فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران
جلد ۲۵ شماره ۲، صفحه ۲۹۷-۲۸۶، (۱۳۹۶)
شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijfpr.2017.111768

تغییرات فصلی ذخیره کربن آلی خاک در توده مدیریت‌شده و مدیریت‌نشده راش- ممرز

مریم مصلحی [۱]، هاشم حبشی *[۲] و رامین رحمانی [۳]

۱- دکتری جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

*۲- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

پست الکترونیک: habashi@gau.ac.ir

۳- دانشیار، گروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۰/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۳/۳۱

چکیده

کربن آلی خاک یکی از مهمترین مؤلفه‌های چرخه جهانی کربن است، بنابراین خاک جنگل‌ها به‌عنوان یکی از بزرگترین ذخیره‌گاه‌های کربن آلی در اکوسیستم خشکی در کنترل غلظت Co_2 اتمسفر نقش اساسی دارد. دخالت در اکوسیستم جنگلی در مقطع زمانی نامناسب با تغییر در آزادسازی یا جذب کربن در آن، تأثیرات قابل ملاحظه‌ای بر غلظت Co_2 اتمسفر و گرمایش جهانی دارد. این پژوهش به بررسی تأثیر شیوه گزینشی بر تغییرات ذخیره کربن آلی خاک در فصول مختلف در توده‌های آمیخته راش- ممرز سری یک طرح جنگل‌داری دکتر بهرام‌نیا استان گلستان پرداخت. تغییرات ذخیره کربن آلی خاک از بهمن ۱۳۹۲ به‌مدت یکسال در چهار توده یک هکتاری (توده بکر پارسل ۳۲ و پارسل‌های ۳۰، ۳۳ و ۳۱ که به‌ترتیب ۱۰، هفت و یک سال از دخالت در آن‌ها می‌گذشت) در عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری بررسی شد. تغییرات درجه حرارت و رطوبت خاک به‌عنوان عامل‌های تأثیرگذار بر ذخیره کربن اندازه‌گیری شدند. برای تعیین تغییرات رطوبت و حرارت خاک در هریک از تیمارها از تجزیه واریانس یک‌طرفه و برای مقایسه فصلی ذخیره کربن آلی خاک در هر تیمار، از طرح اندازه‌های تکراری استفاده شد. رابطه ذخیره کربن با رطوبت و حرارت خاک با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون بررسی شد. نتایج نشان داد که تغییرات ماهانه رطوبت و حرارت خاک در هر تیمار دارای اختلاف معنی‌داری بود. ذخیره کربن آلی خاک با حرارت و رطوبت خاک نیز همبستگی معنی‌داری را نشان داد. بررسی ذخیره کربن آلی خاک در فصول مختلف، اختلاف معنی‌داری را نشان داد، اما این اختلاف در تیمارهای مدیریت‌شده بیشتر مشهود بود. در توده‌های مدیریت‌شده، ذخیره کربن در تابستان کاهش شدیدی نسبت به توده شاهد داشت.

واژه‌های کلیدی: استان گلستان، درجه حرارت خاک، رطوبت خاک، شیوه گزینشی، طرح جنگل‌داری.

مقدمه

جنگل‌ها با ذخیره قسمت عظیمی از کربن جهان در خود نقش کلیدی در چرخه جهانی کربن دارند. مبادله کربن با اتمسفر در جنگل از طریق فتوسنتز و تنفس انجام می‌گیرد که با اختلالات ناشی از دخالت بشر منبعی برای کربن اتمسفر می‌شوند (Dixon *et al.*, 1994). اکوسیستم جنگل، دی‌اکسید کربن اتمسفر را از طریق پوشش گیاهی روی زمینی و خاک با نرخ سریعی جذب و ترسیب می‌کند. با دخالت انسان سطح جذب دی‌اکسید کربن کاهش یافته و منجر به تغییرات قابل‌ملاحظه در تعادل کربن اکوسیستم

خشکی در مقیاس منطقه‌ای و جهانی و در نهایت تغییر آب و هوا می‌شود (Houghton *et al.*, 2000).

Hart و Perry (۱۹۹۹) در بررسی چرخه کربن و عناصر غذایی در اکوسیستم جنگلی در ارتفاعات مختلف بیان کردند که کربن آلی فعال در آب و هوای سرد به مقدار زیادی ذخیره می‌شود، زیرا در ارتفاعات بالا درجه حرارت کم نرخ معدنی شدن کربن را محدود می‌کند. قابل ذکر است که نرخ تجزیه کربن آلی فعال با افزایش درجه حرارت، تسریع می‌شود (Giardina *et al.*, 2001). Boerner و همکاران (۲۰۰۵) در بررسی تغییرات فصلی کربن آلی و فعالیت آنزیمی خاک در جنگل‌های پهن‌برگ بلوط آمریکا گزارش کردند که کربن آلی خاک در دو فصل رویش متفاوت بود. Devi و Yadava (۲۰۰۶) در بررسی تغییرات فصلی زی‌توده میکربی کربن که بخش قابل توجهی از ذخیره کربن خاک است، گزارش کردند که زی‌توده میکربی در فصل مرطوب بیشترین مقدار و فعالیت خود و در فصل زمستان کمترین مقدار را داشت، زیرا زی‌توده میکربی کربن، همبستگی مثبت با رطوبت و درجه حرارت خاک، متوسط درجه حرارت هوا و رطوبت نسبی دارد. Abd Latif و Blackburn (۲۰۰۸) در بررسی تغییر میکروکلیما در روشنه‌های داخل جنگل گزارش کردند که رطوبت خاک و درجه حرارت (عامل‌های مؤثر بر تجزیه ماده آلی خاک) در داخل روشنه‌ها بیشتر و رطوبت نسبی کمتر از زیر تاج درختان بود. Schulp و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی ذخیره کربن آلی خاک در گونه‌های راش، بلوط و لاریکس گزارش کردند که مقدار ذخیره کربن آلی در جنگل مدیریت‌شده (تغییر شرایط میکروکلیما) کمتر از مدیریت‌نشده بود. بنابراین، می‌توان گفت در روشنه‌های ایجادشده در جنگل‌های مدیریت‌شده سرعت تجزیه ماده آلی خاک به‌علت تغییر میکروکلیما سریع‌تر رخ می‌دهد. Jian و همکاران (۲۰۰۹) تغییرات فصلی ذخیره کربن را در جنگل‌های پهن‌برگ دست‌کاشت و طبیعی در چین بررسی و بیان کردند که ذخیره کربن آلی خاک در فصول مختلف متفاوت بوده و نوسانات آن تحت تأثیر فاکتورهای محیطی (درجه حرارت و بارندگی) می‌باشد. Zhang و همکاران (۲۰۱۰) در تحقیق پتانسیل تأثیر گرمای هوا بر محتوای ذخیره کربن آلی خاک در عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری جنگل‌های چین، به این نتیجه رسیدند که مقدار کربن آلی خاک با درجه حرارت خاک همبستگی منفی داشت. بنابراین، در فصل زمستان که کمترین مقدار تنفس وجود دارد، میزان تجزیه نیز کمترین مقدار است. Qi و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی تأثیر رطوبت بر معدنی شدن کربن خاک سطحی در جنگل‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ کوهستانی چین گزارش کردند که با افزایش رطوبت خاک نرخ معدنی شدن کربن افزایش یافت. Wang و همکاران (۲۰۱۳) میزان حساسیت معدنی شدن خاک را در پوشش‌های جنگلی متفاوت در چین بررسی و گزارش کردند که با افزایش درجه حرارت، تجزیه کربن آلی خاک افزایش یافت. درواقع، درجه حرارت بیشتر خاک مانند یک محرک عمل کرده و انتشار دی‌اکسید کربن از خاک به اتمسفر را افزایش می‌دهد (Rustad *et al.*, 2001). Salim و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی تأثیر فصل بر ترسیب کربن آلی خاک در جنگل‌های پهن‌برگ خزان‌کننده مرطوب در هندوستان گزارش کردند که ذخیره کربن در این جنگل‌ها در فصول مختلف دارای اختلاف معنی‌دار بود.

