فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران
جلد ۲۳ شماره ۱، صفحه ۱۱۶-۱۰۴، (۱۳۹۴)

تغییرات مخزن کربن آلی خاک در حاشیه‌های مرزی جنگل- شالیزار (پژوهش موردی: پارک جنگلی شهرستان نور)

علی‌اصغر واحدی*[۱] و علیرضا بیژنی‌نژاد[۲]

۱*- نویسنده مسئول، دکتری جنگلداری، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
پست الکترونیک: Ali.vahedi60@gmail.com
۲- کارشناس ارشد جنگلداری، دانشگاه آزاد اسلامی چالوس، چالوس، ایران

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۴/۰۲ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۰/۲۲

چکیده

ذخایر مخزن کربن آلی خاک جنگل نقش مهمی در رابطه با کاهش اثرات تغییر پارامترهای اقلیمی و مقدار تولیدات زی‌توده‌های گیاهی ایفا می‌کند و تبدیل کاربری اراضی جنگلی سبب هدررفت این ذخایر می‌شود. در پژوهش پیش‌رو روند تغییرات ذخایر مخزن کربن آلی خاک از داخل جنگل به سمت داخل شالیزار مجاور آن بررسی شد. دو بخش ۱۰ هکتاری مجزا در پارک جنگلی نور با تیپ پوشش گیاهی مشابه (پلت- انجیلی) در مجاورت زمین‌های کشاورزی برای انجام مطالعه انتخاب شد. برای نمونه‌برداری خاک (صفر تا ۲۰ سانتی‌متر و ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متر)، در فصل غیررویش ابتدا یک ترانسکت عمودی از حاشیه مرزی جنگل به فاصله صفر تا ۱۰، ۳۰ تا ۴۰، ۷۰ تا ۸۰ و ۱۰۰ تا ۱۱۰ متر به سمت داخل جنگل و صفر تا ۱۰ متر به سمت داخل شالیزار جانمایی شد. به‌منظور کاهش تغییرات نمونه‌برداری خاک در داخل جنگل، کلیه نمونه‌برداری‌ها با سه تکرار در اطراف درختان غالب توده که حداقل ۱۰ متر از یکدیگر فاصله داشتند، انجام شد. در هر یک از فواصل مذکور در فصل رویش، شدت نور با استفاده از دستگاه فتومتر در یک فاصله ثابت از سطح زمین بر حسب ولت بر مترمربع اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل از آزمون t جفتی نشان داد که موجودی کربن عمق فوقانی خاک چه در جنگل و چه در شالیزار دارای مقادیر بیشتری نسبت به عمق تحتانی خاک می‌باشند. با توجه به نتایج تجزیه‌واریانس یکطرفه، ذخایر مخزن کربن آلی خاک در عمق‌های مختلف در فواصل مختلف داخل جنگل تغییرات معنی‌داری نداشتند. جالب توجه بود که بین ذخایر کربن آلی اعماق مختلف خاک شالیزار و جنگل اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. از طرفی نتایج آزمون همبستگی پیرسون نشان داد که فقط بین ذخایر کربن آلی سطوح فوقانی خاک‌های اراضی جنگلی، شالیزار و شدت نور دریافتی رابطه وارونه وجود دارد ($r = -۰/۳۷$).

واژه‌های کلیدی: پلت، ترسیب کربن، خاک غرقابی، شدت نور، مرز جنگل- شالیزار.

مقدمه

یکی از راه‌های کاهش اثرات تغییر پارامترهای اقلیمی، ترسیب هر چه بیشتر کربن اتمسفری در اکوسیستم‌های جنگلی می‌باشد که در این رابطه اتخاذ یک استراتژی مناسب در امر مدیریت جنگل ضرورت دارد (Jandl *et al.*, 2007). یکی از مهمترین و بزرگترین حوضچه‌های ترسیب کربن در جنگل‌ها، مخازن کربن آلی خاک‌های جنگلی بوده که حدود ۷۰ درصد از ذخایر کربن آلی خاک کلیه

اکوسیستم‌های خشکی را به‌خود اختصاص می‌هد (Jandl *et al*., 2007). مخازن کربن آلی خاک در جنگل نه تنها نقش مهمی را در چرخه جهانی کربن و کاهش اثر تغییر پارامترهای اقلیمی ایفا می‌کنند، بلکه نقش بسیار مهمی در رابطه با میزان تولید زی‌توده‌های گیاهی و پویایی جنگل بر عهده دارند (Nave *et al*., 2010). پوشش‌های گیاهی جنگل و کلیه اجزاء حیاتی مرتبط با آن شامل زی‌توده هوایی (Above-ground biomass)، زی‌توده زیرزمینی (Below-ground biomass) و بستر رویی جنگل (Forest floor)، در سطح خاک و یا در عمق‌های مختلف آن می‌توانند منابع مؤثر ذخایر مخزن کربن آلی سطوح مختلف خاک محسوب شوند. بنابراین شناسایی عوامل و مکانیسم‌هایی که در این راستا بر تغییرات ترسیب کربن دخیل هستند، اهمیت زیادی برای مدیریت موجودی کربن خاک جنگل می‌تواند داشته باشد (Lal, 2005; Hedde *et al*., 2008; Rodriguez-Loinaz *et al*., 2008).

البته در مطالعات کوتاه‌مدت و یا در پروژه‌های بلندمدت، تاکنون شناسایی عامل‌های اصلی که در راستای مکانیسم‌های مختلف سبب تأثیرگذاری برجسته بر روی تعادل، پویایی و تغییرات موجودی کربن آلی در حوضچه‌های مختلف ازجمله خاک شده‌اند، دارای عدم قطعیت زیادی می‌باشند (De Deyn *et al*., 2008; Rustad, 2006). معمولاً تعیین مقادیر ترسیب کربن خاک بسیار طاقت فرسا، هزینه‌بر و دارای تغییرپذیری زیاد به‌خصوص در سطوح مختلف (عمق‌های متفاوت) می‌باشد (Nave *et al*., 2010; Jandl *et al*., 2007). بنابراین شناسایی عوامل تأثیرگذار بر میزان تغییرات ذخایر مخزن کربن آلی خاک می‌تواند راهکار مناسبی برای بهبود مدیریت پایدار با هدف افزایش تولیدات جنگل و کاهش معضلات آب و هوایی پیش‌رو باشد.

