 A(a)	1.01±0.01 A(a)
	<i>P. taeda</i> کاج تدا	1.49±0.05A(a)	13.65±0.22 C(a)	1.76±0.11BC(a)	7.02±0.08 A(a)	0.97±0.01 A(a)
	<i>Q. castaneifolia</i> بلوط	1.35 ±0.03A(a)	16.38±0.27 B(a)	3.61±0.18A(a)	7.37±0.05 A(a)	1.05±0.07 A(a)
	<i>J. polycarpus</i> ارس	1.53±0.03 A(a)	13.43±0.17 C(ab)	2.18±0.12B(a)	7.00±0.12 A(a)	0.93±0.04 A(a)
	<i>A. glutinosa</i> توسکا	1.36±0.04 A(a)	17.60±0.31 A(a)	4.11±0.17A(a)	7.30±0.10 A(a)	1.12±0.07 A(a)
۲۰-۴۰	<i>T. distichum</i> دارتالاب	1.59±0.04 A(a)	14.26±0.13 C(a)	1.46±0.10C(a)	6.24±0.22 A(a)	0.82±0.03 A(a)
	<i>P. caspica</i> سفیدپلت	1.55±0.03 A(a)	15.07±0.16 B(b)	1.93±0.10B(ab)	6.60±0.07 A(a)	0.91±0.03 A(a)
	<i>P. taeda</i> کاج تدا	1.69±0.04 A(a)	13.40±0.25 D(ab)	1.60±0.13BC(a)	6.46±0.07 A(a)	0.89±0.06 A(a)
	<i>Q. castaneifolia</i> بلوط	1.55±0.03 A(a)	15.72±0.24 AB(b)	3.06±0.17A(b)	6.93±0.18 A(a)	1.00±0.01 A(a)
	<i>J. polycarpus</i> ارس	1.67±0.03 A(a)	13.60±0.13 CD(a)	1.78±0.16BC(b)	6.68±0.16 A(a)	0.82±0.05 A(a)
	<i>A. glutinosa</i> توسکا	1.50±0.02 A(a)	16.04±0.28 A(b)	3.52±0.15A(b)	7.11±0.06 A(a)	1.05±0.05 A(a)
۴۰-۶۰	<i>T. distichum</i> دارتالاب	1.66±0.04 A(a)	13.12±0.24 CD(b)	1.08±0.15E(b)	6.16±0.21 A(a)	0.77±0.02 A(a)
	<i>P. caspica</i> سفیدپلت	1.61±0.05 A(a)	13.85±0.36 BC(c)	1.67±0.12C(bc)	6.40±0.07 A(a)	0.93±0.01 A(a)
	<i>P. taeda</i> کاج تدا	1.70±0.02 A(a)	12.77±0.22 D(bc)	1.25±0.11DE(b)	6.23±0.06 A(a)	0.82±0.02 A(a)
	<i>Q. castaneifolia</i> بلوط	1.59±0.03 A(a)	14.47±0.31 B(c)	2.67±0.15B(c)	6.80±0.10 A(a)	0.96±0.01 A(a)
	<i>J. polycarpus</i> ارس	1.69±0.03 A(a)	12.99±0.06 D(bc)	1.50±0.04DC(c)	6.55±0.19 A(a)	0.80±0.07 A(a)
	<i>A. glutinosa</i> توسکا	1.61±0.03 A(a)	15.51±0.28 A(bc)	3.11±0.15A(c)	6.75±0.08 A(a)	0.96±0.03 A(a)
۶۰-۸۰	<i>T. distichum</i> دارتالاب	1.65±0.03 A(a)	12.82±0.25 CD(bc)	0.64±0.10D(c)	6.12±0.22 A(a)	0.77±0.01 A(a)
	<i>P. caspica</i> سفیدپلت	1.68±0.05 A(a)	13.60±0.23 BC(cd)	1.32±0.11B(c)	6.40±0.17 A(a)	0.98±0.01 A(a)
	<i>P. taeda</i> کاج تدا	1.70±0.01 A(a)	12.61±0.25 D(bc)	0.75±0.10CD(c)	6.16±0.05 A(a)	0.80±0.02 A(a)
	<i>Q. castaneifolia</i> بلوط	1.66±0.03 A(a)	14.25±0.09 B(c)	2.24±0.16A(d)	6.44±0.10 A(a)	0.97±0.01 A(a)
	<i>J. polycarpus</i> ارس	1.66±0.04 A(a)	12.58±0.28 D(cd)	1.11±0.09BC(d)	6.38±0.07 A(a)	0.85±0.08 A(a)
	<i>A. glutinosa</i> توسکا	1.63±0.04 A(a)	14.87±0.31 A(cd)	2.53±0.13A(d)	6.51±0.05 A(a)	0.94±0.03 A(a)

Two-way ANOVA result (mean squares)

گونه درختی Tree Specious (T)	0.27**	17.06**	4.91**	0.65**	0.14**
عمق Depth (D)	0.142**	30.79**	12.09**	1.58**	0.04**
اثر متقابل گونه درختی و عمق T×D	0.003 ^{ns}	0.84**	0.53**	0.03 ^{ns}	0.004 ^{ns}

حروف بزرگ مشابه، بیانگر عدم اختلاف معنی دار ($P < 0.05$) صفات در هر یک از لایه ها و حروف کوچک مشابه داخل پرانتز نشانگر عدم تفاوت معنی دار ($P < 0.05$) در هر یک از گونه های درختی می باشد.

BD, bulk density; CEC, cation exchange capacity; MWD, mean weight diameter and EC, electric conductivity. ns, not significant, ** Significant at $P < 0.01$ and * Significant at $P < 0.05$. Within a column mean values with different capital letters at each soil depth are significantly different between tree species type at $P < 0.05$; within a column mean values with different small letter at each tree species type are significantly different between depths at $P < 0.05$.

کربن آلی و نیتروژن کل خاک معنی‌دار شده است. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که میزان کربن آلی خاک گونه‌های درختی با افزایش عمق به صورت معنی‌داری کاهش یافت در این میان توسکا در مقایسه با سایر گونه‌ها دارای بیش‌ترین مقدار کربن آلی خاک در اغلب ضخامت‌های مورد بررسی بود. علاوه بر این حداکثر اختلاف معنی‌دار (۶/۳۳) میزان کربن آلی بین خاک‌های تحت پوشش توسکا با ۸/۸۳ گرم بر کیلوگرم و ارس با ۲/۵۰ گرم بر کیلوگرم کربن آلی در ضخامت ۶۰-۴۰ سانتی‌متری مشاهده شد. همچنین بیش‌ترین مقادیر کربن آلی خاک گونه‌های درختی مورد بررسی در اولین ضخامت خاک (۲۰-۰ سانتی‌متر) به ترتیب برای توسکا < بلوط بلندمازو < سفیدپلت < ارس < دارتالاب < کاج ندا مشاهده گردید.

