

روابط بین ذخیره کربن آلی خاک با برخی از متغیرهای رویشگاهی در توده آمیخته راش - ممرز

مریم مصلحی^۱، هاشم حبشی^{۲*}، رامین رحمانی^۲ و خسرو ثاقب طالبی^۳

- ۱- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان هرمزگان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندرعباس، ایران و دانش آموخته دکتری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- ۲- دانشیار، گروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
- ۳- دانشیار، بخش تحقیقات جنگل مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۲۳

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۴/۲۵

چکیده

هدف از این پژوهش بررسی مقدار تأثیر تولید، تجزیه و انباشت لاشریزه، حرارت و رطوبت خاک و هوا، پایداری خاکدانه و بافت خاک بر ذخیره کربن آلی خاک و ارائه مدل، در سه توده آمیخته راش - ممرز در سری یک جنگل شصت کلاته استان گلستان است. بعد از انتخاب ۲۰ نمونه در هر تیمار، به مدت یک سال (از بهمن ۱۳۹۲ تا بهمن ۱۳۹۳) برداشت از عمق ۲۰ سانتی متری خاک سطحی انجام و برای تعیین مقدار کربن آلی و درصد رطوبت به آزمایشگاه انتقال یافت. برداشت لاشریزه و اندازه‌گیری تجزیه و تولید با تعبیه کیسه لاشبرگ (۱۴ عدد در هر نقطه) و تله لاشریزه (یک عدد در هر نقطه) در هر یک از تیمارها در طول سال انجام پذیرفت. در ۶۰ نمونه، وزن مخصوص ظاهری، درصد سنگ و سنگریزه، درجه حرارت خاک و هوا، رطوبت هوا و بافت خاک نیز تعیین شد. برای نمایش روابط بین ذخیره کربن آلی خاک با عوامل اندازه‌گیری شده، از تحلیل مسیر در سطح احتمال ۹۹ درصد استفاده شد و مدلی به صورت شبکه ارائه شد که تأثیر عوامل آشکار و پنهان بر ذخیره کربن آلی خاک را نشان داد. مدل مربوطه با مربع کای ۹/۰۸۹ و $P > 0/05$ و ریشه میانگین مربع خطای برآورد با مقدار ۰/۰۱۳، برازش بسیار مناسبی با مقادیر مشاهده شده داشت. رس، ساختمان خاک (پایداری خاکدانه)، رطوبت و حرارت خاک به ترتیب با ضرایب مسیر ۰/۶۲، ۰/۲۷، ۰/۲۵- و ۰/۲۰۱، بیش‌ترین سهم را در تخمین ذخیره کربن آلی داشتند.

واژه‌های کلیدی: اقلیم، تولید لاشریزه، ذخیره کربن آلی، خصوصیات فیزیکی خاک، میکروکلیمای خاک.

مقدمه

نرخ تجزیه را به دنبال خواهد داشت (Asgari, 2012). خاکدانه (یکی از عوامل مؤثر در ذخیره کربن آلی خاک)، گروهی از ذرات خاک هستند که پیوند قوی تری با یکدیگر نسبت به ذرات مجاور خود دارند. پایداری خاکدانه یک شاخص خوب برای تعیین محتوای ماده آلی (کربن آلی)، فعالیت بیولوژیکی و چرخه عناصر غذایی است (Ontario Ministry of Natural Resources, 1999)؛ زیرا عامل اصلی پیوند دهنده ذرات خاک با یکدیگر و تشکیل خاکدانه، ماده آلی (کربن آلی) است. (Habashi (2015) در بررسی روابط تنفس میکربی، کربن ذیتوده میکربی خاک و ماده آلی در توده آمیخته راش-ممرز جنگل شصت کلاته گرگان، روابط خطی مثبتی را گزارش نموده و ماده آلی خاک را عامل مهمی در غنای توده میکربی و تجزیه لاشریزه معرفی نمود.