یکی از عمده مسائل تخریب جنگل‌ها در دهه‌های گذشته در شمال ایران به‌ویژه مناطق جلگه‌ای، تبدیل این مناطق به زمین‌های کشاورزی بود که این امر باعث شد که جنگل‌های جلگه‌ای امروزه فقط به‌صورت لکه‌هایی در مناطق مختلف شمال ایران مشاهده شود. یکی از این لکه‌های وسیع، پارک جنگلی نور است که یکی از بزرگترین و جزء آخرین باقیمانده‌های جنگل‌های جلگه‌ای کرانه دریای کاسپین محسوب می‌شود. در دهه‌های نه چندان دور، مرز برخی از نواحی رویشگاه‌های جنگل فوق‌الذکر به‌دلیل تبدیل به اراضی کشاورزی کاهش یافته است. طی دو قرن اخیر، تقریباً نصف ذخایر کربن آلی خاک جنگل‌های تحت مدیریت بر اثر تغییر کاربری و تبدیل به زمین‌های کشاورزی دوباره وارد اتمسفر شده است (McCarl *et al*., 2007). از این‌رو تغییر جنگل به اراضی کشاورزی می‌تواند خطر جدی در رابطه با کاهش موجودی ذخایر کربن خاک محسوب شود. Ingram و Femandes (۲۰۰۱) بیان کردند که خاک جنگل‌های استوایی در اثر تبدیل به اراضی کشاورزی، ۴۰-۱۵ درصد از ذخایر کربن آلی خاک را طی یک دوره دوساله تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متری از دست دادند. همچنین Lal (۲۰۰۵) و Davidson و Ackerman (۱۹۹۳) عنوان نمودند که تبدیل جنگل‌ها به اراضی کشاورزی به‌طور میانگین باعث ۲۰ تا ۵۰ درصد کاهش موجودی کربن خاک و انتشار آن به اتمسفر می‌شود. Niknahad Gharmakher و Maramaei (۲۰۱۱) نیز بیان داشتند که تغییرات کاربری اراضی جنگلی به کشاورزی موجب به‌هم خوردن تعادل چرخه کربن می‌شود و این امر باعث تنفس هر چه بیشتر در خاک و در نهایت سبب کاهش ذخایر کربن آلی خالص در خاک می‌شود.

به‌دلیل اهمیت این رویداد، مطالعه حاضر در نواحی هم‌مرز پارک جنگلی با زمین‌های کشاورزی انجام شد. هدف اساسی پژوهش این است که با تغییر کاربری و طی تغییرات فاصله‌ای از نقاط صفر مرزی جنگل به سمت داخل آن چه تغییری در میزان ذخایر کربن آلی در سطوح مختلف خاک اتفاق می‌افتد و آیا با فاصله بیشتر از مرز و ورود بیشتر به داخل جنگل مقادیر ذخایر کربن خاک سیر صعودی پیدا می‌کند؟ با توجه به اینکه تغییرات ذخایر کربن خاک در فواصل مختلف از حاشیه جنگل مورد بررسی قرار می‌گیرد، عامل شدت نور نیز به‌عنوان عامل تعیین‌کننده مورد

اندازه‌گیری قرار گرفت. البته با توجه به اینکه شرایط فیزیکی جنگل موردمطالعه، کاملاً همگن بوده و فاقد شیب و تغییرات ارتفاعی می‌باشد، شدت نور به‌عنوان عامل متغیر محیطی در دسترس با قابلیت اندازه‌گیری برای تعیین تأثیرگذاری بر میزان ذخایر کربن خاک موردتوجه قرار گرفت. مقادیر مختلف شدت نور به‌نوعی باعث تغییر در میزان تجزیه‌پذیری بقایای گیاهی، فتوسنتز پوشش‌های گیاهی خرد و کلان، فعالیت‌های زیستی فون خاک و آنزیم‌های میکروارگانیسمی برای کاهش یا افزایش تنفس در خاک می‌شود که همه این موارد به‌نوعی بر میزان افزایش یا هدررفت مقادیر ذخیره شده کربن آلی خاک تأثیرگذار هستند (Hollingsworth *et al.*, 2008; Rodriguez-Loinaz *et al.*, 2008; Nave *et al.*, 2010). بنابراین بررسی تغییرات ذخایر کربن آلی خاک با توجه به دوری یا نزدیکی از حاشیه مرزی جنگل متناسب با تغییرات شدت نور آفتاب می‌تواند یکی از رویکردهای مناسب به‌منظور ارتقاء شناسایی عوامل تأثیرگذار بر ترسیب کربن خاک در ارتباط با نحوه مدیریت آن در جنگل‌های طبیعی محسوب شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

پارک جنگلی نور در استان مازندران به‌عنوان بزرگترین پارک جنگلی خاورمیانه، مساحتی بالغ بر حدود ۳۶۰۰ هکتار در منطقه تمیشان نور بین ۸ ′۵۲ تا ۲ ′۵۳ طول جغرافیایی و ′۳۲ ۳۶ تا ′۳۶ ۳۶ عرض جغرافیایی واقع می‌باشد. توپوگرافی کلیه رویشگاه‌های پارک جنگلی نور به‌صورت مسطح و پایین‌تر از ارتفاع از سطح دریا می‌باشد. خاک پارک از نوع آبرفتی و حاصل رسوبات ریزبافت تجمع‌یافته در قسمت مسطح کناره دریای کاسپین قرار گرفته و ازنظر عمق جزء خاک‌های عمیق تا نیمه‌عمیق است (Bakhshi *et al.*, 2013). بافت خاک لومی- رسی بوده که زهکشی آن به‌علت سنگین بودن بافت خاک و خلل و فرج کم به کندی صورت می‌گیرد (Bakhshi *et al.*, 2013). براساس گزارش‌های موجود سازمان‌های اجرایی وابسته به اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مازندران، یکی از عمده مشکلات تهدیدکننده پارک جنگلی نور، غرقابی بودن خاک‌ها در فصول بارندگی و نقصان زهکشی خاک و زوال درختان در اثر آن است.

محدوده موردمطالعه در پارک جنگلی نور در ضلع جنوب شرقی پارک جنگلی در مجاورت زمین‌های کشاورزی محدوده روستایی سیاهکلا قرار گرفته است. کل سطح مورد مطالعه ۲۰ هکتار است که شامل دو بخش ۱۰ هکتاری مجزا با تیپ پلت- انجیلی می‌باشد. در محدوده‌های مدنظر، گونه‌های درختی توسکا، ممرز و اوجا نیز پراکنش دارند. قدمت زمین‌های کشاورزی که از تبدیل جنگل‌های مجاور حاصل شده‌اند، حداقل به ۳۵ تا ۴۰ سال پیش می‌رسد. کل سطح زمین‌های کشاورزی مجاور منطقه موردمطالعه به‌طور کاملاً دقیق مشخص نشده است، اما به‌طور تخمینی ۱۰ تا ۱۵ هکتار از سطح منطقه را به‌خود اختصاص می‌دهند. میانگین بارندگی سالانه منطقه ۱۰۹۷ میلی‌متر، میانگین کمترین درجه حرارت سردترین ماه سال (دی) ۳/۷ درجه سانتی‌گراد و میانگین بیشترین درجه حرارت گرم‌ترین ماه سال (خرداد) ۳۰ درجه سانتی‌گراد است (Bakhshi *et al.*, 2013).