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان می‌دهد که در همه گونه‌های درختی مورد بررسی، مقدار نیتروژن کل با افزایش عمق کاهش یافته است که روند کاهش نیتروژن کل همانند کاهش کربن آلی است؛ این امر بیانگر رابطه مستقیم این دو عنصر با یکدیگر است. در این خصوص بیش‌ترین مقادیر نیتروژن کل در هر یک از گونه‌های درختی در اولین لایه سطحی و مشابه توالی کربن آلی خاک مشاهده گردید. همچنین مشابه نتایج کربن آلی خاک، بیش‌ترین اختلاف (۰/۶۵ واحد) میان مقادیر نیتروژن کل گونه‌های درختی در ضخامت ۶۰-۴۰ سانتی‌متری مشاهده شد که در این ضخامت بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار نیتروژن کل به ترتیب در توسکا به میزان ۰/۸۹ گرم بر کیلوگرم و ارس به میزان ۰/۲۴ گرم بر کیلوگرم مشاهده شد. بررسی تغییرات نسبت کربن به نیتروژن خاک همه گونه‌های درختی نشان داد که با افزایش عمق، این نسبت نیز کاهش یافت؛ به طوری که بالاترین مقادیر نسبت کربن به نیتروژن در لایه اولیه خاک به ترتیب در کاج ندا < دارتالاب < ارس < سفیدپلت < بلوط < توسکا مشاهده شد.

میزان چگالی ظاهری با افزایش عمق در تمامی گونه‌های درختی روند افزایشی داشت و علی‌رغم عدم اختلاف معنی‌دار اثرات متقابل، بیش‌ترین تغییرات چگالی ظاهری در طول عمق خاک به میزان (۰/۱۸ واحد) بین بلوط بلندمازو به میزان ۱/۳۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب و ارس به میزان ۱/۵۳ گرم بر سانتی‌مترمکعب در ضخامت اولیه خاک مشاهده گردید. علاوه بر تأثیر فشار لایه‌های فوقانی خاک به توده‌های تحتانی که منجر به افزایش چگالی ظاهری در ضخامت‌های عمقی خاک می‌گردد، ارتباط و همبستگی چگالی ظاهری با کربن آلی خاک (جدول ۳) می‌تواند علت اختلاف مقادیر چگالی ظاهری گونه‌های درختی مورد بررسی را شرح دهد.

روند تغییرات هدایت الکتریکی در همه گونه‌های مورد بررسی در طول عمق مشابه بوده به طوری که آهنگ تغییرات هدایت الکتریکی از سطح خاک تا ضخامت‌های ۶۰-۴۰ و ۸۰-۶۰ سانتی‌متری کاهش یافته است. این امر احتمالاً به علت شستشوی ترکیبات آلی است که در اثر تجزیه میکروبی اندام‌های گیاهی مانند شاخه و برگ انباشته شده در سطح خاک تولید شده است. در این خصوص بهشتی و همکاران (۲۰۱۲) مقادیر بالای هدایت الکتریکی در لایه‌های سطحی خاک با کاربری کشت برنج را به دلیل تجمع املاح در نتیجه عمق کم سطح ایستایی و شرایط ماندابی گزارش کرده‌اند (۴). هاگن تورن (۲۰۰۴) پایین بودن میزان هدایت الکتریکی کاج سیاه را سرعت کم تجزیه بقایای آلی و لاشبرگ‌های آن دانسته که این امر به نوبه خود باعث تأخیر در بازگشت کاتیون‌های بازی مانند کلسیم به خاک و در نتیجه کاهش هدایت الکتریکی خاک می‌گردد (۱۵).

کربن آلی و نیتروژن کل خاک: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان می‌دهد که اثر نوع گونه‌های درختی، عمق و اثر متقابل آن‌ها ($P < 0/01$) بر میزان

بررسی اندوخته کربن برای هر یک از گونه‌های درختی به تفکیک ضخامت‌های خاک نشان داد که میزان کربن آلی با افزایش عمق به تدریج کاهش یافته به طوری که این میزان برای گونه‌های سفیدپلت، ارس، دارتالاب و کاج تدا بعد از ضخامت‌های ۲۰-۰ و ۴۰-۲۰ سانتی‌متری کاهش محسوس داشته است در حالی که مقدار آن در ضخامت ۶۰-۴۰ سانتی‌متری برای توسکا و بلوط بلندمازو هم‌چنان قابل‌ملاحظه می‌باشد؛ این امر نشان‌دهنده توانمندی بیش‌تر دو گونه مذکور در انباشت کربن آلی در ضخامت‌های عمیق‌تر در مقایسه با سایر گونه‌های مورد بررسی می‌باشد. جندل و همکاران (۲۰۰۷) در مقاله مروری خود نشان دادند که سیستم ریشه‌ای اغلب درختان سوزنی‌برگ در مقایسه با گونه‌های پهن برگ در خاک سطحی متمرکز بوده و بنابراین کربن آلی را در ضخامت‌های سطحی ذخیره می‌نمایند (۲۰). وایتینگتون و همکاران (۲۰۰۶) با بررسی تراکم زیست‌توده ریشه ۱۱ گونه درختی در لهستان نشان دادند که بیش‌ترین تراکم ریشه و در نتیجه بالاترین میزان تولیدات ریشه‌ای، مربوط به گونه‌های درختی پهن‌برگ می‌باشد (۵۸). در همین راستا اووسترا و همکاران (۲۰۰۶) طی بررسی دقیق‌تر نشان دادند که در میان گونه‌های درختان پهن‌برگ به ترتیب افرا، بلوط و راش و سپس در میان گونه‌های سوزنی‌برگ به ترتیب کاج نوئل و کاج جنگلی بیش‌ترین تراکم زیست‌توده ریشه را داشتند (۳۴). رضوی (۲۰۱۰) معتقد است تجمع مقادیر بالای کربن و نیتروژن توده توسکای بیلاقی در ضخامت ۳۰ تا ۵۰ سانتی‌متری در مقایسه با ضخامت‌های سطحی و متعاقب آن پایین بودن نسبت کربن به نیتروژن (۹/۹۸)، نشان‌دهنده فعالیت بیولوژیکی و قدرت تثبیت‌کنندگی توسکا توسط گره‌های ریشه‌ای (میکوریزا) در این عمق می‌باشد (۴۱).