Mokhtari و همکاران (2013) در بررسی تأثیر شیب و تغییر کاربری اراضی بر پایداری خاکدانه‌ها و مقدار کربن آلی آنها در جنگل بلوط غرب در منطقه لردگان استان چهارمحال و بختیاری گزارش کردند بیشترین درصد خاکدانه‌های درشت (۴/۷۵-۲ میلی متر) و خاکدانه متوسط (۲۰/۲۵-۲ میلی متر) در شیب صفر تا ۱۰ درصد در اراضی جنگلی وجود داشت که بیشترین ذخیره ماده آلی را شامل بود. همچنین بیشترین درصد خاکدانه‌های ریز در اراضی کشاورزی و جنگلی تخریب شده مشاهده شد. Vahedi و همکاران (2014) در مدل سازی ذخیره کربن آلی خاک در رابطه با خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک در جنگل‌های آمیخته راش گلندرود، رس را به عنوان یکی از عوامل مهم در تعیین ذخیره کربن آلی خاک در مدل به دست آمده، گزارش کردند. Vitousek و همکاران (1979) کاهش عناصر غذایی در اکوسیستم‌های دست خورده جنگلی در آمریکا، به این نتیجه رسیدند

فرآیند جذب دی‌اکسید کربن از جو و ذخیره سازی طولانی مدت آن (Sedjo and Sohngen, 2012) در مخازن مختلف کربن مانند خاک، پوشش گیاهی و اقیانوس را ترسیب کربن گویند (Powlson et al., 2011). کربن خاک با تشکیل یک ذخیره گاه دینامیک، بخشی از چرخه جهانی کربن را تشکیل می‌دهد و با ورود و خروج مداوم خود به خاک منجر به ذخیره یا کاهش خود در خاک می‌شود. کربن آلی خاک از یک ماده یکنواخت تشکیل نشده است بلکه آمیخته‌ای از ترکیبات پیچیده مواد آلی است که در مراحل مختلف تجزیه تغییر می‌کند (خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، حرارت و رطوبت خاک، زی توده و فعالیت میکربی، تولید، خصوصیات لاشریزه، حاصلخیزی و وضعیت عناصر غذایی خاک) و به عنوان چرخه کربن با آب، چرخه عناصر غذایی و موجودات زنده خاک ارتباط متقابل دارد و در صورت تغییر در مقدار اولیه، به کندی به یک سطح تعادل جدید می‌رسند (Liddcoat et al., 2010). هر عاملی می‌تواند بر روی ذخیره کربن آلی خاک، از دو طریق تأثیر بر ورودی مواد از گیاهان به خاک و زمان ماندگاری ماده آلی در خاک تأثیر بگذارد (Thorn et al., 2009). یکی از عوامل مؤثر در ذخیره کربن آلی خاک درصد رس است که با درصد بالای خود (بافت سنگین) توانایی بیشتری به خاک برای نگهداری کربن می‌دهد (Hoyle and Murphy, 2008). همچنین درجه حرارت بالا در رطوبت مناسب نیز از عوامل تأثیرگذار در تجزیه کربن آلی خاک و کاهش آن است. در واقع فعالیت زیستی خاک به هوا و رطوبت در حد ظرفیت مزرعه نیاز دارد (Linn and Doran, 1984). در صورتی که رطوبت از حد معمول بالاتر رود منجر به کاهش اکسیژن خاک و در نتیجه کاهش فعالیت موجودات خاکزی خواهد شد که این فرآیند، کاهش

حمایت می‌کنند ولی بر مقدار حمایت کربن تأثیر معنی‌داری ندارد.