روش پژوهش و جمع‌آوری داده‌ها

ابتدا با جنگل گردشی و بازدیدهای صحرایی با استفاده از اطلاعات کارشناسی مدیریت حفاظتی پارک جنگلی نور، دو بخش ۱۰ هکتاری مجزا، کاملاً دور از دسترس برای تفرج، با تیپ پوشش گیاهی مشابه (پلت- انجیلی) و در مجاورت زمین‌های کشاورزی برای انجام مطالعه انتخاب شد. فاصله قطعات مجزا (Forest fragment) از یکدیگر تقریباً ۵۰۰ متر بود که به موازات یکدیگر قرار داشتند. برای نمونه‌برداری خاک ابتدا یک ترانسکت عمودی از حاشیه مرزی جنگل به فاصله صفر تا ۱۰، ۳۰ تا ۴۰، ۷۰ تا ۸۰ و ۱۰۰ تا ۱۱۰ متر به سمت داخل جنگل جانمایی شد و از طرفی ترانسکت فوق‌الذکر از نقطه صفر مرزی ۱۰ متر (صفر تا ۱۰ متر) نیز در داخل شالیزار پیاده‌سازی شد (Toledo-

Aceves & Garcia-oliva, 2008). به‌منظور کاهش تغییرپذیری نمونه‌برداری (Sampling variability)، کلیه نمونه‌برداری‌های خاک در هر یک از فواصل مذکور در اطراف گونه غالب توده انجام شد (Toledo-Aceves & Garcia-oliva, 2008). گونه غالب پلت بود که در سرتاسر محدوده موردمطالعه پراکنش داشت.

نمونه‌برداری خاک پس از کنار زدن کامل لایه‌های لاشبرگی از دو عمق صفر تا ۲۰ و ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متر انجام شد. نمونه‌برداری در هر یک از فواصل مذکور برای تعیین سطح معنی‌داری با سه تکرار انجام شد. با توجه به اینکه جمع‌آوری نمونه‌ها در اطراف درختان پلت با فاصله‌های ثابت انجام شد، بنابراین در هر بخش مجزا و در هر فاصله به‌طور تصادفی سه درخت پلت با فواصل حداقل ۱۰ متر از یکدیگر شناسایی شدند و تکرار انجام نمونه‌برداری‌های خاک در اطراف درختان با فاصله مذکور صورت گرفت (Toledo-Aceves & Garcia-oliva, 2008). در داخل زمین‌های کشاورزی مجاور هر قطعه جنگل موردمطالعه در فاصله عنوان شده نسبت به مرز جنگل، تکرار نمونه‌برداری‌ها به‌طور تصادفی انجام شد. نمونه‌برداری خاک در آستانه فصل غیر رویش (اواسط آبان ۱۳۹۲) انجام شد تا اثرات سیر دینامیکی خاک به خاطر پویایی رویش گیاهی و اوج فعالیت‌های میکروارگانیسمی ثابت درنظر گرفته شود (Vahedi, 2012). نمونه‌های خاک قبل از انتقال به داخل محیط آزمایشگاه در هوای آزاد کاملاً خشک شده و پس از خرد شدن کامل از الک‌های دو میلی‌متری عبور داده شدند. در این میان کلیه ناخالصی‌های خاک اعم از سنگریزه‌ها، خرده‌چوب‌ها و ریشه‌های بزرگتر از دو میلی‌متر جدا شدند. درنهایت کلیه مواد ازجمله ریشه‌ها، سنگریزه‌ها و کلیه مواد ریز کمتر از دو میلی‌متر جزء آنالیز آزمایشگاهی خاک قرار گرفتند (Peichl & Arain, 2006).

به‌منظور تعیین وزن ذخایر مخزن کربن آلی خاک (SOC: soil organic carbon) از رابطه $SOC=C\%\times BD\times D$ استفاده شد (Manrique *et al*., 2011; Jime´nez *et al*., 2007; Kirby & Potvin, 2007; Peichl & Arain, 2006). در این رابطه SOC مخزن کربن آلی خاک بر حسب گرم (g)، C ضریب کربن آلی به‌دست آمده در آزمایشگاه به روش والکی- بلاک، BD وزن مخصوص ظاهری (به‌دست آمده به روش کلوخه) بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب ($g.cm^{-3}$) و D ضخامت عمق خاک بر حسب سانتی‌متر می‌باشد. با تبدیل واحدهای اندازه‌گیری هر یک از متغیرها، مقادیر وزنی ذخایر کربن آلی خاک (SOC) بر حسب تن کربن در هکتار ($t\ C.ha^{-1}$) ارائه می‌شود.

برای انجام نورسنجی از دستگاه فتومتر استفاده شد. برای اندازه‌گیری مطلق شدت نور مستقیم در هر یک از فواصل مذکور دستگاه در یک فاصله ثابت از سطح زمین نگه داشته شد و نور دریافتی بر حسب ولت بر مترمربع ($v.m^{-2}$) اندازه‌گیری شد. برخلاف نمونه‌برداری خاک، نورسنجی در آستانه فصل رویشی طی یک ماه (اواسط اردیبهشت- خرداد ۱۳۹۲) به‌طور تصادفی و مساوی در روزهای ابری و آفتابی اندازه‌گیری شد و از میانگین مقادیر بدست آمده در بخش تجزیه‌وتحلیل داده‌ها استفاده شد. برداشت کمیت‌های قابل اندازه‌گیری برای پوشش‌های درختی به‌صورت عینی و برای پوشش‌های علفی به‌صورت ذهنی در همین فصل انجام شد.

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

نرمال بودن مشاهدات با استفاده از آزمون کولموگروف- سمیرنوف و همگنی داده‌ها با استفاده از آزمون لون موردبررسی قرار گرفت. برای بررسی مقادیر مشاهده شده بین دو عمق متفاوت خاک از آزمون t جفتی استفاده شد. برای بررسی اختلاف معنی‌داری شدت نور و ذخایر مخزن کربن آلی خاک به‌طور جداگانه در فواصل مختلف، حواشی مرز جنگل از آزمون تجزیه‌واریانس یکطرفه استفاده شد. همچنین برای مقایسه چندگانه میانگین بین گروه‌های مختلف (فاصله‌های نمونه‌برداری) از آزمون توکی (Tukey HSD) و برای تعیین همبستگی بین ذخایر کربن آلی خاک و شدت نور اندازه‌گیری شده از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد.

نتایج

با استناد به اینکه درختان پلت به‌عنوان گونه غالب منطقه موردمطالعه محسوب شدند، از این‌رو در جدول ۱ مشخصات کمی پایه‌های شاخص برای برداشت نمونه‌های خاک ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که دامنه اختلاف قطری پایه‌های درختان شاخص نسبت به دیگر کمیت‌های اندازه‌گیری شده بیشتر است، به‌طوری که اختلاف بین حداقل و حداکثر قطر پایه‌های شاخص ۵۰ سانتی‌متر می‌باشد (جدول ۱). ارائه میانگین قطر کوچک و قطر بزرگ تاج می‌تواند معیار مناسبی برای نشان دادن فراوانی (Abundance) پایه‌های مربوطه باشد. از این‌رو با توجه به جدول ۱ می‌توان فراوانی هر یک از گونه‌های درختی را تخمین زد. جدول ۲ نیز میانگین فراوانی پوشش گونه‌های مختلف علفی را بر حسب درصد پوشش در منطقه موردمطالعه نشان می‌دهد.