از جمله دلایل بالا بودن میزان مواد آلی خاک درختان پهن‌برگ را می‌توان به سرعت بالای تجزیه بقایای با کیفیت این گونه از درختان اشاره نمود که نتیجه آن افزایش ورود مواد آلی به خاک خواهد بود (۲۶، ۱). بیش‌تر بودن نسبت کربن به نیتروژن خاک تحت پوشش گونه‌های سوزنی‌برگ به دلیل انباشت بقایای آلی در سطح خاک و عدم توانایی فعالیت زیست‌توده میکروبی در تجزیه بقایا می‌باشد (۳) که همبستگی کربن معدنی شده (تنفس میکروبی) با نسبت کربن به نیتروژن خاک تحت پوشش گونه‌های درختی (جدول ۳) بیانگر این امر می‌باشد.

ذخیره (موجودی) کربن آلی خاک: محاسبه کربن آلی انباشته‌شده در خاک توسط گونه‌های درختی (شکل ۱) نشان داد که بیش‌ترین میزان اندوخته کربن آلی در طول عمق ۲۰۰ سانتی‌متری در خاک‌رخ‌های مربوط به توسکا و بلوط به ترتیب با ۲۰۶/۲۴ و ۱۹۵/۲۶ تن کربن آلی در هکتار و کم‌ترین مقدار آن به میزان ۱۳۶/۹۴ تن در هکتار در خاک تحت پوشش کاج تدا مشاهده شد. ورامش و همکاران (۲۰۱۰) علت افزایش کربن خاک در توده افاقیا نسبت به کاج تهران را تثبیت نیتروژن در گونه‌های لگوم و در نتیجه افزایش اندوخته کربن در خاک گزارش کردند (۵۴). جانسون و کورتیس (۲۰۰۱) نشان دادند که به‌کارگیری گونه‌های تثبیت‌کننده نیتروژن باعث افزایش سطح قابل‌قبولی از نیتروژن و کربن خاک می‌شود (۲۴). چیتی و همکاران (۲۰۰۷) در بررسی وضعیت کربن و نیتروژن خاک تحت پوشش آمیخته بلوط و توسکا با خاک تحت پوشش خالص بلوط نتیجه گرفتند کربن و نیتروژن مازاد خاک تحت پوشش آمیخته بلوط و توسکا به‌جای ورود به کف جنگل در طول عمق خاک متمرکز شده که این امر بیانگر نقش مؤثر و پایدار گونه‌های تثبیت‌کننده نیتروژن در افزایش سطح نیتروژن و کربن خاک می‌باشد (۹).

جدول ۲- وضعیت توزیع مغذی عناصر کربن آلی خاک گونه های درختی در عمق خاک.

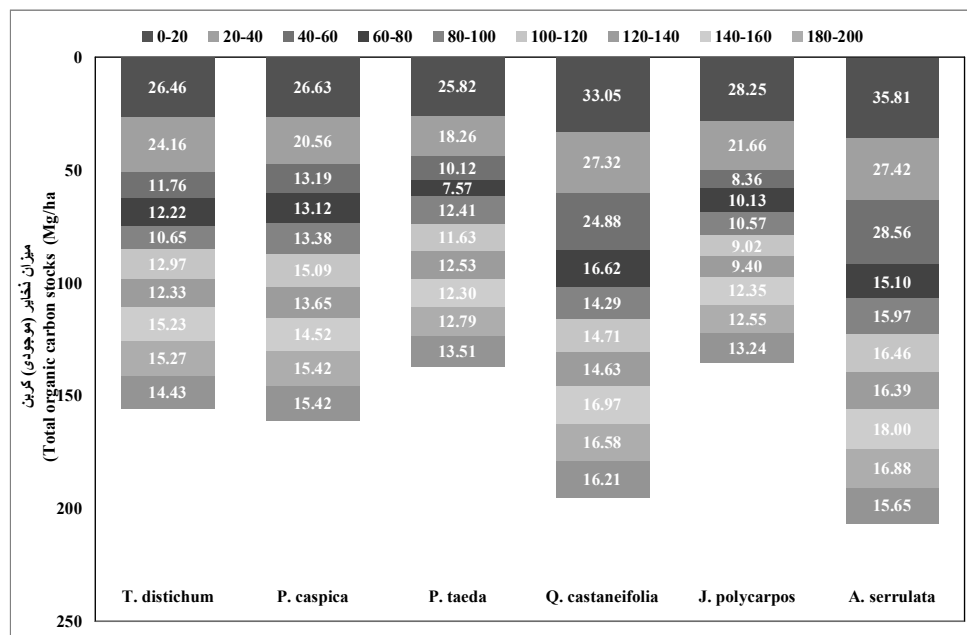
Table 2. Vertical distribution of soil organic carbon and labile carbon pools under different tree species (mean±SEM).