در قرون اخیر، فعالیت‌های بشری تغییرات اساسی در تعداد زیادی از چرخه‌های زیست‌زمین‌شیمیایی (Biogeochemical) ایجاد کرده است که از اولین و برجسته‌ترین این تغییرات، می‌توان به چرخه جهانی کربن به‌ویژه از طریق جنگل‌زدایی اشاره کرد (Yang *et al.*, 2005). جنگل به‌علت داشتن پتانسیل زیاد جذب و ترسیب کربن از اتمسفر به‌عنوان تنظیم‌کننده اصلی ذخیره کربن شناخته شده است (Gelman *et al.*, 2013). بنابراین، در این پژوهش تغییرات ذخیره کربن آلی خاک در فصول مختلف در توده‌های آمیخته راش- ممرز در توده‌های مدیریت‌شده و مدیریت‌نشده مورد بررسی قرار گرفت تا با تفسیر بخش مهمی از تغییرات ذخیره کربن آلی خاک، بتوان سیاست‌گذاری صحیحی در مدیریت جنگل و تعیین دوره

استراحت مناسب به‌منظور افزایش بهره‌وری ذخیره کربن آلی خاک در این توده‌ها، درنظر گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

جنگل آموزشی و پژوهشی شصت‌کلاته متشکل از دو سری، در دامنه شمالی رشته‌کوه‌های البرز در فاصله هشت کیلومتری جنوب غربی شهرستان گرگان قرار دارد که منطقه مورد مطالعه در سری یک طرح جنگل‌داری دکتر بهرام‌نیا واقع شده است. این جنگل در ارتفاع ۲۱۰ تا ۲۱۶۸ متر از سطح دریا، بین عرض‌های جغرافیایی ″۲۷ ′۴۳ °۳۶ تا ″۶ ′۴۸ °۳۶ شمالی و طول جغرافیایی ″۲۶ ′۲۱ °۵۴ تا″۵۷ ′۲۴ °۵۴ شرقی قرار گرفته است. بارندگی متوسط سالانه ۶۴۹ میلی‌متر و اقلیم منطقه بر اساس منحنی آمبروترمیک، نیمه‌مرطوب است (Anonymous, 2008).

روش پژوهش

سه پارسل ۳۰، ۳۳ و ۳۱ که تحت مدیریت شیوه گزینشی بودند (مدت زمان گذشته از آخرین دخالت در آن‌ها به‌ترتیب ۱۰، هفت و یک سال بود) و پارسل ۳۲ که در آن هیچ‌گونه دخالتی انجام نشده بود (مدت زمان انحصاری ۳۵ سال از زمان شروع طرح جنگل‌داری) به‌عنوان توده شاهد، انتخاب شدند. کلیه پارسل‌ها دارای تیپ خاک کامبی‌سول، دو اشکوبه، ترکیب گونه‌ای راش، ممرز، انجیلی، افرا و توسکا هستند (Anonymous, 2008). در هر تیمار پس از جنگل گردشی، سه قطعه یک هکتاری (۱۰۰×۱۰۰ متر)، نزدیک به یکدیگر (از نظر میانگین ارتفاعی درختان و توده، تیپ توده و تاج‌پوشش) در جهت شمال شرقی مشخص شدند. از بین سه قطعه یک هکتاری تفکیک‌شده در هر پارسل، یک قطعه به‌عنوان قطعه‌نمونه برای مطالعه به‌صورت تصادفی انتخاب شد (در مجموع چهار قطعه نمونه در چهار تیمار). قطعات مورد نظر در میانگین ارتفاعی ۸۵۰ متر بالاتر از سطح دریا و جهت شمال- شمال شرقی قرار داشتند. تیپ توده در هر تیمار بر اساس رویه زمینی (با توجه به محاسبه رویه زمینی کلیه گونه‌ها در هر تیمار)، راش- ممرز و گونه‌های همراه پلت و انجیلی بودند. همچنین، تاج‌پوشش توده‌های مورد اندازه‌گیری نیز ۷۰ تا ۸۵ درصد بود.

برای اندازه‌گیری کربن آلی، رطوبت و حرارت خاک، ۲۰ نقطه به‌صورت تصادفی در هر تیمار انتخاب شد و در هر ماه (۱۳۹۲/۱۱/۲۲ تا ۱۳۹۳/۱۱/۲۲) از هریک از نقاط، نمونه خاک از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری برداشت شد و برای اندازه‌گیری کربن آلی و رطوبت وزنی خاک به آزمایشگاه انتقال یافت. رطوبت وزنی خاک به روش توزین (Black, 1965)، وزن مخصوص ظاهری با استفاده از روش سیلندر (wild *et al*., 1979) و ماده آلی به روش والکی بلاک (Page *et al*., 1992) اندازه‌گیری شد. پس از محاسبه کربن آلی خاک، با استفاده از رابطه (۱)، ذخیره کربن آلی خاک به‌دست آمد (Lal *et al*., 1998).

$$Socp\ (\frac{t}{ha}) = \sum[oc\ (\frac{gr}{kg}) \times depth\ (m) \times Bd\ (\frac{t}{cm^3}) \times (۱ - (C\ fragments/۱۰۰)] \times ۱۰ \qquad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه فوق: Socp ذخیره کربن آلی خاک به تن در هکتار، oc کربن آلی (گرم در کیلوگرم خاک)، Bd وزن مخصوص ظاهری (تن بر سانتی‌متر مکعب) و $C\ fragments$ درصد سنگ و سنگریزه درشت‌تر از ۲ میلی‌متر است.