جدول ۱- مشخصات کمی (میانگین± اشتباه معیار) قابل اندازه‌گیری گونه‌های درختی در محدوده موردمطالعه

گونه	نام علمی	قطر برابر سینه (سانتیمتر)	ارتفاع کل (متر)	قطر کوچک تاج (متر)	قطر بزرگ تاج (متر)
پلت	*Acer velutinum* Boiss.	۵۵/۵ ± ۷/۵ (۳۰ – ۸۰)	۲۶ /۳ ± ۰/۸ (۲۵ – ۳۰)	۹ /۱ ± ۱/۶ (٤ – ١٤)	۱۱ /٦ ± ۱/۳ (۸ – ۱۵)
انجیلی	*Parrotia persica* C. A. May	۲۰ /۵ ± ۱/۵ (۱۸ – ۲۲)	۱۲ /۳ ± ۰/٦ (۱۱ – ۱۵)	٤ /۱ ± ۱/٦ (۳/۵ – ٤/۵)	٦ /٦ ± ۱/۲ (۵ – ۸)
ممرز	*Carpinus betulus* L.	۲۷ /۵ ± ۱/۵ (۲۳ – ۳۵)	۲۲ /۳ ± ۰/۷۱ (۲۰ – ۲۷)	٦ /۸ ± ۱/۳ (۵ – ۱۰)	۷ /٦ ± ۳/۳ (۵/۵ – ۱۲)
توسکا	*Alnus glutinosa* L.	٤۲ /۵ ± ۵/۳ (۲۵ – ۷۰)	۳۱ /٤ ± ۲/۸ (۲۹ – ۳٤)	٦ /۱ ± ۲/٦ (۵ – ۸/۵)	۸ /٦ ± ۰/۹۸ (۷ – ۱۲/۵)
اوجا	*Ulmus glabra* Huds.	۲۵ /۳ ± ۲/۸ (۲۲ – ۳۰)	۲۲ /۱ ± ۰/۸ (۲۰ – ۲٦/۵)	٤ /۵ ± ۱/۱ (۳ – ٦)	۸ /۰٤ ± ۰/۰۳ (۷ – ۹)

جدول ۲- میانگین (± اشتباه معیار) درصد پوشش گونه‌های درختچه‌ای و علفی در محدوده موردمطالعه

گونه	نام علمی	درصد پوشش
ولیک	*Crataegus microphylla* C. Koch	۲۲/۳۵ ± ۲/۸
تمشک	*Rubus persicus Boiss.*	۲۰ ± ۰/۸
کوله‌خاس	*Ruscus hyrcanus Woron.*	۱۵ ± ۰/۵
ازملک	*Smilax exelsa* L.	۵/٤ ± ۰/۰۷
دم اسبی	*Equisetum palustre* L.	۵/۲۵ ± ۰/۰۱
النا	*Oplismenus undulatifolius* P. Beauv.	٦۰/۵ ± ۹/۳
کارکس	*Carex sylvatica* Huds.	۱۵/٦۱ ± ۲/۰۳
سرخس‌نر	*Dryopteris filix-mass* (L.) Schott.	۵/۱۱ ± ۰/۰۵
بنفشه	*Viola odorata L.*	۱۲/۵ ± ۱/۸
آقطی	*Sambucus ebulus* L.	۱۰ ± ۰/٤
افسونگرشب	*Circaea lutetiana* L.	۷/۷ ± ۱/٦۳

نتایج آزمون t جفتی در جدول ۳ نشان داد که بین ضریب کربن محاسباتی، وزن مخصوص ظاهری و مخازن کربن آلی خاک جنگل در عمق اول و دوم اختلاف معنی‌داری وجود دارد ($P < ۰/۰۱$). با توجه به اختلاف

میانگین بین هر یک از مقادیر اندازه‌گیری شده در عمق‌های مختلف و با توجه به حدود اطمینان به‌دست آمده، کلیه مقادیر مربوط به عمق اول خاک در داخل جنگل به‌صورت معنی‌داری بیشتر می‌باشند (جدول ۳). از طرفی نتایج حاصل از آزمون مذکور مربوط به عمق‌های مختلف خاک در داخل شالیزار دامنه تغییرات مشابهی نسبت به مقادیر متغیر خاک داخل جنگل را نشان داد (جدول ۳). در بین مقایسه‌های انجام شده فقط وزن مخصوص ظاهری خاک در داخل شالیزار روند متفاوتی را نشان داد، به‌طوری‌که در عمق دوم به‌صورت معنی‌داری نسبت به عمق اول دارای مقدار بیشتری بود (جدول ۴). جدول ۴ اختلاف معنی‌دار میانگین ضریب کربن، وزن مخصوص ظاهری و مخزن کربن آلی خاک را در داخل جنگل و شالیزار به تفکیک در عمق اول و دوم نشان می‌دهد.

جدول ۳- نتایج آزمون t جفتی متغیرهای اندازه‌گیری شده (مشاهدات) خاک در داخل جنگل

منبع تغییرات	اختلاف میانگین	حدود اطمینان (سطح ۹۵ درصد)	t
جنگل			
ضریب کربن	۰/۳۲	۰/۲۱ –۰/٤٥	٥ /٥٤ **
وزن مخصوص ظاهری ($g.cm^{-3}$)	۰/۱٥	۰/۱۱ – ۰/۲۱	٥ /٦٨ **
مخزن کربن آلی ($Gg\ C.\ ha^{-1}$)	۱ ۳/۰۱	۹/۳ –۱٦/۳	۷ /۳۳ **
شالیزار			
ضریب کربن	۰/۳۳	۰/۲۹ –۰/۳۷	۲۱/٥۳ **
وزن مخصوص ظاهری ($g.cm^{-3}$)	–۰/۰۷	(-۰/۰۹) – (–۰/۰٤)	–٦ /۳۹ **
مخزن کربن آلی ($Gg\ C.\ ha^{-1}$)	۷/۲	٦/٤ – ۷/۹	۲٤/٥۹ **

** معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد

جدول ۴- میانگین (± اشتباه معیار) ضریب کربن خاک، وزن مخصوص ظاهری و مخزن کربن آلی در عمق اول و دوم خاک

	ضریب کربن (%)	وزن مخصوص ($g.cm^{-3}$)	مخزن کربن آلی ($t\ C.\ ha^{-1}$)
جنگل			
عمق اول (۲۰–۰ cm)	۱/۲۸ ± ۰/۰۳ a	۱/٦۳ ± ۰/۰۲ a	۳۹/٦ ± ۱/٥ a
عمق دوم (٤۰–۲۰ cm)	۰/۹٥ ± ۰/۰۷ b	۱/۳۱ ± ۰/۰۳ b	۲٦/٦ ± ۲/۱ b
شالیزار			
عمق اول (۲۰–۰ cm)	۱/۲۷ ± ۰/۰۱۸ a	۱/۲٦ ± ۰/۰۱۱ b	۳۲/۳۱ ± ۰/٤۱ a
عمق دوم (٤۰–۲۰ cm)	۰/۹۳ ± ۰/۰۰۸ b	۱/۳۳ ± ۰/۰۰٦ a	۲٥/٥ ± ۰/۲ b

حروف لاتین متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار مقادیر میانگین بین دو عمق مختلف خاک است.