عمق Depth (cm)	گونه درخت Tree sp	کربن الی خاک SOC (g kg ⁻¹)	نظروف کل TN (g kg ⁻¹)	نسبت کربن به نظروف کل SOC/TN	کربن مغذی (آب) (آب) HWEOC (mg kg ⁻¹)	کربن مغذی (آب سرد) CWEOC (mg kg ⁻¹)	کربن مغذی (آب سرد) C-MIN (mg kg ⁻¹)	کربن کریوپیگرایب CHO (µm) (mg kg ⁻¹)	کربن مغذی نشه C-MIN (mg kg ⁻¹)	کربن زیست توده MBC (mg kg ⁻¹)
۰-۲۰	<i>Q. castaneifolia</i>	9.06±0.65B(c)	0.80±0.02B(a)	11.37±1.05A(B)(a)	440.27±23.91B(a)	255.24±7.34 F(a)	1280.14±6.94 D(a)	211.23±4.23 F(a)	114.47±5.32F(a)	
	<i>P. caspica</i>	10.09±0.63B(a)	0.91±0.02C(a)	11.03±0.49A(B)(a)	801.11±16.47C(a)	415.44±5.77 C(a)	1609.16±7.77 C(a)	360.00±9.17 Q(a)	194.29±5.46C(a)	
	<i>P. taeda</i>	8.61±0.52C(a)	0.72±0.02F(a)	11.89±0.38A(a)	614.81±14.63D(a)	280.06±9.12 E(a)	1250.03±11.14 E(a)	246.24±5.66 E(a)	165.49±7.89D(a)	
	<i>Q. castaneifolia</i>	12.22±0.45A(a)	1.29±0.02B(a)	9.49±0.20B(C)(a)	945.52±16.29B(a)	480.27±5.81 E(a)	2066.34±12.27 B(a)	567.24±5.21 E(a)	231.25±5.37B(a)	
۲۰-۴۰	<i>I. polycarpus</i>	9.21±0.51B(c)	0.82±0.02D(a)	11.22±0.45A(B)(a)	570.53±6.61D(a)	310.26±5.88 D(a)	1301.08±7.71 D(a)	319.25±5.06 D(a)	143.10±4.44E(a)	
	<i>A. glutinosa</i>	13.11±0.43A(a)	1.45±0.03A(a)	9.06±0.10C(bc)	1030.06±13.63A(a)	580.12±7.60 A(a)	2222.75±5.77 A(a)	655.20±5.54 A(a)	272.04±4.16A(a)	
	<i>I. polycarpus</i>	7.63±0.99A(B)(a)	0.75±0.02B(b)	10.25±1.36A(ab)	430.96±16.72F(a)	230.65±7.06 E(a)	1010.09±4.30 D(b)	193.36±4.37 E(b)	108.84±5.36E(a)	
	<i>P. caspica</i>	8.63±0.61A(ab)	0.91±0.01A(a)	9.44±0.39A(b)	691.64±19.09C(b)	360.50±5.38 C(b)	1325.00±4.92 C(b)	276.13±9.25 Q(b)	169.78±6.51C(a)	
۴۰-۶۰	<i>P. taeda</i>	5.41±0.42C(b)	0.51±0.04D(c)	10.33±0.14A(ab)	610.45±15.72D(a)	280.01±4.63 D(a)	780.19±4.86 F(b)	231.87±5.37 D(b)	130.26±4.95C(ab)	
	<i>Q. castaneifolia</i>	8.80±0.41A(b)	0.90±0.03A(b)	9.77±0.12A(a)	874.65±11.62B(b)	400.24±5.09 E(b)	1436.19±6.10 B(b)	471.77±5.55 E(b)	209.97±4.99B(ab)	
	<i>I. polycarpus</i>	6.51±0.48B(c)	0.63±0.03C(b)	10.36±0.33A(a)	500.24±9.92E(b)	280.16±5.05 D(b)	896.58±7.12 E(b)	246.80±2.40 D(b)	125.04±4.44D(ab)	
	<i>A. glutinosa</i>	9.17±0.55A(b)	0.90±0.02A(b)	10.13±0.35A(a)	980.88±8.43A(b)	440.06±7.50 A(b)	1507.21±5.00 A(b)	550.33±5.22 A(b)	250.20±4.55A(ab)	
۶۰-۸۰	<i>I. polycarpus</i>	3.52±0.38B(b)	0.44±0.01C(b)	8.17±1.63A(ab)	330.72±11.80B(b)	160.27±6.07 E(b)	460.07±5.04 D(c)	147.04±4.12 E(c)	84.96±4.17E(a)	
	<i>P. caspica</i>	6.40±0.53A(b)	0.91±0.01A(a)	7.04±0.49A(d)	574.77±17.62C(c)	310.58±5.43 C(c)	950.18±5.36 C(c)	230.32±5.82 C(c)	141.81±5.17C(a)	
	<i>P. taeda</i>	2.97±0.49B(cd)	0.29±0.02D(e)	10.14±0.89A(bc)	490.49±14.36D(b)	205.00±5.45 D(b)	400.14±5.30 E(c)	156.95±6.25 D(c)	124.96±4.29D(b)	
	<i>Q. castaneifolia</i>	7.82±0.43A(b)	0.85±0.02B(c)	9.19±0.29A(ab)	791.20±14.68B(c)	360.07±5.37 E(c)	1238.37±7.04 B(c)	403.64±6.03 E(c)	185.12±5.45B(b)	
۸۰-۱۰۰	<i>I. polycarpus</i>	2.50±0.51B(c)	0.24±0.02E(f)	10.23±1.54A(a)	480.83±10.02D(b)	210.01±6.36 D(c)	338.91±3.96 F(c)	235.24±3.28 Q(b)	105.00±4.87E(b)	
	<i>A. glutinosa</i>	8.83±0.50A(b)	0.89±0.02A(b)	9.91±0.33A(a)	855.09±13.60A(c)	410.16±11.35 A(c)	1394.44±5.73 A(c)	480.28±4.89 A(c)	210.12±3.53A(b)	
	<i>I. polycarpus</i>	3.71±0.6A(B)(b)	0.47±0.01D(f)	7.92±1.52A(B)(ab)	114.24±7.40F(c)	100.27±5.63 E(c)	450.07±6.61 D(c)	50.79±5.78 F(d)	50.10±2.62E(b)	
	<i>P. caspica</i>	3.91±0.44A(b)(c)	0.55±0.02B(d)	7.08±0.58B(d)	445.21±11.91C(d)	155.05±4.75 CD(d)	580.10±4.71 C(d)	169.22±7.92 Q(d)	103.40±5.10B(b)	
۱۰۰-۱۲۰	<i>P. taeda</i>	2.23±0.38C(d)	0.24±0.02E(f)	9.29±0.64A(B)(c)	225.39±12.37E(c)	160.10±6.00 C(c)	291.06±3.47 F(d)	69.83±3.22 E(d)	86.09±6.39C(c)	
	<i>Q. castaneifolia</i>	5.00±0.14A(c)	0.60±0.03A(e)	8.41±0.23A(B)(bc)	660.62±8.48B(b)	190.13±4.37 E(d)	751.14±5.11 A(d)	330.36±7.62 E(d)	120.72±4.75A(B)(c)	
	<i>I. polycarpus</i>	3.05±0.36B(c)(bc)	0.28±0.02E(e)	10.84±0.77A(a)	265.30±6.36D(d)	140.31±3.80 D(d)	338.44±4.63 E(d)	132.39±4.85 D(c)	73.03±4.22D(c)	
	<i>A. glutinosa</i>	4.61±0.34A(c)	0.51±0.02C(d)	9.02±0.30A(B)(bc)	745.30±5.96A(a)	220.06±6.19 A(d)	719.06±5.00 E(d)	380.15±4.02 A(d)	126.03±4.39A(c)	

Two-way ANOVA result (mean squares)