عامل‌های محیطی، مدیریتی و بیوژئوشیمیایی (Yang et al., 2005) به‌عنوان تنظیم‌کننده اصلی ذخیره کربن هستند (Gilliam et al., 2001). از این‌رو بررسی نقش ذخیره کربن آلی خاک برای کاهش گازهای گلخانه‌ای و عوامل مؤثر بر آن، نیاز به دانش بیشتر و توجه خاص دارد. امروزه کیفیت کربن موجود در جنگل از اهمیت ویژه‌ای برای مدیران جنگل و گرمایش جهانی برخوردار است. از این‌رو تخمین ترسیب کربن در سطح منطقه‌ای و ملی و عوامل مؤثر بر کمیت و کیفیت آن مورد نیاز است تا مدیران و برنامه‌ریزان جنگل، بتوانند بهترین برنامه مدیریتی را برای کم‌ترین آسیب به شبکه گسترده و پیچیده ذخیره کربن آلی خاک توسط بهره‌برداران و در نتیجه کنترل آلودگی و تغییرات آب و هوایی، تنظیم و اجرا کنند. برای چنین برنامه‌ریزی اثرگذار در جنگل، شناخت دقیق عوامل مؤثر بر ذخیره کربن آلی خاک نقش تعیین‌کننده دارد بنابراین در این تحقیق به بررسی مقدار تأثیر تولید، تجزیه و انبارش لاشریزه، حرارت و رطوبت خاک و هوا، پایداری خاکدانه و بافت خاک بر ذخیره کربن آلی خاک و تدوین و ارائه مدل، در توده آمیخته راش-ممرز پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه مورد بررسی

منطقه مورد بررسی در سری یک طرح جنگلداری دکنتر بهرام نیا، حوزه آبخیز ۸۵ طرح جامع جنگل‌های شمال کشور، در فاصله هشت کیلومتری جنوب غربی شهرستان گرگان در بین عرض‌های جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۲۴ دقیقه شرقی قرار گرفته است. جنگل آموزشی و پژوهشی

سرعت تجزیه لاشریزه در جنگل‌های مدیریت‌شده به- علت تغییر در شرایط رطوبتی و حرارتی، بیشتر از جنگل‌های دست‌نخورده است.