نتایج نشان داد که کلیه مقادیر وزنی کربن آلی خاک در سطوح مختلف در فاصله‌های مختلف از داخل شالیزار تا حد نهایی مرز جنگل (جدول ۵) دارای اختلاف معنی‌دار نیست ($P > ۰/۰٥$). نکته جالب توجه دیگر این است که اگر چه میزان شدت نور بین عرصه شالیزار و داخل جنگل دارای تفاوت معنی‌داری است ($P < ۰/۰۱$)، ولی بین مقادیر شدت

نور در داخل محدوده‌های (فواصل مختلف) نمونه‌برداری اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (جدول ۵). میانگین شدت نور برحسب ولت بر مترمربع در عرصه زمین‌های کشاورزی $v.m^{-2}$ ۰/۱۸ ± ۲/۲۱ و در داخل عرصه جنگل مجاور $v.m^{-2}$ ۰/۰۳ ± ۰/۱۱۶ می‌باشد (جدول ۵).

از طرفی نتایج نشان داد که ضریب کربن و جرم حجمی خاک با تناوب متفاوت در فاصله‌های مختلف داخل جنگل و شالیزار دارای تفاوت معنی‌داری است (جدول ۵). نتایج آزمون توکی نشان داد که بین ضرایب کربن عمق‌های مختلف خاک زمین‌های شالیزار و اراضی جنگلی اختلاف فاحشی وجود ندارد، ولی با نفوذ به عمق داخل جنگل به‌خصوص در فاصله ۱۰۰ تا ۱۱۰ متری، ضریب کربن در عمق دوم بیشتر می‌شود (جدول ۵). برخلاف آن، جرم حجمی خاک کاربری‌های موردمطالعه در عمق دوم اختلاف معنی‌داری نداشتند، ولی جرم حجمی سطوح فوقانی خاک شالیزار (صفر تا ۲۰ سانتی‌متر) به‌طور معنی‌داری دارای مقادیر کمتری بودند (جدول ۵).

جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین آزمون توکی مربوط به شدت نور و کلیه ویژگی‌های خاک در عمق‌های مختلف

منبع تغییرات	جنگل				شالیزار
	۰ -۱۰ m	۳۰ -٤۰ m	۷۰ -۸۰ m	۱۰۰ -۱۱۰ m	۱۰ - ۰ m
شدت نور ($v.m^{-2}$)	۰/۱۵ b	۰/۰۷ b	۰/۱۹ b	۰/۰۲۲ b	۲/۲۱ a
ضریب کربن عمق اول	۱/۳٤ a	۱/۱۱ b	۱/۳۷ a	۱/۳۵ ab	۱/۲۷ ab
ضریب کربن عمق دوم	۰/۸۱ b	۰/۷۲ b	۱/۱۱ ab	۱/۱۹ a	۰/۹۳ b
وزن مخصوص ظاهری عمق اول	۱/۵۸ a	۱/۵۵ a	۱/٤۷ ab	۱/۵۳ a	۱/۲٦ b
وزن مخصوص ظاهری عمق دوم	۱/٤۰ a	۱/٤۵ a	۱/۳۱ a	۱/۳۳ a	۱/۳۳ a
مخزن کربن آلی عمق اول	٤۲/۵ a	۳۵/۵ a	٤۰/۵ a	٤۰/٦ a	۳۲/۳ a
مخزن کربن آلی عمق دوم	۲٤/۱ a	۲۲/٤ a	۲۸/٦ a	۳۱/۵ a	۲۵/۱ a

حروف متفاوت در هر ردیف نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد بین فاصله‌های مختلف می‌باشد.

ارتباط معنی‌دار بین کلیه مقادیر متغیرهای خاک و شدت نور اندازه‌گیری شده در فواصل مطالعاتی با استفاده از آزمون همبستگی پیرسون در جدول ۶ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که در کلیه مشاهدات، بین شدت نور و ضرایب کربن خاک در سطوح مختلف همبستگی معنی‌داری وجود ندارد (جدول ۶). از طرفی فقط بین شدت نور و جرم حجمی خاک در عمق اول ($r = -۰/۶۱۴$ ،$P < ۰/۰۱$) و شدت نور و ذخایر مخزن کربن آلی خاک در عمق دوم ($r = -۰/۳۶۶$ ،$P < ۰/۰۵$) ارتباط معنی‌دار وجود دارد. همچنین نتایج نشان داد که بین مقادیر مختلف شدت نور و ویژگی‌های مذکور خاک به‌طور معنی‌دار همبستگی وارونه وجود دارد.

جدول ۶- نتایج به‌دست‌آمده از آزمون همبستگی پیرسون بین مقادیر متغیرهای خاک و شدت نور در کلیه محدوده‌های موردمطالعه

متغیرهای خاک (جنگل و شالیزار)	شدت نور ($v.m^{-2}$)
ضریب کربن عمق اول	-۰/۰۰۲ ns
ضریب کربن عمق دوم	۰/۰۱۲ ns
وزن مخصوص ظاهری عمق اول	-۰/٦١٤ **
وزن مخصوص ظاهری عمق دوم	-۰/۰۹۹ ns
مخزن کربن آلی عمق اول	-۰/۳٦٦ *
مخزن کربن آلی عمق دوم	-۰/۰۳۷ ns

** معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد * معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد ns غیر معنی‌دار

بحث

نتایج به‌دست آمده از این پژوهش برخلاف انتظار نشان داد که مخازن کربن آلی خاک جنگل موردمطالعه در سطوح مختلف (عمق‌های متفاوت) تفاوت معنی‌داری با ذخایر انباشت شده کربن در زمین‌های کشاورزی ندارد، درنتیجه سه نکته اساسی را می‌توان مطرح کرد. اول اینکه ذخایر کربن آلی خاک محدوده‌های موردمطالعه پس از تبدیل کاربری در طی دهه‌های اخیر، ذخایر کربن آلی خود را از دست ندادند. دوم اینکه طی فرآیند بیولوژیکی حاصل از کشت و زرع، ذخایر کربن آلی خاک زمین‌های شالیزار به هدر نرفته است و سوم اینکه احتمالاً به‌دلیل غرقابی شدن خاک داخل جنگل که در چند دهه اخیر بیش از پیش فزونی یافته است، مخازن کربن آلی خاک به‌علت فروپاشی ساختار فیزیکی و مکانیکی آن به‌دلیل تناوب غرقابی شدن یا هدر رفته است و یا اینکه ظرفیت جاری مخازن مذکور به‌دلیل حبس CO_2 در آن، حداقل تنفس و روند خیلی کند تجزیه مواد آلی تاکنون تغییر نیافته است و از این نظر میزان آن با مخازن کربن آلی سطوح خاک شالیزار که چند ماه از سال نیز غرقابی هستند، تفاوتی ندارند.