عمق درختی	0.246**	10.34**	43077.84**	50632.52**	173475.70**	0.664**
عمق	0.414**	23.94**	1378616.21**	330841.56**	377670.32**	1.132**
عمق×درختی	0.014**	2.11**	28116.13**	5662.66**	13710.53**	0.012**

حروف بزرگ مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی دار (P=۰/۰۵) در یک از اینها و حروف کوچک مشابه داخلی برآیند نشانگر عدم تفاوت معنی دار (P=۰/۰۵) در هر یک از گونه های درختی می باشد. HWEOC, hot water extractable carbon; CWEOC, cold water extractable organic carbon; CHO (µm) hot water extractable carbohydrate; SOC, Soil organic carbon; MBC, microbial biomass carbon; C-MIN carbon mineralization and TN, Total nitrogen. ns not significant, ** Significant at P<0.01 and * Significant at P<0.05. Within a column mean values with different capital letters at each soil depth are significantly different between tree species type at P<0.05; within a column mean values with different small letter at each tree species type are significantly different between depths at P<0.05.



شکل ۱- میزان ذخیره (موجودی کربن) در ضخامت‌های نیمرخ خاک به تفکیک گونه‌های درختی مورد مطالعه.

Figure 1. The total SOC storage (stocks) at different depth for tree species type.

کربن آلی فعال در گونه درختی دارتالاب مشاهده شد. وانگ و وانگ (۲۰۰۷) طی مطالعات خود در ایستگاه پژوهشی اکوسیستم جنگل چین گزارش کردند که علاوه بر محتوای بالای ضخامت ۱۰-۰ سانتی‌متری خاک نسبت به ضخامت ۲۰-۱۰ سانتی‌متری هر دو منطقه جنگل‌کاری سوزنی‌برگ و پهن‌برگ، میزان کربن محلول در آب به همراه مقادیر کربن زیست‌توده میکروبی و کربن تنفس میکروبی در منطقه جنگل‌کاری درختان پهن‌برگ بیشتر بود (۵۶). جیانگ و ژو (۲۰۰۶) و لیو و لو (۱۹۹۰) نتیجه گرفتند که محتوای بالای کربن آلی خاک جنگل پهن‌برگان و ورود بقایای با کیفیت و حاوی عناصر مغذی، شرایط مساعدی را برای فعالیت و توسعه جامعه میکروبی فراهم نموده و متعاقب آن فرآیند تجزیه و تولید هوموس با کیفیت بهبود می‌یابد (۲۱، ۳۰).

وجود همبستگی معنی‌دار بین کربن زیست‌توده میکروبی و کربن آلی خاک ($r=0/816$, $P=0/01$) پیش

مخازن فعال کربن آلی خاک: نتایج حاصل از مقایسه میانگین میزان مخازن کربن آلی فعال شامل کربن زیست‌توده میکروبی، کربن معدنی‌شده، کربن آلی محلول در آب داغ، کربن آلی محلول در آب سرد و کربن کربوهیدرات محلول در آب داغ نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار ($P<0/01$) بین گونه‌های مورد بررسی در طول عمق می‌باشد (جدول ۲). مشابه نتایج حاصل از مقادیر کربن آلی خاک، بیش‌ترین اختلافات معنی‌دار میان مقادیر مخازن کربن آلی فعال در ضخامت‌های سطحی خاک، به‌ویژه در ضخامت ۲۰-۰ سانتی‌متری مشاهده شد. در این رابطه بیش‌ترین مقادیر اندازه‌گیری شده برای همه مخازن کربن آلی فعال در گونه درختی توسکا و در ضخامت ۲۰-۰ سانتی‌متر مشاهده گردید. همچنین در این ضخامت به‌استثنای کربن معدنی‌شده (فرآیند تنفس) که کم‌ترین مقدار آن به‌میزان $1250/03$ میلی‌گرم در کیلوگرم در کاج تدا مشاهده گردید، کم‌ترین مقادیر سایر مخازن

از این توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (۵۶، ۵۷). نتایج حاصل از آنالیز همبستگی صفات (جدول ۳) نشان می‌دهد که با توجه به ضرایب بالای همبستگی مخازن کربن آلی محلول در آب با کربن زیست‌توده میکروبی، تأثیر نوع گونه درختی بر کیفیت خاک انعکاس بیشتری در میزان مخازن کربن فعال داشته است. در این رابطه غنی (۲۰۰۳)، وانگ و وانگ (۲۰۰۷) و وانگ و همکاران (۲۰۱۱) گزارش نمودند که کربن آلی محلول در آب داغ در مقایسه با سایر مخازن کربن آلی محلول در آب همبستگی بیشتری با تغییرات کربن زیست‌توده میکروبی ناشی از تغییر کاربری خاک دارد (۵۶، ۵۷، ۱۱). با این وجود نتایج پژوهش حاضر نشان داد که بیش‌ترین ضریب همبستگی (۰/۹۵۶، $P < ۰/۰۱$) میان کربن زیست‌توده میکروبی و کربن آلی محلول در آب سرد مشاهده شد. همچنین میزان همبستگی کربن آلی محلول در آب داغ

از این توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (۵۶، ۵۷). نتایج حاصل از آنالیز همبستگی صفات (جدول ۳) نشان می‌دهد که با توجه به ضرایب بالای همبستگی مخازن کربن آلی محلول در آب با کربن زیست‌توده میکروبی، تأثیر نوع گونه درختی بر کیفیت خاک انعکاس بیشتری در میزان مخازن کربن فعال داشته است. در این رابطه غنی (۲۰۰۳)، وانگ و وانگ (۲۰۰۷) و وانگ و همکاران (۲۰۱۱) گزارش نمودند که کربن آلی محلول در آب داغ در مقایسه با سایر مخازن کربن آلی محلول در آب همبستگی بیشتری با تغییرات کربن زیست‌توده میکروبی ناشی از تغییر کاربری خاک دارد (۵۶، ۵۷، ۱۱). با این وجود نتایج پژوهش حاضر نشان داد که بیش‌ترین ضریب همبستگی (۰/۹۵۶، $P < ۰/۰۱$) میان کربن زیست‌توده میکروبی و کربن آلی محلول در آب سرد مشاهده شد. همچنین میزان همبستگی کربن آلی محلول در آب داغ

جدول ۳- میزان همبستگی مخازن فعال (لابایل) کربن آلی و خصوصیات خاک.

Table 3. Correlation coefficient among basic soil properties and labile soil organic carbon pools.