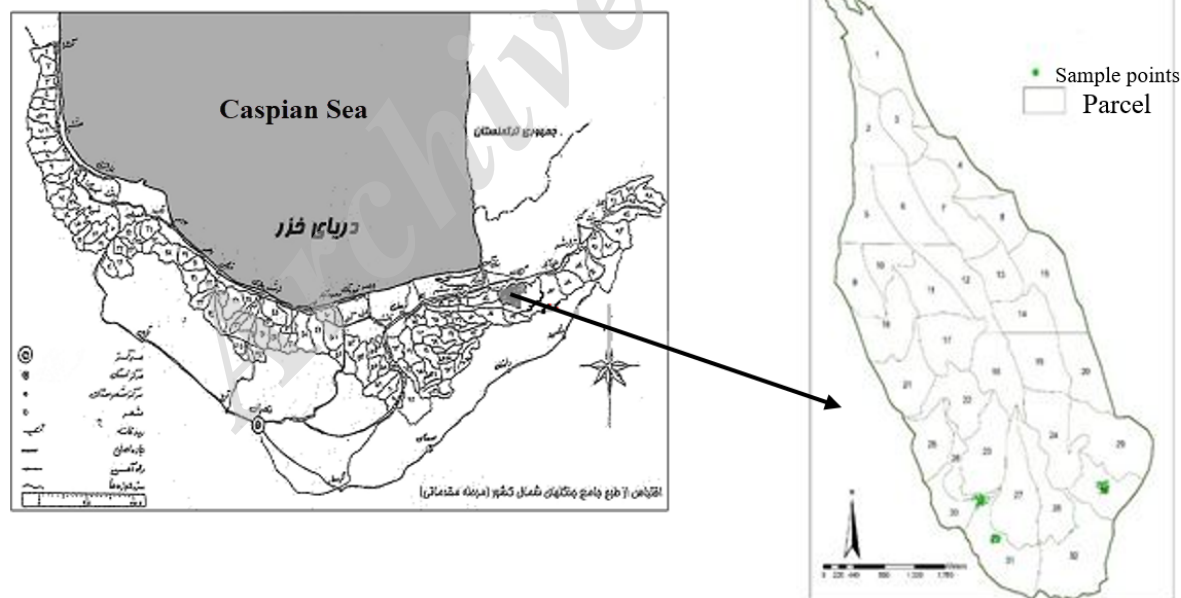
(Dai and Huang (2006) با بررسی همبستگی ماده آلی با آب‌وهوا و ارتفاع از سطح دریا در جنگل‌های چین، گزارش کردند انباشتگی ماده آلی در خاک با متوسط دما و متوسط بارندگی سالیانه به ترتیب رابطه منفی ($r = -0.26$) و مثبت ($r = 0.23$) داشت. Liu و همکاران (2006) در بررسی تأثیر اندازه دانه‌بندی خاک بر ذخیره کربن خاک در چین گزارش کردند مقدار ذخیره کربن خاک در دانه‌بندی با اندازه بیش‌تر از ۵، ۵-۲، ۲-۱ تا ۱-۰/۲۵ میلی‌متر یک روند افزایشی را نشان داده است، ولی از اندازه ۱-۰/۲۵ میلی‌متر تا کمتر از ۰/۲۵ میلی‌متر روند کاهشی داشته است. Kleja و همکاران (2008) در بررسی ذخیره کربن آلی خاک در گرادیان ارتفاعی در جنگل‌های سوئد به این نتیجه رسیدند مقدار ذخیره کربن در رویشگاه‌های جنوبی بیشتر از رویشگاه‌های شمالی است که علت آن را تولید بیشتر و نرخ بالای ورود لاشریزه به خاک گزارش کردند. Zhang و همکاران (2010) در تحقیق پتانسیل تأثیر گرمای هوا بر محتوای ذخیره کربن آلی خاک، ذخیره کربن آلی را در عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری خاک در جنگل‌های چین در یک ترانسکت ارتفاعی اندازه‌گیری و اظهار کردند، ذخیره کربن آلی خاک با افزایش ارتفاع، به دلیل کاهش دمای خاک، افزایش می‌یابد. همچنین به این نتیجه رسیدند مقدار کربن آلی خاک با درجه حرارت خاک همبستگی منفی ($r = 0.54$) دارد. Razafimbelo و همکاران (2013) در بررسی محتوای کربن در خاک‌های مالزی به این نتیجه رسیدند بین مقدار رس و خاکدانه‌های درشت با کربن آلی خاک همبستگی خطی وجود داشته و به صورت فیزیکی از آن

لحاظ میانگین ارتفاعی درختان و توده، تیپ توده و تاج-پوشش) در جهت شمال شرقی در هر یک از پارسل‌ها، یک قطعه یک هکتاری به صورت تصادفی به عنوان قطعه نمونه انتخاب شد. قطعات مورد نظر در میانگین ارتفاعی ۸۵۰ متر بالاتر از سطح دریا و جهت شمال-شمال شرقی قرار داشتند. تیپ توده بر اساس سطح مقطع، راش-ممرز، تاج پوشش ۷۰-۸۵ درصد و گونه‌های همراه افرا پلت و انجیلی بود. برای اندازه‌گیری کربن آلی، رطوبت و حرارت خاک، ۲۰ نقطه به صورت تصادفی در هر تیمار انتخاب شد (شکل ۱) و در همراه (۱۳۹۲/۱۱/۲۲ تا ۱۳۹۳/۱۱/۲۲) از هریک از نقاط، نمونه، در عمق اول خاک (۲۰-۰ سانتی متری) برداشت و برای اندازه‌گیری کربن آلی و رطوبت وزنی خاک به آزمایشگاه انتقال یافت.