بارزترین تفاوت ظاهری بین زمین‌های کشاورزی و جنگل‌ها حضور پوشش‌های گیاهی فراوان‌تر در اکوسیستم‌های جنگلی در قالب درخت، درختچه و گیاهان علفی است. Hollingsworth و همکاران (۲۰۰۸) طی مطالعاتی در رابطه با تأثیر ترکیب پوشش گیاهی بر ذخایر کربن آلی خاک عنوان کردند که گونه‌های غالب گیاهی به این دلیل که سهم قابل‌توجهی را در رابطه با حوضچه‌های زیستی و چرخه آن در بر می‌گیرند، تأثیر بسزایی بر میزان ذخایر کربن خاک دارند. به‌طور کلی پژوهش‌های متفاوت نشان داده‌اند که مقدار کربن و مواد آلی خاک بستگی به پوشش گونه‌های موجود در اشکوب فوقانی جنگل دارد (Rouhi-moghaddam *et al.*, 2008). به‌عنوان مثال Jandl و همکاران (۲۰۰۷) نیز گزارش دادند که درختان راش (*Fagus sylvatica* L.) به‌عنوان گونه غالب در توده‌های جنگلی معرف حضور کربن آلی زیاد و قابل توجه در سطوح مختلف خاک می‌باشند. همچنین می‌توان به مطالعه Vahedi (۲۰۱۲) در جنگل‌های آمیخته راش (*F. orientalis* L.) گلندرود نور اشاره کرد که نتیجه گرفت در مناطق مختلف رویشگاه حضور گونه راش با توجه به غالبیت پوشش آن در منطقه، افزایش موجودی کربن خاک مشاهده می‌شود. بنابراین با توجه به نتایج پژوهش‌های مذکور می‌توان استدلال کرد که گونه پلت به‌عنوان درختان غالب در محدوده‌های موردمطالعه تأثیر بسزایی را بر میزان موجودی کربن خاک دارد. به همین دلیل در پژوهش پیش‌رو به‌عنوان گونه شاخص برای تعیین نمونه‌برداری خاک برای بررسی موجودی کربن آلی خاک محسوب شد.

نتایج پژوهش پیش‌رو نشان داد که مخزن کربن آلی خاک در عمق اول (صفر تا ۲۰ سانتی‌متر) نسبت به عمق زیرین خاک (۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متر) دارای ذخایر کربن آلی

بیشتری است. معمولاً عمق اول خاک دارای پتانسیل زیادتری ازنظر میزان کربن و حضور مواد آلی حاصل از بقایای گیاهی است، چرا که بقایای گیاهی و لاشبرگ‌های حاصل از درختان (و یا حاصل از گیاهان زراعی در زمین‌های کشاورزی) می‌توانند منبع مهمی در افزایش مخازن کربن آلی سطوح اولیه خاک باشند که در نتیجه مواد آلی پس از مراحل مختلف بیولوژیکی، آبشویی، نقل و انتقال و تحت تأثیر اجزاء حاصل از زی‌توده‌های زیرزمینی (مانند ریشه‌ها) به اعماق زیرین خاک نیز انتقال پیدا می‌کنند (Peichl & Arain, 2006; Lal, 2005; DeGryze *et al.*, 2004; Johnson *et al.*, 2002). Niknahad Gharmakher و Maramaei (۲۰۱۱) گزارش کردند که درصد کربن آلی زمین‌های زراعی به‌طور معنی‌داری کمتر از میزان آن در خاک‌های جنگلی است، ولی جرم حجمی خاک در زمین‌های زراعی نسبت به خاک‌های جنگلی بیشتر است. در حقیقت زمانی‌که ذرات خاک فرسایش یافته و خلل و فرج خاک پر شد، تخلخل خاک کاهش می‌یابد و فشردگی خاک زیاد می‌شود که این امر باعث می‌شود جرم مخصوص ظاهری افزایش یابد. از طرفی حرکت ضعیف هوا باعث عدم توسعه ریشه‌دهی، کاهش کیفیت زی‌توده‌های گیاهی و کمبود مواد آلی می‌شود که این امر باعث کاهش کربن آلی خاک خواهد شد (Niknahad Gharmakher & Maramaei, 2011)، اما نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش پیش‌رو عکس این موضوع را نشان داد. یعنی اینکه خاک داخل پارک به‌دلیل غرقابی بودن کامل در فصول بارندگی دارای حداقل تخلخل و حداکثر فشردگی بوده و احتمالاً به‌دلیل اینکه مدت زمان زیادی در طول سال گل‌آلود است، دارای حداکثر فشردگی شده و از این نظر حتی در سطوح فوقانی دارای وزن مخصوص بیشتری نسبت به خاک زمین‌های شالیزار می‌باشد. بین ضرایب کربن خاک شالیزار و جنگل هم اختلاف فاحشی مشاهده نشد و فقط با نفوذ به داخل جنگل، عمق دوم خاک دارای ضریب کربن بیشتری بود که احتمالاً به‌دلیل فعالیت بیشتر میکروارگانیسم‌ها و بقایای بیشتر مواد آلی در آن ناحیه می‌باشد. در زمین‌های کشاورزی معمولاً اجزاء زی‌توده هوایی و زیرزمینی به‌طور مکانیکی در سطح رویی خاک با یکدیگر حالت آمیخته دارند، درصورتی‌که در عرصه‌های جنگلی مواد حاصل از اجزاء زی‌توده‌های هوایی در سطح رویی خاک قرار گرفته‌اند که با تجزیه و فعالیت‌های میکروارگانیسمی و میکروبی به‌صورت ماده آلی و ترکیبات کربن آلی وارد افق‌های معدنی خاک می‌شوند. از طرفی ریشه‌ها و آنزیم‌ها و اجزاء حاصل از آنها در خلل و فرج خاک در نفوذ کربن آلی خاک در سطوح مختلف خاک نقش قابل توجهی دارند (Post & Known, 2000).

ذخایر کربن آلی در سطوح مختلف حوضچه‌های خاک و درنهایت در سطح حوض (مخزن) کربن خاک علاوه بر این‌که در هریک از عمق‌های مختلف خاک دارای ساختار مولکولی پیچیده‌ای هستند، دارای زمان چرخه تبادلی خیلی زیادی هستند که میزان تبادل و تغییرات آنها به همین ساختار و زنجیره مولکولی آن نیز بستگی دارد (Nave *et al.*, 2010). از آنجایی‌که قسمت بیشتر ذخایر کربن آلی خاک در افق‌های سطحی خاک قرار دارد، از دست رفتن کربن خاک نقش مؤثری بر هیدرولوژی، کیفیت و حاصلخیزی خاک دارد (Mahmoudi Taleghani *et al.*, 2007). با توجه به نتایج به‌دست آمده در پژوهش پیش‌رو، ذخایر مخازن کربن آلی خاک در فواصل مختلف از مرز جنگل و شالیزار تفاوت معنی‌داری نداشتند. آنچه که مسلم است، پوشش‌های گیاهی در داخل عرصه‌های جنگلی نسبت به مقادیر مختلف شدت نور واکنش‌های مختلفی از خود نشان می‌دهند و همین امر سبب تغیرات متفاوت فتوسنتز گیاهان و جذب کربن اتمسفری و ذخیره آن به شیوه‌های متفاوت در هر یک از اجزاء حیاتی اکوسیستم ازجمله خاک می‌شود (Rubio *et al.*, 2011)، بنابراین چون مقادیر شدت نور در فواصل مختلف داخل جنگل تغییرات معنی‌داری نداشت، از این نظر عامل نور به‌عنوان یک متغیر محیطی نمی‌تواند شاخص مناسبی برای ارزیابی تغییرات مکانی ذخایر مخزن کربن آلی خاک در داخل محدوده‌های موردمطالعه پارک جنگلی نور محسوب شود. البته نتایج همبستگی نشان داد که تحت مقادیر مختلف شدت نور،