اندازه‌گیری درجه حرارت خاک نیز یک‌بار در هر ماه در هنگام ظهر با قرار دادن الکترود دماسنج در داخل خاک (Ritter, 2005) در عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری در هریک از نقاط نمونه (قبل از تهیه نمونه خاک) و نمایش حرارت خاک در صفحه نمایشگر آن (بعد از ثابت شدن عدد در صفحه نمایش) ثبت شد.

تحلیل آماری داده‌ها

به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار آماری SPSS استفاده شد. برای بررسی تفاوت ذخیره کربن آلی خاک در

فصول مختلف در هریک از تیمارها از تجزیه واریانس با اندازه‌گیری مکرر (General Linear Model, Repeated Measure) استفاده شد و مقایسه بین میانگین‌ها با آزمون دانکن انجام شد. همچنین، برای بررسی تغییرات درجه حرارت و رطوبت خاک در طول سال در توده گزینشی و بکر راش- ممرز از تجزیه واریانس یک‌طرفه استفاده شد. همبستگی ذخیره کربن آلی خاک، رطوبت و حرارت خاک با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون بررسی شد. نرمال بودن توزیع داده‌ها و همگنی واریانس‌ها به‌ترتیب با استفاده از آزمون کولموگروف- سمیرنوف و لون و فرضیه کروی بودن ماتریس واریانس- کوواریانس با استفاده از آزمون موخلی بررسی شد. اگر فرض مربوط به مشخصه ماتریس واریانس- کوواریانس نقض شد (آزمون موخلی معنی‌دار شود) از آزمون گرین هاوس- گیسر استفاده شد.

نتایج

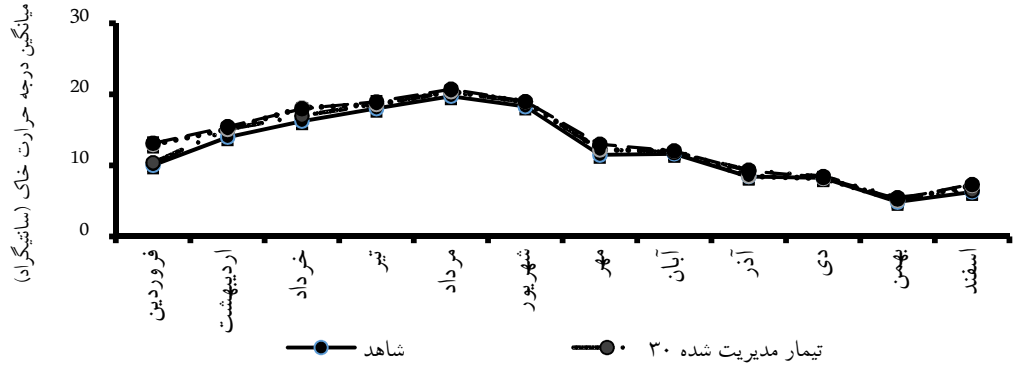
وزن مخصوص ظاهری و درصد سنگ و سنگریزه در تیمارهای ۳۰، ۳۱، ۳۲ و ۳۳ به‌ترتیب (۰/۶۷، ۰/۸۲، ۰/۷۴ و ۰/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب) و (۲/۵۵، ۵/۷۷، ۱/۵۵ و ۴/۲۹ درصد) بود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که با تغییر زمان (ماه‌های مختلف)، درجه حرارت خاک در زیر تاج‌پوشش تغییر کرده و متفاوت از یکدیگر بود که این تفاوت در سطح احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱).

جدول ۱- تجزیه واریانس تغییرات درجه حرارت خاک در زیر تاج‌پوشش در زمان‌های مختلف

متغیر	تیمار	منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	معنی‌داری
حرارت خاک	۳۲	ماه	۵۴۲۴/۶۲	۱۱	۴۹۳/۱۴	۲۶۸۱/۱۷	$۱۰^{-۱۲}$
		خطا	۴۱/۹۳	۲۲۸	۰/۱۸۴		
		مجموع	۵۴۶۶/۵۶	۲۳۹			
	۳۰	ماه	۵۶۵۳/۷۹	۱۱	۵۱۳/۹۸	۲۶۱۹/۲۷	$۱۰^{-۱۲}$
		خطا	۴۴/۷۴	۲۲۸	۰/۱۹۶		
		مجموع	۵۶۹۸/۵۳	۲۳۹			
	۳۳	ماه	۵۸۷۵/۷۴	۱۱	۵۳۴/۱۵	۲۹۱۵/۲۷	$۱۰^{-۱۲}$
		خطا	۴۱/۵۱	۲۲۸	۰/۱۸۳		
		مجموع	۵۹۱۷/۵۱	۲۳۹			
	۳۱	ماه	۵۷۹۲/۱۲	۱۱	۵۲۶/۵۵	۲۹۱۵/۲۷	$۱۰^{-۱۲}$
		خطا	۴۶/۵۱	۲۲۸	۰/۲۰۴		
		مجموع	۵۸۳۸/۶۴	۲۳۹			

در کلیه تیمارها کمترین و بیشترین میزان درجه حرارت خاک به‌ترتیب در ماه‌های بهمن و مرداد مشاهده شد (شکل ۱). تغییرات افزایش و کاهشی در بین تیمارها از یک الگوی مشابه پیروی می‌کرد. در واقع، روند کلی تغییرات در تمامی شرایط یکسان بود (شکل ۱). حرارت خاک در تیمار شاهد کمترین مقدار را داشت و پس از آن تیمارهای مدیریت‌شده ۳۰، ۳۳ و در نهایت ۳۱ قرار داشتند.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که رطوبت وزنی خاک در ماه‌های مختلف، تفاوت معنی‌داری داشت (جدول ۲).