شصت کلاته (بر اساس اطلاعات ایستگاه کلیماتولوژی هاشم‌آباد در فاصله پنج کیلومتری شمال منطقه طرح در جلگه) از لحاظ طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه دارای اقلیم مرطوب معتدل است و بر اساس اطلاعات ۱۰ ساله (۱۳۷۴-۱۳۸۴) دارای بارندگی متوسط سالانه ۶۴۹ میلی‌متر است که بین ۵۲۸ الی ۸۱۷ میلی‌متر در سال تغییر می‌کند. بر اساس اطلاعات ۱۵ ساله حداقل و حداکثر دما به ترتیب ۰/۴ و ۴۳/۶ است. به منظور انجام تحقیق مورد نظر، ۳ پارسل ۳۰، ۳۳ و ۳۱ انتخاب شدند. کلیه پارسل‌ها دارای تیپ خاک کامبی سول، دو اشکوبه، ترکیب گونه‌ای راش، ممرز، انجیلی، افرا و توسکا هستند (Anonymous, 2007).

روش پژوهش

پس از جنگل‌گردشی و جدا کردن سه قطعه یک هکتاری (۱۰۰×۱۰۰ متر) تقریباً نزدیک به یکدیگر (از



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه و نقاط پیاده شده در قطعات نمونه

Figure 1. The geographical location of region and sample points in sample plots.

سیلندر (wild et al., 1974) و ماده آلی به روش اکسیداسیون تر (والکی بلاک) (Page et al., 1992b)

رطوبت وزنی خاک به روش توزین Black (1965)، وزن مخصوص ظاهری با استفاده از روش

استفاده شد. بعد از محاسبه کربن آلی خاک، با استفاده از رابطه یک (Lal, 2004) ذخیره کربن آلی خاک به دست آمد.

$$\text{Socp (t/ha)} = \sum [oc (gr/kg) \times depth (m) \times Bd (t/cm^3) \times (1 - (C\ fragments/100))] \times 10 \quad \text{رابطه (۱)}$$

در هر برداشت با خشک شدن در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی گراد و تعیین اختلاف وزن ثانویه و اولیه با دقت هزارم گرم وزن و محاسبه شد (Wieder and Lang, 1982). اندازه گیری پایداری خاکدانه و اندازه خاکدانه از روش الک تر استفاده شد (Page et al., 1992a) و با استفاده از رابطه ۲ میانگین وزنی قطر محاسبه شد.

$$\text{MWD (mm)} = \sum_{i=1}^n w_i \cdot \bar{x}_i \quad \text{رابطه (۲)}$$

در رابطه دو MWD متوسط وزنی قطر برحسب میلی متر، w_i بخش خاکدانه های پایدار روی الک i ، \bar{x}_i میانگین هندسی اندازه خاکدانه ها روی الک i است.

تحلیل آماری داده ها

برای بررسی رابطه ذخیره کربن آلی خاک در توده های گزینشی راش-ممرز با تولید، تجزیه و انبارش لاشریزه، سایر خاکدانه، بافت، پایداری خاکدانه، حرارت و رطوبت و ارائه مدل از آنالیز معادله ساختاری با استفاده از نرم افزار Amos 22، استفاده شد. برای برازش مدل پیش بینی شده از مقیاس های برازش مطلق (کای اسکوئر Chi-Square Statistic)، ریشه میانگین مربع خطای برآورد (Root mean square error of approximation) و مقیاس های برازش افزایشی، شاخص برازش نرمال شده (Normed fit index)، شاخص برازش اعتباری (Incremental fit index)، تاکر-لویز (Tucker-Lewis)، شاخص برازش مقایسه ای (Comparative fit index) و شاخص برازش نسبی (Relative fit index) استفاده شد (جدول ۱) (Toloi and Safakish, 2010).