	BD	HWEOC	CWEOC	CHO _(TN)	CEC	pH	EC	C:N	SOC	MWD	MBC	C _{Mn}
HWEOC	-0.915**											
CWEOC	-0.805**	0.900**										
CHO _(TN)	-0.865**	0.960**	0.964**									
CEC	-0.824**	0.904**	0.980**	0.952**								
pH	-0.900**	0.856**	0.734**	0.797**	0.796**							
EC	-0.931**	0.958**	0.895**	0.934**	0.914**	0.904**						
C:N	-0.816**	0.756**	0.654**	0.707**	0.712**	0.839**	0.865**					
SOC	-0.868**	0.893**	0.870**	0.892**	0.890**	0.869**	0.926**	0.699**				
MWD	-0.828**	0.911**	0.976**	0.956**	0.997**	0.800**	0.915**	0.718**	0.886**			
MBC	-0.776**	0.878**	0.956**	0.949**	0.907**	0.647**	0.832**	0.528**	0.816**	0.906**		
C _{Mn}	-0.523**	0.653**	0.613**	0.646**	0.560**	0.448**	0.561**	0.156*	0.640**	0.562**	0.699**	
TN	-0.834**	0.828**	0.734**	0.768**	0.755**	0.813**	0.913**	0.925**	0.777**	0.759**	0.641**	0.441**

توصیف پارامترها در جدول‌های ۱ و ۲ آورده شده است.

Parameters description is available in Tables 1 and 2.

نتیجه‌گیری کلی

دارا بودن سیستم همزیستی با قارچ میکوریزا و اکتینومیست‌ها و توانایی تثبیت نیتروژن مولکولی اثرات ویژه‌ای بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک و متعاقب آن بهبود کیفیت و سلامت خاک داشته است. در نهایت با توجه به تغییرات مشابه مخازن فعال کربن آلی، مجموعه‌ای از این مخازن به‌ترتیب کربن محلول در آب سرد، کربن محلول در آب داغ و کربن کربوهیدرات محلول در آب داغ جهت معیارهای مدیریتی و نظارتی کیفیت و سلامت خاک در مناطق مشابه اقلیم محل مورد مطالعه انتخاب شدند.

نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان داد، گونه‌های درختی قادرند اثرات متفاوتی بر مخازن فعال کربن آلی و ویژگی‌های کیفی خاک داشته باشند. اثرات درختان مختلف بر ویژگی‌های خصوصیات مورد بررسی نشان‌دهنده بهبود کیفیت و سلامت خاک در نتیجه استقرار گونه‌های درختی پهن‌برگ می‌باشد. علاوه بر میزان بالای اندوخته کربن آلی خاک تحت پوشش درختان پهن‌برگ، توزیع یکنواخت آن نیز در طول خاک‌رخ خاک بیشتر از گونه‌های سوزنی‌برگ می‌باشد. در میان گونه‌های پهن‌برگ، توسکا به‌دلیل

منابع

1. Alvarez, E., Fernandez Marcos, M.L., Torrado, V., and Fernandez Sanjurjo, M.J. 2008. Dynamics of macronutrients during first stage of litter decomposition from forest species in a temperate area (Galicia, NW Spain). *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 80: 3. 243-256.
2. An, S., Mentler, A., Mayer, H., and Blum, W.E.H. 2010. Soil aggregation, aggregate stability, organic carbon and nitrogen in different soil aggregate fractions under forest and shrub vegetation on the Loess Plateau, China. *Catena*. 81: 226-233.
3. Barbier, S., Gosseline, F., and Balandier, P. 2008. Influence of tree species on understory vegetation diversity and mechanisms involved-A critical review for temperate and boreal forests. *Forest Ecology and Management*. 254: 1-15.
4. Beheshti, A., Raiesia, F., and Golchin, A. 2012. Soil properties, C fractions and their dynamics in land use conversion from native forests to croplands in northern Iran. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 148: 121-133.
5. Binkley, D., and Giardina, C. 1998. Why do tree species affect soils? The warp and woof of tree-soil interactions. *Biogeochemistry*. 42: 89-106.
6. Bremner, J.M., and Mulvaney, C.S. 1982. Nitrogen-total. P 595-624, In: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds.), *Methods of Soil Analyses*. Part 2: Chemical and Microbiological Properties. 2nd ed. American Society of Agronomy, Madison, WI.
7. Celik, I. 2005. Land use effects on organic matter and physical properties of soil in a southern Mediterranean high land of Turkey. *Soil and Tillage Research*. 83: 270-277.
8. Chen, C.R., Xu, Z.H., and Mathers, N.J. 2004. Soil carbon pools in adjacent natural and plantation forests of subtropical Australia. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 282-291.
9. Chiti, T., Cerini, A., Puglisi, A., Sanesi, A., and Capperucci, C. 2006. Effects of associating an N-fixer species to monotypic oak plantations on the quantity and quality of organic matter in mine soils. *Geoderma*. 61: 35-43.
10. Cools, N., Vesterdal, L., De Vos, B., Vanguelova, E., and Hansen, K. 2014. Tree species is the major factor explaining C: N ratios in European forest soils. *Forest Ecology and Management*. 311: 3-16.
11. Ghani, A., Dexter, M., and Perrott, K. 2003. Hot-water extractable carbon in soils: a sensitive measurement for determining impacts of fertilisation, grazing and cultivation. *Soil Biology and Biochemistry*. 35: 9. 1231-1243.
12. Golchin, A., and Asgari, H. 2008. Land use effects on soil quality indicators in north-eastern Iran. *Soil Research*. 46: 1. 27-36.