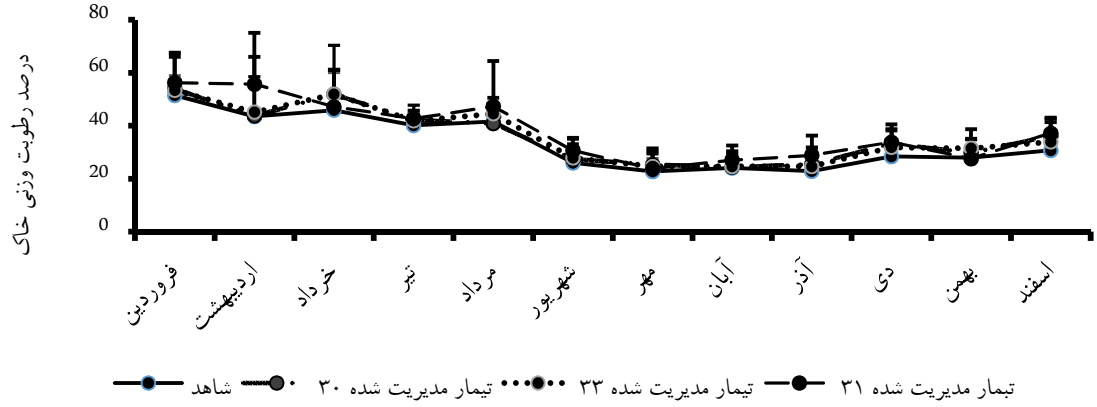
شکل ۱- تغییرات ماهانه درجه حرارت خاک در تیمارهای مدیریت‌شده و شاهد

جدول ۲- تجزیه واریانس تغییرات رطوبت وزنی خاک در زیر تاج‌پوشش در زمان‌های مختلف

متغیر	تیمار	منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	معنی‌داری
رطوبت وزنی خاک	۳۲	ماه‌های سال	۲۲۵۴۳/۳۲	۱۱	۲۰۴۹/۳۹	۳۶/۴۹	$۱۰^{-۱۲}$
		خطا	۱۲۸۰۳/۵۱	۲۲۸	۵۶/۱۵		
		مجموع	۳۵۳۴۶/۸۴	۲۳۹			
	۳۰	ماه‌های سال	۲۳۶۰۵/۴۶	۱۱	۲۱۴۵/۴۶	۲۴/۷۸	$۱۰^{-۱۲}$
		خطا	۱۹۷۳۹/۴۵	۲۲۸	۸۶/۵۷		
		مجموع	۴۳۳۴۴/۹۱	۲۳۹			
	۳۳	ماه‌های سال	۲۴۸۲۸/۳۵	۱۱	۲۲۵۷/۱۲	۲۴/۷۴	$۱۰^{-۱۲}$
		خطا	۲۰۷۹۵/۰۱	۲۲۸	۹۱/۲		
		مجموع	۴۵۶۲۳/۳۶	۲۳۹			
	۳۱	ماه‌های سال	۲۸۵۳۵/۴۶	۱۱	۲۵۹۴/۱۳	۲۵/۴۷	$۱۰^{-۱۲}$
		خطا	۲۳۲۲۱/۵۷	۲۲۸	۱۰۱/۸۴		
		مجموع	۵۱۷۵۷/۰۳	۲۳۹			

روند تغییرات رطوبت وزنی خاک در تیمارهای مختلف از الگوی مشابهی پیروی می‌کرد (شکل ۲). رطوبت وزنی خاک در تیمار شاهد کمترین مقدار را داشت و پس از آن تیمارهای مدیریت‌شده ۳۰، ۳۳ و در نهایت ۳۱ قرار داشتند.

نتیجه آزمون موخلی برای بررسی کروی بودن ماتریس واریانس- کواریانس در تیمارهای ۳۰ و ۳۱ نشان داد که این فرضیه تأیید می‌شود، اما این فرضیه برای تیمار شاهد و تیمار مدیریت‌شده ۳۳ تأیید نشد. بنابراین، برای محاسبات در این دو تیمار از آزمون گرین هاوس- گیسر استفاده گردید که پیش‌فرض آن کروی بودن نیست. نتایج تجزیه واریانس حاکی از اختلاف ذخیره کربن آلی خاک در فصول مختلف در هر تیمار بود (جدول ۳).



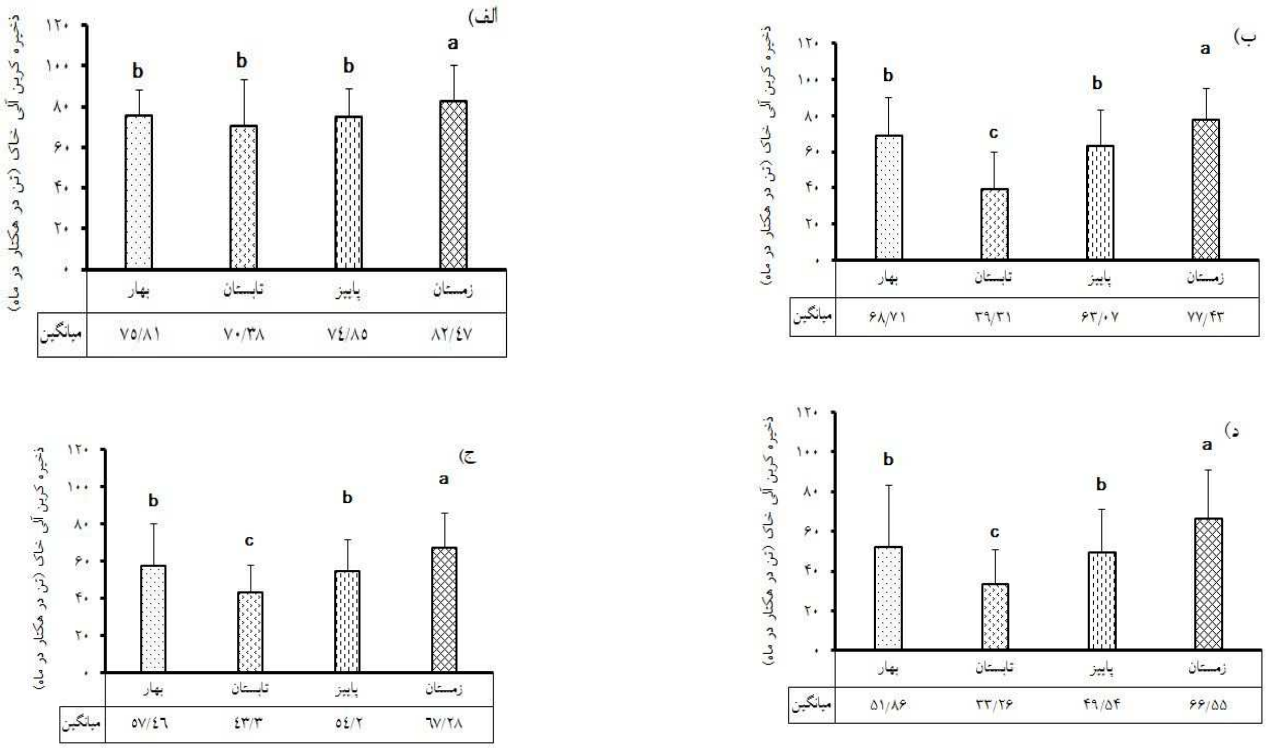
شکل ۲- تغییرات ماهانه رطوبت وزنی خاک در تیمارهای مدیریت‌شده و شاهد