موجودی کربن آلی خاک با افزایش میزان شدت نور در افق‌های سطحی خاک کاهش پیدا می‌کند، ولی اختلاف فاحش شدت نور بین شالیزار و جنگل منجر به تغییرات معنی‌دار بین موجودی کربن خاک آنها نشد.

درحقیقت نرخ نوررسانی باعث فرایندهای مختلف بیولوژیکی و میزان مواد آلی رسیده به خاک در شالیزار می‌شود. در شدت نور زیاد زمانی که برنج‌ها در شالیزار به دامنه کلیماکس محصول‌دهی نزدیک می‌شوند و ایجاد سایه می‌کنند، میزان شدت نور در سطح زمین کمتر است. از طرفی غرقابی بودن خاک، تراکم پلانکتون‌ها و شناور بودن ماکروفیت‌ها در سطوح مختلف شالیزار باعث اختلال در رسیدن نور به سطح زمین می‌شود و همین موضوع باعث می‌شود مواد آلی حاصل از بقایای گیاهی به یکباره تجزیه نشده و طی فرایندهای مختلف وارد خاک شوند و درنتیجه باعث حضور ذخایر کربن خاک در سطوح مختلف خاک می‌شود. میزان متفاوت نور در سطح زمین شالیزار باعث شدت فتوسنتز گیاهان آبزی ازجمله انواع خزه‌های آبی شده و این امر باعث پایش کربن هرچه بیشتر در خاک می‌شود (Fernández-Valiente & Quesada, 2004; Chung *et al.*, 2011). از طرفی گل‌آلود بودن خاک به‌دلیل تعلیق ذرات رس خاک باعث عدم رسیدن نور بیش از حد شده و همین امر باعث تعادل فتوسنتز و تجزیه‌پذیری در زمین‌های کشاورزی می‌شود (Chung *et al.*, 2011). در داخل جنگل چون شدت نور کمتر از عرصه‌های باز هست و از طرفی به‌دلیل گل‌آلود بودن خاک جنگل موردمطالعه به‌علت غرقابی شدن در فصل بارندگی، میزان حداقل نوری که به خاک جنگل لازم است برسد با مشکل رو به رو است که این امر باعث کاهش در میزان انباشت موجودی کربن خاک می‌شود. غرقابی شدن طولانی خاک به‌خصوص خاک‌های اراضی جنگل که سرشار از بقایای گیاهی، مواد آلی و عناصر غذایی هستند، باعث تشدید فرسایش خاک، کاهش فعالیت بیولوژیکی زی‌توده‌های گیاهی در اثر خفگی و اکسیده شدن کربن، کاهش روند ورود کربن حاصل از تجزیه کند مواد آلی، کاهش زی‌توده میکروبی و اختلال در فعالیت میکروارگانیسم‌های هوازی می‌شود که همه این عوامل بر چرخه کربن و موجودی کربن آلی خاک تأثیر گذارند.

Schlesinger (۱۹۹۰) عنوان می‌کند که افزایش ذخیره کربن در خاک به کندی و در طی حتی هزاران سال می‌تواند به طول انجامد و تغییرات کاربری و شرایط محیطی بوم‌سازگان پیچیده‌ای مثل جنگل می‌تواند در مدت زمان خیلی کوتاه باعث هدررفت ذخایر کربن آلی خاک شود.

پژوهش پیش‌رو نشان داد که در حاشیه‌های مختلف مرزی جنگل و شالیزار اختلافی بین موجودی ذخایر کربن آلی خاک وجود ندارد. اگر چه این مطالعه در رابطه با بررسی تغییرات موجودی کربن ذخیره شده می‌باشد، ولی ترسیب کربن سالانه (موجودی کربن به ازای هر سال) می‌تواند تحت تأثیر عامل‌های محیطی مثل شدت نور خورشید، الگوهای مختلف مکانی در جنگل و ترکیب پوشش‌های گیاهی منطقه موردمطالعه باشد. شاید این ابهام مطرح باشد که میزان کود مصرفی سالانه در زمین‌های شالیزار یکی از عمده مسائل تساوی ذخایر کربن خاک‌های آن با خاک‌های جنگل مجاور آن است، ولی می‌توان به این نکته نیز اشاره کرد که در اراضی جلگه‌ای شمال کشور به‌دلیل پتانسیل زیاد، پایداری فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک با توجه به شرایط آب و هوایی مطلوب ازجمله رطوبت همیشگی و دمای مناسب برای فعالیت‌های زیستی فون و فلور، موجودی کربن احتمالاً به‌راحتی و در شرایط زمانی کوتاه‌مدت از خاک خارج نمی‌شود. به همین دلیل است که گاهی اوقات در برخی از مناطق بر اثر عدم استفاده از زمین‌های کشاورزی و یا حتی اراضی با کاربری‌های متفاوت غیرکشاورزی در مجاورت جنگل و یا حتی دورتر از آن، پوشش گیاهی خودرو ازجمله گونه‌های خرد و کلان جنگلی ظاهر شده و قابلیت استقرار و رشد را پیدا می‌کند که نمونه‌های آن نیز در برخی از مناطق جلگه‌ای شمال کشور به‌چشم می‌خورد.