در رابطه ۱ Socp ذخیره کربن آلی خاک به تن در هکتار (Soil organic carbon pool)، oc کربن آلی (گرم در کیلوگرم خاک)، Bd وزن مخصوص ظاهری (تن بر سانتی متر مکعب)، $C\ fragments$ درصد سنگ و سنگریزه درشت تر از ۲ میلی متر است. اندازه گیری درجه حرارت خاک نیز یک بار در هر ماه در هنگام ظهر با قرار دادن الکتروود دماسنج در داخل خاک (Ritter, 2005) در عمق صفر تا ۲۰ سانتی متری در هریک از نقاط نمونه (قبل از گرفتن نمونه خاک) و نمایش حرارت خاک در صفحه نمایشگر آن (بعد از ثابت شدن عدد در صفحه نمایش) ثبت شد. درجه حرارت اتمسفر در هریک از نقاط نمونه، با استفاده از دماسنج در ارتفاع ۱/۵ متری از سطح زمین و درجه حرارت خاک در عمق صفر تا ۲۰ سانتی متری ثبت شد. برای اندازه گیری تولید لاشریزه در دوره اندازه گیری (۱۳۹۲/۱۱/۲۲ تا ۱۳۹۳/۱۱/۲۲)، تله هایی با ابعاد ۵۰×۵۰ سانتی متر در هر یک از نقطه نمونه ها، در ۱۰ سانتی متر بالاتر از سطح خاک، تعبیه شد. لاشریزه های جمع آوری شده پس از قرار دادن در داخل آون با دمای ۷۵ درجه سانتی گراد به مدت ۷۲ ساعت، با دقت هزارم گرم وزن شد (Fahey and Knapp, 2007). مقدار انبارش لاشریزه در هر یک از تیمارها از تفاوت مقدار تولید و سرعت تجزیه در طول یک سال محاسبه شد. برای اندازه گیری سرعت تجزیه ۲۶۰ کیسه لاشریزه با ابعاد ۲۰×۲۰ سانتی متر و محتوای ۲۰ گرم لاشریزه خشک شده (Sariyildiz et al., 2005) در هر تیمار تعبیه شد. کیسه لاشریزه ها از تاریخ ۱۳۹۲/۱۱/۲۲ تا ۱۳۹۳/۱۲/۲۲ جمع آوری شد و

جدول ۱- مقیاس‌های نیکویی برازش مدل

Table1. Goodness of fit scale of model

توضیحات Description	رابطه Equation	چه زمانی مدل برازنده است؟ When is the model fit?	نام آزمون Test name
<p>f_o: فراوانی مشاهده شده f_o: Observed Frequency f_e: فراوانی مورد انتظار F_e: Expected Frequency K: تعداد دسته‌ها K: Number of categories</p>	$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e}$	<p>تفاوت مدل پیشنهادی و مشاهده شده کوچک بوده و معنی دار نباشد. The difference between proposed and observed model is small and not to be significant</p>	<p>کای اسکوئر Chi-Square</p>
<p>χ^2: مربع کای مدل پیشنهادی χ^2: Chi-square of proposed model df: درجه آزادی مدل df: Degrees of freedom N: اندازه نمونه N: Sample number</p>	$RMSEA = \sqrt{\frac{\chi^2_{proposed}}{df_{proposed}} - 1} / N - 1$	<p>$0.05 <$</p>	<p>ریشه میانگین مربع خطای برآورد Root mean square error of approximation</p>
<p>X^2_{null}: مربع کای مدل صفر X^2_{null}: Null chi-square</p>	$NFI = 1 - \frac{\chi^2_{proposed}}{\chi^2_{null}}$	<p>$0.9 >$</p>	<p>شاخص برازش نرمال شده Normed fit index</p>
<p>df_{null}: درجه آزادی مدل صفر df_{null}: Degrees of freedom of null model</p>	$IFI = \frac{\chi^2_{proposed} - df_{proposed}}{\chi^2_{null} - df_{null}}$	<p>$0.9 >$</p>	<p>شاخص برازش اعتباری Incremental fit index</p>
	$TLI = \frac{\frac{\chi^2_{null}}{df_{null}} - \frac{\chi^2_{proposed}}{df_{proposed}}}{\frac{\chi^2_{null}}{df_{null}} - 1}$	<p>$0.9 >$</p>	<p>شاخص تاکر- لویز Tucker-Lewis index</p>
	$CFI = 1 - \frac{\chi^2_{proposed} - df_{proposed}}{\chi^2_{null} - df_{null}}$	<p>$0.9 >$</p>	<p>شاخص برازش مقایسه‌ای Comparative fit index</p>
	$RFI = 1 - \frac{\frac{\chi^2_{proposed}}{df_{proposed}}}{\frac{\chi^2_{null}}{df_{null}}}$	<p>$0.9 >$</p>	<p>شاخص برازش نسبی Relative fit index</p>