جدول ۳- نتایج تجریه واریانس تغییرات فصلی ذخیره کربن آلی خاک در تیمارهای مدیریت‌شده و شاهد

تیمار	منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	معنی‌داری
	فصل	۱۲۲۵/۹۴	۳	۴۰۸/۶۴	۴/۷۲	۰/۰۰۵
۳۲	خطا	۵۸۸۳/۲۴	۶۸	۸۶/۵۱		
	مجموع	۷۱۰۹/۱۸	۷۱	۴۹۵/۱۵		
	فصل	۱۵۸۵۹/۵۹	۳	۵۲۸۶/۵۳	۳۰/۹۳	۰/۰۰۰
۳۰	خطا	۱۲۹۸۷/۳۷	۷۶	۱۷۰/۸۸		
	مجموع	۲۸۸۴۶/۹۶	۸۱	۵۴۵۷/۴۱		
	فصل	۱۱۱۴۷/۱۷	۳	۳۷۱۵/۷۲	۲۰/۹۳	۰/۰۰۰
۳۱	خطا	۱۳۴۹۰/۵۷	۷۶	۱۷۷/۵۰		
	مجموع	۱۲۵۳۷/۷۴	۸۱	۳۸۹۳/۲۲		
	فصل	۵۸۶۳/۹۵	۳	۱۹۵۴/۶۵	۲۰/۳۴	۰/۰۰۰
۳۳	خطا	۷۳۰۳/۳۱	۷۶	۹۶/۰۹		
	مجموع	۱۳۱۶۷/۲۶	۸۱	۲۰۵۰/۷۴		

مقایسه میانگین‌ها با استفاده آزمون چندگانه دانکن نشان داد که ذخیره کربن آلی خاک در کلیه تیمارها در فصول مختلف از اختلاف معنی‌داری برخوردار است (سطح اطمینان ۹۵ درصد). در کلیه تیمارها، فصل‌های زمستان و تابستان به‌ترتیب بیشترین و کمترین میزان ذخیره کربن آلی خاک را داشتند (شکل ۳). پس از زمستان، بهار و سپس پاییز به‌ترتیب حاوی بیشترین مقدار ذخیره کربن آلی خاک بودند. در تیمار شاهد در زمستان در هرماه به‌طور متوسط ۸۲/۴۷ تن کربن آلی در هکتار در خاک ذخیره می‌شد که به‌علت اختلاف معنی‌دار با سایر فصول در دسته‌ای جداگانه قرار گرفت (شکل ۳- الف) در تیمار مدیریت‌شده ۳۰، تفاوت در کلیه فصول دیده شد. زمستان با ذخیره ۷۷/۴۳ تن کربن آلی در هکتار در ماه، در گروه جداگانه قرار گرفت (۵/۰۴ تن اختلاف با تیمار شاهد). در تیمار مدیریت‌شده، بهار و پاییز که در رتبه‌های بعدی قرار داشتند، به‌علت اختلاف اندک در یک دسته قرار گرفتند و در انتها فصل تابستان با ذخیره

۳۹/۳۱ تن کربن در هکتار در ماه، در دسته‌ای جدا از این دو گروه قرار گرفت (شکل ۳- ب). الگوی تغییرات ذخیره کربن آلی خاک در تیمارهای مدیریت‌شده ۳۳ و ۳۱ نیز مانند تیمار ۳۰ بود. در این تیمارها مقدار ذخیره کربن خاک در زمستان ۶۷/۲ ، ۶۶/۵۵ تن در هکتار در ماه بود که به‌ترتیب ۱۵/۲۷ و ۱۵/۹۲ تن کمتر از مقدار ذخیره کربن در تیمار شاهد در فصل زمستان بود (شکل‌های ۳- ج و ۳- د).



شکل ۳- مقایسه میانگین ذخیره کربن آلی خاک در فصول مختلف در تیمارهای شاهد (الف)، تیمارهای مدیریت‌شده ۳۰ (ب)، ۳۳ (ج) و ۳۱ (د) با استفاده از آزمون دانکن (حروف انگلیسی متفاوت نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد است)

در بررسی همبستگی ذخیره کربن آلی خاک، رطوبت وزنی و حرارت خاک مشخص شد که ذخیره کربن آلی خاک با این دو متغیر در سطح اطمینان ۹۹ درصد، همبستگی منفی داشت (جدول ۴).

جدول ۴- مقادیر همبستگی بین صفات اندازه‌گیری‌شده خاک در سطح اطمینان ۹۹ درصد

متغیر	ذخیره کربن آلی خاک	حرارت خاک	رطوبت خاک
ذخیره کربن آلی خاک	۱/۰۰		
حرارت خاک	-۰/۶۶۵**	۱/۰۰	
رطوبت خاک	-۰/۳۹۳**	۰/۱۹۹ns	۱/۰۰

** معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد؛ ns غیرمعنی‌دار

بحث

موجودی کربن در جنگل از تعادل بین فرآیند دریافت (فتوسنتز، رویش درخت، ذخیره کربن در خاک) و آزادسازی کربن (تنفس، مرگ درخت، تجزیه مواد آلی)

به‌دست می‌آید. این فرایندها در مقیاس‌های زمانی مختلف (روزانه، فصلی، سالانه، دهه و فراتر از آن) در حال انجام بوده و پیوسته تحت تأثیر عامل‌های اقلیمی و محیطی (حرارت، رطوبت قابل دسترس، تخریب و اختلالات در جنگل) تغییر می‌کنند (Malhi *et al.,* 1999). اختلالاتی مانند دخالت انسان در جنگل و عامل‌های طبیعی (آتش‌سوزی و سیل) با تغییر در میکروکلیما (درجه حرارت)، پوشش گیاهی و تعادل چرخه آب، منجر به تغییر و در نتیجه کاهش ورود کربن آلی به خاک می‌شوند (Thorn *et al.,* 2009). شدت تغییرات در ذخیره کربن آلی خاک در اثر این اختلالات می‌تواند بیشتر از تغییر ذخیره کربن آلی ناشی از تولید در جنگل و تغییرات آب و هوایی باشد، برای این‌که تغییرات در ورودی کربن و نرخ تجزیه در اثر اختلالات شدیدتر است (Thorn *et al.,* 2009).