13. Golchin, A., Clarke, R., Oades, J.M., and Skjemstad, J.O. 1995. The effects of cultivation on the composition of organic matter and structural stability of soils. *Soil Research*. 33: 975-993.
14. Gregorich, E.G., Beare, M.H., Stoklas, U., and St-Georges, P. 2003. Biodegradability of soluble organic matter in maize-cropped soils. *Geoderma*. 113: 237-252.
15. Hagen-Thorn, A., Callesen, I., Armolaitis, K., and Nihlgard, B. 2004a. The impact of six European tree species on the chemistry of mineral topsoil in forest plantations on former agricultural land. *Forest Ecology and Management*. 195: 373-384.
16. Hamkalo, Z., and Bedernichek, T. 2014. Total, cold and hot water extractable organic carbon in soil profile: impact of land-use change. *Zemdirbyste –Agriculture*. 101: 2. 125-132.
17. Hao, X., Ball, B.C., Culley, J.L.B., Carter, M.R., and Parkin, G.W. 2008. Soil density and porosity. P 743-759, In: M.R. Carter and E.G. Gregorich (Eds.), *Soil Sampling and Methods of Analysis*. Canadian Society of Soil Science, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL.
18. Harison, K.G., Broecker, W.S., and Bonani, G. 1993b. The effect of changing land use on soil radiocarbon. *Science*. 262: 725-726.
19. Haynes, R.J., and Francis, G.S. 1993. Changes in microbial biomass C, soil carbohydrate composition and aggregate stability induced by growth of selected crop and forage species under field conditions. *Europ. J. Soil Sci*. 44: 665-675.
20. Jandl, R., Lindner, M., Vesterdal, L., Bauwens, B., Baritz, R., Hagedorn, F., Johnson, D.W., Minkinen, K., and Byrne, K.A. 2007. How strongly can forest management influence soil carbon sequestration. *Geoderma*. 137: 253-268.
21. Jiang, P.K., and Xu, Q.F. 2006. Abundance and dynamics of soil labile carbon pools under different types of forest vegetation. *Pedosphere*. 16: 4. 505-511.
22. Jinenez, M.P., Horra, A.M., Pruzzo, L., and Palma, R.M. 2002. Soil quality: a new index based on microbiological and biochemical parameter. *Biology and Fertility of Soils*. 35: 302-306.
23. Jobbágy, E.G., and Jackson, R.B. 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications*. 10: 423-436.
24. Johnson, D.W., and Curtis, P.S. 2001. Effects of forest management on soil C and N storage: Meta analysis. *Forest Ecology and Management*. 140: 227-238.
25. Kara, O., and Baykara, M. 2014. Changes in soil microbial biomass and aggregate stability under different land use in the northern Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*. 186: 3801-3808.
26. Kavvadias, V.A., Alifragis, A., Tsiontsis, G., Brofas, G., and Stamatelos, G. 2001. Litterfall, litter accumulation and litter decomposition rates in four forest ecosystem in northern Greece. *Forest Ecology and Management*. 144: 113-127.
27. Kolar, L., Kuzel, S., Horacek, J., Cechova, V., Borova-Batt, J., and Peterka, J. 2009. Labile fraction of soil organic matter, their quantity and quality. *Plant, Soil and Environment*. 55: 245-251.
28. Kroetsch, D., and Wang, C. 2008. Particle size distribution. P 713-725, In: M.R. Carter and E.G. Gregorich (Eds.), *Soil Sampling and Methods of Analysis*. Canadian Society of Soil Science, CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, FL.
29. Lal, R., Negassa, W., and Lorenz, K. 2015. Carbon sequestration in soil. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 15: 79-86.
30. Liu, C.H., and Luo, R.Y. 1990. Chemical characteristics of humus in forest soils of Nanjing-Zhenjiang Hills. *J. Nanjing Forest. Univ*. In: Jiang, P.K., and Xu, Q.F. 2006. Abundance and dynamics of soil labile carbon pools under different types of forest vegetation. *Pedosphere*, 16: 4. 505-511.
31. McLean, E.O. 1982. Soil pH and lime requirement. P 199-224, In: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds.), *Methods of Soil Analyses. Part 2: Chemical and Microbiological Properties*. 2nd ed. American Society of Agronomy, Madison, WI.
32. Miller, J.J., and Curtin, D. 2008. Electrical Conductivity and Soluble Ions. P 161-171, In: M.R. Carter and E.G. Gregorich (Eds.), *Soil Sampling and Methods of Analysis*. Canadian Society of Soil Science, CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, FL.

33. Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. P 539-579, In: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 2: Chemical and Microbiological Properties*. 2nd ed. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI.
34. Oostra, S., Majdi, H., and Olsson, M. 2006. Impact of tree species on soil carbon stocks and soil acidity in southern Sweden. *Scandinav. J. For. Res.* 21: 364-371.
35. Parsakhoo, A., Lotfalian, M., Kavian, A., and Hosseini, S.A. 2014. Assessment of soil erodibility and aggregate stability for different parts of a forest road. *J. For. Res.* 25: 1. 193-200.
36. Pérez-Cruzado, C., mansilla-salinero, P., Rodríguez-Soalleiro, R., and Merino, A. 2012. Influence of tree species on carbon sequestration in afforested pastures in a humid temperate region. *Plant and Soil.* 353: 333-353.
37. Piccolo, A. 1996. *Humic substances in terrestrial ecosystems*. Elsevier. Netherlands, 675p.
38. Powlson, D.S., Whitmore, A.P., and Goulding, K.W.T. 2011. Soil carbon sequestration to mitigate climate change: a critical re-examination to identify the true and the false. *Europ. J. Soil Sci.* 62: 42-55.
39. Ramesh, T., Manjaiah, K., Mohopatra, K., Rajasekar, K., and Ngachan, S. 2015. Assessment of soil organic carbon stocks and fractions under different agroforestry systems in subtropical hill agroecosystems of north-east India. *Agroforestry Systems.* 89: 677-690.
40. Rasse, D.P., Li, J.H., and Drake, B.G. 2005. Seventeen years of elevated CO₂ exposure in a Chesapeake Bay wetland: Sustained but contrasting responses of plant growth and CO₂ uptake. *Global Change Biology.* 11: 369-377.
41. Razavi, S.A. 2010. Comparison of Soil Characteristics and Biodiversity in Plantations of Bald Cypress and Caucasian Alder (Case Study: Kludeh-Mazandaran Province). *J. Wood For. Sci. Technol.* 17: 2. 41-56. (In Persian)
42. Reich, P.B., Oleksyn, J., Modrzynski, J., Mrozinski, P., Hobbie, S.E., Eissenstat, D.M., Chorover, J., Chadwick, O.A., Hale, C.M., and Tjoelker, M.G. 2005. Linking litter calcium, earthworms and soil properties: a common garden test with 14 tree species. *Ecology Letters.* 8: 811-818.
43. Resh, S.C., Binkley, D., and Parrotta, J.A. 2002. Greater soil carbon sequestration under Nitrogen-fixing trees compared with Eucalyptus species. *Ecosystems.* 5: 217-231.
44. Rilling, M.C., and Mummey, D.L. 2006. Mycorrhizas and soil structure. *New Phytologist.* 171: 41-53.
45. Rhoades, J.D. 1982a. Cation exchange capacity. P 149-157, In: A.L. Page, R.H. Miller and R. Keeney (Eds.), *Methods of Soil Analysis., Part 2: Chemical and Microbiological Properties.*, 2nd ed. American Society of Agronomy, Madison WI.
46. Sagheb-Talebi, K., Sajedi, T., and Pourhashemi, M. 2014. *Forests of Iran: A treasure from the past, a hope for future*. Plant and Vegetation, Vol. 10, Springer Verlag, Dordrecht, 152p.
47. SAS Institute, Inc. 2002. *Statistical Analysis Software Version 8.2 for Microsoft Windows*. SAS Institute Inc. SAS Institute, Cary, NC.
48. Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S., and Denef, K. 2004. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil and Tillage Research.* 79: 7-31.
49. Six, J., Callewaert, P., Lenders, S., Gryze, S.D., Morris, S.J., Gregorich, E.G., Paul, E.A., and Paustian, K. 2002a. Measuring and understanding carbon storage in afforested soils by physical fractionation. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 66: 1981-1987.
50. Smolander, A., and Kitunen, V. 2002. Soil microbial activities and characteristics of dissolved organic C and N in relation to tree species. *Soil Biology and Biochemistry.* 34: 651-660.
51. Soil Survey Staff. 2010. *Keys to soil taxonomy*. USDA Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.