نتایج

رطوبت خاک به صورت مستقیم و تولید و انبارش لاشریزه به صورت غیرمستقیم در مدل بر روی ذخیره کربن آلی خاک تأثیر دارند (شکل ۲).

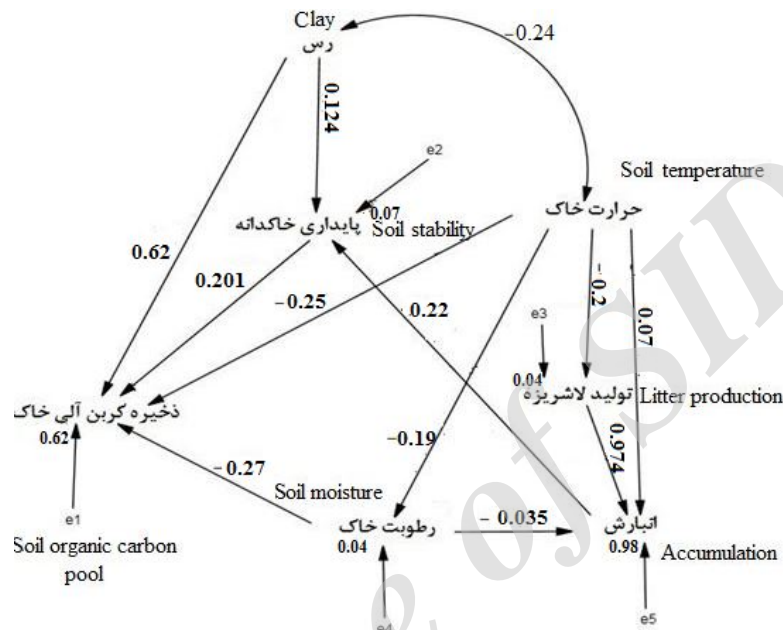
اثرهای کل که از مجموع اثرهای مستقیم و غیرمستقیم حاصل شده است نیز نشان داد، رس، رطوبت و حرارت خاک و پایداری خاکدانه بیشترین سهم را

روابط ذخیره کربن آلی خاک، تولید، تجزیه و انبارش لاشریزه، پایداری خاکدانه، بافت خاک، حرارت و رطوبت خاک

مدل‌های متفاوتی با استفاده از عوامل اندازه‌گیری شده تهیه شد که از بین آنها مدلی بهترین برازش را نشان داد که چهار عامل پایداری خاکدانه، بافت خاک، حرارت و

(به صورت مستقیم) در تعیین ذخیره کربن آلی خاک دارند (جدول ۲). در مدل شبکه‌ای تعیین شده علاوه بر تأثیر غیرمستقیم عوامل متغیر درون‌زای انبارش و تولید لاشریزه، متغیرهای برون‌زای رس و حرارت خاک و

متغیر درون‌زای رطوبت خاک، علاوه بر تأثیر مستقیم بر ذخیره کربن آلی خاک بر روی دیگر عوامل نیز تأثیر دارند و بدین ترتیب یک شبکه‌ای از عوامل ایجاد می‌شود که در مجموع، اثرهای آنها بر ذخیره کربن آلی خاک ختم می‌شود (شکل ۲ و جدول ۲).