References

- Bakhshi, H., Namiranian, M., Makhdoom, M. and Zahedi, Gh., 2013. Application of fuzzy modeling to assess the impacts of recreation on bulk density as a physical factor (Case study: Nour forest park). Iranian Journal of Forest, 5: 11-19 (In Persian).
- Chung, S.O., Jung, K.Y. and Sudduth, K.A., 2011. Estimation of Korean paddy field soil properties using optical reflectance. Journal of Biosystems Engineering, 36(1): 33-39.
- Davidson, E.A. and Ackerman, I.L., 1993. Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils. Biogeochemistry, 20: 161-193.
- De Deyn, G.B., Cornelissen, J.H.C., Bardgett, R.D., 2008. Plant functional traits and soil carbon sequestration in contrasting biomes. Ecology Letters, 11: 516-531.
- DeGryze, S., Six, J., Paustian, K., Morris, S.J., Paul, E.A. and Merckx, R., 2004. Soil organic carbon pool changes following land-use conversions. Global Change Biology, 10: 1120-1132.
- Fernández-Valiente, E. and Quesada, A., 2004. A shallow water ecosystem: rice-fields. The relevance of cyanobacteria in the ecosystem. Limnetica, 23: 95-108.
- Hedde, M., Aubert, M., Decaens, T. and Bureau, F., 2008. Dynamics of soil carbon in a beechwood chronosequence forest. Forest Ecology and Management, 255: 193-202.
- Hollingsworth, T.N., Schuur, E.A.G., Schuur, F.S. and Walker, M.D., 2008. Plant Community Composition as a Predictor of Regional Soil Carbon Storage in Alaskan Boreal Black Spruce Ecosystems. Ecosystems, 4: 629-642.
- Ingram, J.S.I. and Fernandes, E.C.M., 2001. Managing Carbon sequestration in soils: concepts and terminology. Agriculture, Ecosystems and Environment, 87: 111-117.
- Jandl, R., Lindner, M., Vesterdal, L., Bauwens, B., Baritz, R., Hagedorn, F., Johnson, D.W., Minkkinen, K., and Byrne, K.A., 2007. How strongly can forest management influence soil carbon sequestration? Geoderma, 137: 253-268.
- Jime´nez, J.J., Lal, R., Leblanc, H.A. and Russo, R.O., 2007. Soil organic carbon pool under native tree plantations in the Caribbean lowlands of Costa Rica. Forest Ecology and Management, 241: 134-144.
- Johnson, D., Knoepp, J., Swank, W., Shan, J., Morris, L., van Lear, D. and Kapeluck, P., 2002. Effects of forest management on soil carbon: results of some long-term resampling studies. Environmental Pollution, 116: 201-208.
- Kirby, K.R. and Potvin, C., 2007. Variation in carbon storage among tree species: Implications for the management of a small-scale carbon sink project. Forest Ecology and Management, 246: 208-221.
- Lal, R., 2005. Forest soils and carbon sequestration. Forest Ecology and Management, 220: 242-258.
- Mahmoudi Taleghani, E., Zahedi Amiri, Gh., Adeli, E. and Sagheb-Talebi, Kh., 2007. Assessment of carbon sequestration in soil layers of managed forest. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 15(3): 241-252 (In Persian).
- Manrique, S., Franco, J., Nunez, V. and Seghezzo, L., 2011. Potential of native forests for the mitigation of greenhouse gases in Salta, Argentina. Biomass and Bioenergy, 35: 2184-2193.
- McCarl, B.A., Metting, F.B. and Rice, C., 2007. Soil carbon sequestration. Climatic Change, 80: 1–3.
- Nave, L.E., Vance, E.D., Swanston, C.W. and Curtis, P.S., 2010. Harvest impacts on soil carbon storage in temperate forests. Forest Ecology and Management, 259: 857–866.
- Niknahad Gharmakher, H. and Maramaei, M., 2011. Effects of land use changes on soil properties (Case Study: the Kechik catchment). Journal of Soil Management and Sustainable Production, 2: 81-96.
- Peichl, M. and Arain, M.A., 2006. Above- and belowground ecosystem biomass and carbon pools in an age-sequence of temperate pine plantation forests. Agricultural and Forest Meteorology, 140: 51-63.
- Post, W.M. and Kwon, K.C., 2000. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. Global Change Biology, 6: 317-328.
- Rodrıguez-Loinaz, G., Onaindia, M., Amezaga, I., Mijangos, I. and Garbisu, C., 2008. Relationship between vegetation diversity and soil functional diversity in native mixed-oak forests Soil. Biology & Biochemistry, 40: 49-

60.
- Rouhi-Moghaddam, E., Hosseini, S.M., Ebrahimi, E., Tabari, M. and Rahmani, A., 2008. Comparison of growth, nutrition and soil properties of pure stands of *Quercus castaneifolia* and mixed with *Zelkova carpinifolia* in the Hyrcanian forests of Iran. Forest Ecology and Management, 255: 1149-1160.
- Rubio, A., Gavilan, R.G., Montes, F., Gutiérrez-Giron, A., Daz-Pines, E. T. and Mezquida, E., 2011. Biodiversity measures applied to stand-level management: Can they really be useful? Ecological Indicators, 11: 545-556.
- Rustad, L.E., 2006. From transient to steady-state response of ecosystems to atmospheric CO_2-enrichment and global climate change: conceptual challenges and need for an integrated approach. Plant Ecology, 182: 43-62.
- Schlesinger, W.H., 1990. Evidence from chronosequence studies for a low carbon storage potential of soils. Nature, 348: 232-234.
- Toledo-Aceves, T. and Garcıa-Oliva, F., 2008. Effects of forest-pasture edge on C, N and P associated with *Caesalpinia eriostachys*, a dominant tree species in a tropical deciduous forest in Mexico. Ecological Research, 23: 271–280.
- Vahedi, A.A., 2012. Relationship between plants diversity and carbon sequestration in the Hyrcanian forests of Iran (Case study: protected region in the third district of Glandrud-Nour). Ph.D. thesis, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, 127p (In Persian).

Variation within soil organic carbon pool in the forest-paddy field edges (Case study: Nour Forest Park)

A. A. Vahdi[1*] and A. Bijani-nejad[2]

1*- Corresponding author, Ph.D. Forestry, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. Email: ali.vahedi60@gmail.com

2- M.Sc. Forestry, Islamic Azad University of Chalus, Chalus, Iran

Received: 06.23.2014 Accepted: 01.12.2015

Abstract

Soil organic carbon pools (SOCP) in forests play important roles in terms of biomass productivity level as well as mitigating the climate change effects. Land-use changes cause a potential loss of SOCPs in the forest. Hence, variation of SOCPs around the forest-paddy field transition zone in northern Iran was the main aim of this study. The study was conducted within the natural forest park forest of Nour in Mazandaran province, in which the weak drainage and long periods of soil waterlogging during the rainy season are considered as crucial threats. In two remnant forest fragments with similar stand type (Maple-Ironwood), extend (10 ha) and location (adjacent to the paddy fields), soil samples were collected from two depths of 0- 20 and 20-40 cm at five distances from the farm edge into the inner forest (10 m in the paddy field and 0–10, 30–40, 70–80 and 100–110 m towards the forest interior). All the samples were collected near to the dominant *Acer velutinum* trees, with a minimum distance of 10 m to each other. In addition, light intensity was measured based on v per m2 in the growing season by photo-light meter measuring device in constant vertical distance from the ground. The result of paired t-test showed significantly higher carbon budget in upper soil depth compared to the lower depth in both forest and paddy fields ($P < 0.01$). The result of one-way ANOVA indicated no significant differences among different distances to the forest stands ($P>0.05$). Surprisingly we observed no significant difference between the SOCPs in forest and paddy field. Besides, a significant inverse Pearson's correlation between light intensity and SOCP was only observed for the upper soil depth in forest and paddy field ($r=-0.37$, $P < 0.05$).

Keywords: *Acer velutinum*, Carbon sequestration, soil water logging, light intensity, forest-paddy field transition.