52. Theng, B.K.G., Ristori, G.G., Santi, C.A., and Percival, H.J. 1999. An improved method for determining the specific surface areas of top soils with varied organic matter content, texture and clay mineral composition. *Europ. J. Soil Sci.* 50: 309-316.
53. Vance, E.D., Brookes, P.C., and Jenkinson, D.S. 1987. Microbial biomass measurements in forest soils: the use of the chloroform fumigation incubation method for strongly acid soils. *Soil Biology and Biochemistry.* 19: 697-702.
54. Varamesh, S., Hosseini, S.M., Abdi, N., and Akbarinia, M. 2010. Increment of soil carbon sequestration due to forestation and its relation with some physical and chemical factors of soil. *Iran. J. For.* 2: 1. 25-35. (In Persian)
55. Wang, D., Wang, B., and Niu, X. 2014. Effects of natural forest types on soil carbon fraction in North-East China. *J. Trop. For. Sci.* 26: 3. 362-370.
56. Wang, Q., and Wang, S. 2007. Soil organic matter under different forest types in Southern China. *Geoderma.* 142: 3. 349-356.
57. Wang, Q., and Wang, S. 2011. Response of labile soil organic matter to changes in forest vegetation in subtropical regions. *Applied soil ecology.* 47: 3. 210-216.
58. Withington, J.M., Reich, P.B., Oleksyn, J., and Eissenstat, D.M. 2006. Comparisons of structure and life span in roots and leaves among temperate trees. *Ecological Monographs.* 76: 3. 81-397.
59. Yousefi, M., Hajabbasi, M., and Shariatmadari, H. 2008. Cropping system effects on carbohydrate content and water-stable aggregates in a calcareous soil of Central Iran. *Soil and Tillage Research.* 101: 57-61.

Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 24(1), 2017
<http://jwsc.gau.ac.ir>

**Measurement of changes in labile pools of soil organic carbon
and some soil properties under forest tree species in Northern Iran
(Case study: Shalman Seed and Seedling of Forest Tree Species
Research Station, Guilan Province)**

***K. Atashnama¹, A. Golchin² and S.A. Musavi Kupa³**

¹Ph.D Student, Dept. of Soil Science, University of Zanjan, ² Professor, Dept. of Soil Science, University of Zanjan, ³Assistant Prof., Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Guilan

Received: 05/17/2016; Accepted: 05/14/2017

Abstract

Background and Objectives: Deep insight about the different effect of forest tree species on soil quality properties have made soil health monitoring perspective clear concerning sustainable management; however, restoration and reclamation of deteriorates inflicted on natural ecosystems may be managed through proper selection of tree species. In this study, in order to select suitable tree species in afforestation projects, Shalman Seed and Seedling of Forest Tree Species Research Station (Guilan province) was chosen as a study area to investigate carbon storage rates and effect of conifers and broadleaves on soil properties. Consequently, soil carbon labile pools were evaluated to present unique sensitive indicator of health and soil quality.

Materials and Methods: Sampling of 10 layers with thickness of 20 cm were taken from 0-200 cm depth under selected tree species plots, including *Populus caspica*, Oak (*Quercus castaneifolia*), Alder (*Alnus glutinosa*), Bald cypress (*Taxodium distichum*), Loblolly pine (*Pinus taeda*) and Juniper (*Juniperus polycarpus*). Cation exchange capacity, mean weight diameter, EC, pH, bulk density, total nitrogen, soil organic carbon and its labile pools were analyzed in soil samples of 0-20, 20-40, 40-60 and 60-80 cm and just for carbon storage measurements all of 10 layers (0-200 cm) were considered. The experiments were of randomized complete block (RCB) designs. Data for the same soil interval were subjected to two-way analysis of variance (ANOVA). Person linear Correlation method was used to determine sensitive indicators of soil quality.

Results: Preliminary results indicated the significant effects of tree species on soil properties during soil depth. Despite insignificant differences in EC, pH and BD, our results showed that significant alterations by tree species types were found in the 0-20 cm soil layer. However, the greatest difference on CEC and MWD values were also observed in the 0-20 cm soil thickness between Alder vs. Juniper; and Alder vs. Bald cypress, respectively. All species had also higher total nitrogen (TN) and soil organic carbon (SOC) in the top soil layer (0-20 cm) followed the order: *A. glutinosa* > *Q. castaneifolia* > *P. caspica* > *J. polycarpus* > *T. distichum* > *P. taeda*. The measured amount of total soil organic carbon as a carbon storage was the highest and the lowest under Alder (*A. glutinosa*) and Loblolly pine (*Pinus taeda*) with 206.24 and 136.94 (ton OC ha⁻¹), respectively.

Conclusion: Broadleaves, especially N fixer species such as Alder had the greatest effect on soil quality properties. Broadleaves had also great potential for carbon storage with more uniform distribution during soil depth. However, among broadleaves, Alder had great effect on soil properties and soil organic matter. Finally, according to correlation values, no single and more sensitive organic carbon pool as a soil quality indicator of forest tree species changes was selected, but the complex of soil organic carbon pools could be used as sensitive indicators of soil quality and health.

Keywords: Labile soil organic carbon, Water soluble organic carbon, Soil properties, Coniferous, Broadleaf, Carbon storage (stocks), Soil depth

* Corresponding Author; Email: k_atashnama@znu.ac.ir