به استناد نتایج پژوهش پیش‌رو، ذخیره کربن آلی خاک در فصول مختلف متغیر بود که با نتایج Boerner و همکاران (۲۰۰۵)، Jian و همکاران (۲۰۰۹) و Salim و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد. یکی از دلایل تفاوت ذخیره کربن بین فصول مختلف را می‌توان به تغییرات درجه حرارت و رطوبت خاک (Abd Latif & Blackburn; 2008) در ماه‌های مختلف نسبت داد (شکل‌های ۱ و ۲) که با ذخیره کربن آلی خاک رابطه عکس داشت (جدول ۳). Jobbagy و Jackson (۲۰۰۰)، Zhang و همکاران (۲۰۱۰) به رابطه عکس درجه حرارت با ذخیره کربن آلی خاک و Tan و همکاران (۲۰۰۴) و Qi و همکاران (۲۰۱۱) نیز به رابطه عکس رطوبت خاک و ذخیره کربن آلی خاک دست یافتند. افزایش حرارت با دسترسی مناسب به رطوبت، فعالیت موجودات خاکزی را افزایش داده و نرخ تجزیه ماده آلی که مخزن اصلی کربن آلی خاک است، با سرعت بیشتری انجام می‌گیرد (Liddcoat *et al*., 2010)، به این خاطر، ذخیره کربن آلی خاک در فصول گرم نسبت به فصول سرد متفاوت است. همچنین، در کلیه تیمارها در زمستان بیشترین و در تابستان کمترین مقدار ذخیره کربن وجود داشت (شکل ۳). تجزیه کربن فعال خاک بسیار حساس به حرارت است و در زمستان که درجه حرارت بسیار کم است، سرعت معدنی شدن آن کاهش می‌یابد (Simmons *et al.,* 1996). عدم ریزش برف در مناطق مورد مطالعه می‌تواند دلیل دیگری برای افزایش ذخیره کربن آلی خاک در فصل زمستان باشد. برف مانند یک پوششی دمای خاک سطحی را افزایش داده و در نتیجه شرایط مساعدی را برای فعالیت میکربی نسبت به خاک‌هایی که عاری از پوشش برف هستند، ایجاد می‌کند (Goulden *et al.,* 1996) که در نتیجه این فعل و انفعالات، تجزیه کربن فعال خاک افزایش یافته و ذخیره کربن آلی خاک کاهش می‌یابد.

روند تغییرات فصلی ذخیره کربن آلی خاک در تیمارهای مدیریت‌شده مشابه بود. هرچند در تمام توده‌ها زمستان بیشترین ذخیره کربن آلی را داشت و دارای تفاوت معنی‌داری با دیگر فصول بود، در تیمارهای مدیریت‌شده، ذخیره کربن آلی خاک در فصل تابستان کاهش معنی‌داری یافت، در حالی‌که در تیمار شاهد مقدار ذخیره کربن در تابستان تفاوت چندانی با دیگر فصول نشان نداد (شکل ۳) که نشان‌دهنده تأثیر مدیریت و آشفتگی خاک بر ذخیره کربن آلی خاک است. علت این امر را می‌توان به تغییر شرایط محیطی ناشی از باز شدن تاج و افزایش نرخ تجزیه ماده آلی به‌ویژه در فصل تابستان نسبت داد. نتایج تحقیقات پیشین نشان داد که دخالت در جنگل منجر به تغییرات میکروکلیما در داخل توده می‌شود (Vitousek *et al.,* 1979; Thorn *et al.,* 2009). درواقع، قطع درختان و ایجاد روشنه در داخل جنگل، لایه محافظ تاج را از سطح زمین برداشته و میکروکلیمای زیر تاج را در معرض تغییرات آب و هوایی قرار می‌دهد (Abd Latif & Blackburn, 2008). بنابراین، تابش بیشتر خورشید و ورود بیشتر نور در مناطق قطع‌شده در تیمارهای مدیریت‌شده منجر به افزایش درجه حرارت و در نتیجه افزایش حرارت در زیر تاج می‌شود (Swanson *et al.,* 2011). تحقیقات نشان داده که گرما منجر به کاهش ماده آلی (کربن آلی) می‌شود، زیرا نرخ تنفس میکربی (سرعت تجزیه ماده آلی) بیشتر از تولید تحریک می‌شود (Rustad *et al*., 2001). در این بین، کربن ناپایدار (کربن

فعال) بیشترین واکنش را به رژیم حرارتی مناسب (۲۵ تا ۳۵ درجه سانتیگراد) نشان می‌دهد و از مقدار آن به‌سرعت با تجزیه کاسته می‌شود (Hobbie *et al.*, 2000). بنابراین، می‌توان گفت با توجه به نقش تاج‌پوشش به‌عنوان لایه محافظ در مقابل نور خورشید، تأثیر آن در کاهش درجه حرارت خاک در فصل رویش (وجود تاج و شدت نور زیاد) بهتر نمایان خواهد شد. به این دلیل است که تفاوت درجه حرارت خاک در فصول گرم سال در تیمارهای مدیریت‌شده و شاهد بیشتر مشهود است (شکل ۱).

رطوبت خاک حاصل روابط متقابل تاج‌بارش، تبخیر و تعرق است (Steward & Pickett, 1985) که به‌شدت تحت تأثیر مدیریت و دخالت انسان قرار داشته و تغییر می‌کند. در تاج‌پوشش‌های دست‌نخورده بخشی از باران توسط تاج جذب و اتلاف می‌شود (Ghorbani & Rahmani, 2008) که در بارش‌های با شدت کم و کوتاه‌مدت، مقدار آن بزرگتر نیز می‌شود (Steward & Pickett, 1985). اما زمانی‌که تاج باز شده باشد، این اتلاف کاهش خواهد یافت و باران به‌طور مستقیم به پوشش کف و سطح زمین خواهد رسید و بدین ترتیب رطوبت خاک نسبت به مناطق بسته افزایش می‌یابد (Steward & Pickett, 1985). بنابراین، با توجه به افزایش حرارت و رطوبت در مناطق بازشده ناشی از مدیریت و همبستگی منفی این عامل‌ها با ذخیره کربن آلی خاک (Tan *et al*., 2004) و حساسیت زیاد کربن آلی فعال خاک سطحی به حرارت خاک (Kirschbaum, 1995)، اختلاف فصلی ذخیره کربن آلی خاک (به‌ویژه در تابستان با شدت بیشتر) در تیمارهای مدیریت‌شده نسبت به شاهد مشاهده شد.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، تغییرات شرایط محیطی خاک در فصول مختلف از عامل‌های بسیار مؤثر در ذخیره کربن آلی خاک بود. در صورتی‌که دخالت انسانی کلیمای خاک را از حالت تعادل خارج نکند و اجازه دهد اکوسیستم چرخه طبیعی خود را سیر کند، نوسانات فصلی در ذخیره کربن آلی خاک، تغییرات چشمگیری ایجاد نمی‌کند. با دخالت انسان در جنگل و برهم خوردن تعادل اقلیمی اکوسیستم در فصول مختلف، تفاوت ذخیره کربن آلی خاک بین فصول به‌ویژه تابستان بسیار چشمگیر شد. بنابراین، توصیه می‌شود دخالت و قطع در جنگل به حداقل رسانده شود و درصورت دخالت، در هنگام گزینش و نشانه‌گذاری در جنگل علاوه‌بر درنظر گرفتن کیفیت، رویش و مرغوبیت درختان، به تأثیرات قطع بر بخش زیرزمینی و عامل‌های مؤثر بر ذخیره کربن آلی خاک نیز توجه شود و به گونه‌ای درختان گزینش و قطع شوند که منجر به باز شدن بیش از اندازه تاج و در نتیجه برهم‌خوردن تعادل فصلی کلیمای جنگل و در نهایت ذخیره کربن آلی خاک نشوند. مدیریت در جنگل با ایجاد میکروکلیمای خاص، تغییراتی در عامل‌های مؤثر بر کربن در بخش روزمینی و به‌ویژه زیرزمینی ایجاد می‌کند که در سال‌های ابتدایی دخالت، منجر به کاهش شدید ذخیره کربن آلی در بخش زیرزمینی اکوسیستم و خارج شدن آن از تعادل می‌شود (تیمار مدیریت‌شده ۳۰ که یک سال از مدیریت آن گذشته بود، کمترین ذخیره کربن را در فصول مختلف در بین تیمارهای مدیریت‌شده داشت). لازم به ذکر است که کاهش ذخیره کربن آلی خاک پایدار نیست و اکوسیستم به‌علت داشتن خصوصیت خودتنظیمی و خودپایداری، با گذشت زمان، میزان کربن را به سمت تعادل هدایت می‌کند. بنابراین، در مدت ترمیم و تا زمان رسیدن ذخیره کربن به مقدار اولیه (طول گردش و ورود دوباره به توده)، نباید به اکوسیستم جنگلی مدیریت‌شده وارد شد و به آن سیر قهقرایی داد. همچنین توصیه می‌شود در احتساب طول گردش علاوه‌بر رویش، توان بازسازی توده و رویشگاه نیز درنظر گرفته شود تا چرخش مناسب برای بازسازی بخش روزمینی و زیرزمینی اکوسیستم (اکوسیستم متعادل و پایدار) به‌دست آید.

به‌طور کلی می‌توان گفت با توجه به این‌که این تحقیق یکی از تحقیقات جدید و به‌روز در زمینه تغییرات فصلی ذخیره کربن آلی خاک در سیستم‌های مدیریت‌شده و مدیریت‌نشده بود، نتایج آن می‌تواند در تعیین سیاستگذاری‌های صحیح مدیریتی و تعیین مناسب‌ترین دوره

استراحت جنگل با هدف افزایش بهره‌وری از کربن آلی خاک در جنگل‌های راش- ممرز مفید واقع شود.

References

- Abd Latif, Z. and Blackburn, G.A., 2008. Forest microclimate modelling using gap and canopy properties derived from LiDAR and hyper spectral imagery. SilviLaser, 17: 151-158.
- Anonymous, 2008. Forest management plan of Dr. Bahramnia (District no. 1). Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, 447p (In Persian).
- Black, C.A., 1965. Methods of Soil Analysis: Part I. Physical and Mineralogical Properties. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA, 770p.
- Boerner, R.E.J., Brinkman, J.A. and Smith, A., 2005. Seasonal variations in enzyme activity and organic carbon in soil of a burned unburned hardwood forest. Soil Biology and Biochemistry, 37: 1419-1426.
- Devi, N. and Yadava, P.S., 2006. Seasonal dynamics in soil microbial biomass C, N and P in a mixed oak forest ecosystem of Manipur, north-east India. Applied Soil Ecology, 31: 220-227.
- Dixon, R.K., Brown, S., Houghton, R.A., Solomon, A.M., Trexler, M.C. and Wisniewski, J., 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. Science, 263: 185-190.
- Gelman, V., Hulkkonen, V., Kantola, R., Nousianen, M., Nousianen, V., and Poku-Marboah, M., 2013. Impact of Forest Management Practices on Forest Carbon, Interdisciplinary Approach to Forests and Climate Change. University of Helsinky, Helsinky, 20p.
- Ghorbani, S. and Rahmani, R., 2008. Estimating of interception loss, stem flow and through fall in a natural stand of oriental beech (Shastkolateh forest). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 16(4): 638-648 (In Persian).
- Giardina, C.P., Ryan, M.G., Hubbard, R.M. and Binkley, D., 2001. Tree species and soil textural controls on carbon and nitrogen mineralization rates. Soil Science Society of American Journal, 65: 1272-1279.
- Goulden, M.L., Munger, J.W., Fan, S.M., Daube, B.C. and Wofsy, S.C., 1996. Measurements of carbon sequestration by long-term eddy covariance: methods and a critical evaluation of accuracy. Global Change Biology, 2: 169-182.
- Hart, S.C. and Perry, D.A., 1999. Transferring soils from high- to low-elevation forests increases nitrogen cycling rates: climate change implications. Global Change Biology, 5(1): 23-32.
- Hobbie, S.E., Schimel, J.P., Trumbore, S. and Randerson, J.R., 2000. Controls over carbon storage and turnover in high-latitude soils. Global Change Biology, 6: 196-210.
- Houghton, R.A., Skole, D.L. and Nober, C.A., 2000. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. Nature, 403: 301-304.
- Jian, Z., Sil Ong, W., Qingkui, W. and YanXin, L., 2009. Remove from marked records content and seasonal change in soil labile organic carbon under different forest cover. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 17: 41-47.
- Jobbagy, 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.
- Kirschbaum, M.U.F., 1995. The temperature dependence of soil organic matter decomposition and the effect of global warming on soil organic C storage. Soil Biology Biochemistry, 27(6): 753-760.
- Lal, R., Kimble, J.M., Follet, R.F. and Cole, C.V., 1998. The Potential of U.S. Cropland to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect. Ann Arbor Science Publication, Chelsea, 108p.
- Liddcoat, C., Schapel, A., Davenport, D. and Dwyer, E., 2010. Soil Carbon and Climate Change, Rural Solutions. PIRSA Discussion Paper. Adelaide. SA: Rural Solutions SA, 76p.
- Malhi, Y., Baldocchi, D.D. and Jarvis, P.G., 1999. The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests. Plant, Cell and Environment, 22: 715-740.
- Page, A.L., Miller, R.H. and Keeney, M., 1992. Methods of Soil Analysis, Part II, Chemical and Microbiological Methods. 2nd Edition, Soil Science Society of America Publication, USA, 1159p.
- Qi, G., Wang, Q., Zhou, W., Ding, H., Wang, X., Qi, L., Wang, Y., Li, S. and Dai, L., 2011.

Frontiers in Ecology and the Environment, 9: 117-125.
- Tan, X.Z., Lal, R., Smeck, N.E. and Galhoum, F.G., 2004. Relationships between surface soil organic carbon pool and site variable. Geoderma, 121(3-4): 178-195.
- Thorn, M.S., Swanston, C.W., Castanha, C.C. and Trumbore, S.E., 2009. Storage and turnover of natural organic matter in soil: 219-273. In: Senesi, N., Xing, B. and Ming Huang, P. (Eds.). Biophysico-chemical Processes Involving Natural Nonliving Organic Matter in Environmental System. Published by Lawrence Berkeley National Laboratory, USA, 784p.
- Vitousek, P.M., Gosz, J.R., Grier, C.C., Melillo, J.M., Reiners, W.A. and Todd, R.L., 1979. Nitrate losses from disturbed ecosystems. Science, 204: 469-474.
- Wang, G., Zhou, Y., Xu, X., Ruan, H. and Wang, J., 2013. Temperature sensitivity of soil organic carbon mineralization along an elevation gradient in the Wuyi Mountains, China. Journal of PLOS ONE, 8(1): 1-7.
- Wild, S.A., Corey, R.B., Iyer, J.G. and Voigt, G.K., 1979. Soil and Plant Analysis for Tree Culture. Oxford and IBW Publishing, New Dehli, 224p.
- Yang, Y.S., Guo, J., Chen, G., Xie, J., Gao, R., Li, Z. and Jin, Z., 2005. Carbon and nitrogen pools in Chinese fir and evergreen broadleaved forests and changes associated with felling and burning in mid-subtropical China. Forest Ecology and Management, 216(1-3): 216-226.
- Zhang, X.Y., Xian-Jing, M., Lu-Peng, G., Xiao-Min, S., Jin-Juan, F. and Li-Jun, X., 2010. Potential impacts of climate warming on active soil organic carbon contents along natural altitudinal forest transect of Changbai Mountain. Acta Ecologica Sinica, 30(2): 113-117.

Moisture effect on carbon and nitrogen mineralization in topsoil of Changbai mountain northeast China. Journal of Forest Science, 57(8): 340-348.
- Ritter, E., 2005. Litter decomposition and nitrogen mineralization in newly formed gap sin a Danish Beech *(Fagus sylvatica)* forest. Soil Biology and Biochemistry, 37(7): 1237-1247.
- Rustad, L., Campbell, J., Marion, G., Norby, R., Mitchell, M., Hartley, A., Cornelissen, J. and Gurevitch, J., 2001. A meta-analysis of the response of soil respiration, net nitrogen mineralization, and aboveground plant growth to experimental ecosystem warming. Oecologia, 126(4): 543-562.
- Salim, M., Kumar, P., Gupta, M.K. and Kumar, S., 2015. Effect of seasons on sequestrated organic carbon pool in the soils under different land uses of Jhilmil Jheel Wetland, Haridwar-Uttrakhand, India. International Journal of Scientific and Research Publications, 5(1): 1-8.
- Schulp, C.J.E., Nabuurs, G., Veburg, P.H. and de Waal, R.W., 2008. Effect of tree species on carbon stocks in forest floor and mineral soil and implications for soil carbon inventories. Forest Ecology and Management, 256(3): 482-490.
- Simmons, J.A., Fernandez, I.J., Briggs, R.D. and Delaney, M.T., 1996. Forest floor carbon pools and fluxes along a regional climate gradient in Maine, USA. Forest Ecology and Management, 84(1-3): 81-95.
- Steward, T.A. and Pickett, P.S., 1985. The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics. Academic Press, San Diego, 472p.
- Swanson, M.E, Franklin, J.F., Beschta, R.L., Crisafulli, C.M., DellaSala, D.A., Hutto, R.L., Lindenmaver, D.B. and Swanson, F.J., 2011. The forgotten stage of forest succession: early-successional ecosystems on forest sites.

Seasonal changes of soil organic carbon pool in the managed and unmanaged beech-hornbeam stands

M. Moslehi [1], H. Habashi [2]* and R. Rahmani [3]

1- Ph.D. Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

2*- Corresponding author, Associate Prof., Department of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: habashi@gau.ac.ir

3- Associate Prof., Department of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Received: 12.01.2016 Accepted: 20.06.2016

Abstract

Soil organic carbon (SOC) is a major component of global carbon cycle, hence forest soil as one of the major carbon sinks has a key role in the control of atmospheric Co_2 concentrations. Consequently, changes of carbon release or uptake by forest ecosystems due to disturbance or management in an unsuitable period can have a considerable impact on atmospheric Co_2 concentrations and global warming. In this study, the effect of selection systems were investigated on seasonal changes of soil organic carbon pool (SOCP) in the mixed beech-hornbeam stand in district one of Shastkolate forest, Golestan province. For this purpose, SOCP was determined in depth of 0-20 cm from February of 2014 to February of 2015 in four stands with one hectare area (one in compartment 32 of virgin forest) and three in compartments 30, 33 and 31 in managed forest, in which the last interventions date back to 10, 7 and 1 years ago). Soil temperature and moisture changes were measured through one year as effective factors on SOCP. One-way ANOVA were used to determine soil moisture and temperature variability in each treatment through one year, and seasonal dynamics of SOCP were comprised using repeated measures design (General linear model). The SOCP relationship with soil moisture and temperature were analyzed using Pearson correlation coefficient. Results showed that the monthly changes of soil moisture and temperature had a significant difference in each treatment. SOCP was also significantly correlated with soil moisture and temperature. SOCP difference in different seasons was also significant, which was more obvious in the managed treatments. SOCP showed severe decrease in the managed stands compared to the unmanaged stand in the summer.

Keywords: Forest management plan, Golestan province, soil moisture, soil temperature, selection method.