شکل ۲- ضرایب مسیر بر اساس مسیرهای مستقیم و غیرمستقیم متغیرهای برون‌زای مشاهده شده (رس و حرارت خاک) و متغیرهای درون‌زای مشاهده شده (پایداری خاکدانه، رطوبت خاک، تولید و انبارش لاشریزه) بر ذخیره کربن آلی خاک در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد.

Figure 2. Path coefficient based on exogenous variable (clay and soil temperature) and endogenous variable (stability, soil moisture, litter fall production and accumulation) on soil organic carbon pool in the level of 0.01%

جدول ۲- مقادیر استاندارد شده اثرهای مستقیم، غیرمستقیم و اثرهای کل بر ذخیره کربن آلی خاک در مدل پیش‌بینی شده

Table 2. Standardized value of direct, indirect and total production on soil organic carbon pool in predicted model.

اثرهای کل	اثرهای غیرمستقیم	اثرهای مستقیم	متغیر
Total directs	Indirect effect	Direct effect	Variable
0.19-	0.00	0.19-	حرارت خاک بر رطوبت خاک Soil temperature on soil moisture
0.20-	0.00	0.20-	حرارت خاک بر تولید لاشریزه Soil temperature on litter production
0.255-	0.185-	0.07-	حرارت خاک بر انبارش لاشریزه Soil temperature on litter accumulation
0.055-	0.055-	0.00	حرارت خاک بر پایداری خاکدانه Soil temperature on soil stability

ادامه جدول ۲.

Continued table 2.

اثرهای کل Total directs	اثرهای غیرمستقیم Indirect effect	اثرهای مستقیم Direct effect	متغیر Variable
0.211-	0.039	0.25-	حرارت خاک بر ذخیره کربن Soil temperature on soil organic carbon pool
0.093-	0.00	0.035-	رطوبت خاک بر انباش Soil moisture on accumulation
0.008-	0.008-	0.00	رطوبت خاک بر پایداری خاکدانه Soil moisture on soil stability
0.273-	0.002-	0.27-	رطوبت خاک بر ذخیره کربن Soil moisture on soil organic carbon pool
0.008	0.00	0.974	تولید لاشریزه بر انباش لاشریزه Litter production on accumulation
0.213	0.213	0.00	تولید لاشریزه بر پایداری خاکدانه Litter production on soil stability
0.22	0.00	0.22	انباش لاشریزه بر پایداری خاکدانه Accumulation on soil stability
0.124	0.00	0.124	رس بر پایداری خاکدانه Clay on soil stability
0.640	0.020	0.62	رس بر ذخیره کربن Clay on soil organic carbon
0.201	0.00	0.201	پایداری خاکدانه بر ذخیره کربن Soil stability on soil organic carbon pool

عامل ریشه میانگین مربع خطای برآورد ($RSMEA$) به ۰/۱۱۹ افزایش خواهد یافت و مدل از برازش مناسبی برخوردار نخواهد بود.

تدوین مدل برای پیش‌بینی ذخیره کربن آلی خاک تعیین مدل به دست آمده با استفاده از شاخص‌های برازش (جدول ۱) مورد آزمون قرار گرفت تا درجه اطمینان آن مشخص شود (جدول ۳). مربع کای نشان داد اختلاف مدل پیش‌بینی با داده‌های مشاهده شده اندک است که حاکی از عدم وجود معنی داری مدل با داده‌های مشاهده شده و برازش مناسب مدل است. همچنین دیگر شاخص‌های برازش نیز برازش بسیار مناسب مدل را با داده‌های مشاهده شده نشان داد (جدول ۳).

رس علاوه بر تأثیر مستقیم به صورت غیرمستقیم به واسطه پایداری خاکدانه نیز بر ذخیره کربن تأثیر می‌گذارد. علاوه بر درصد رس، حرارت خاک (تأثیر بر رطوبت، پایداری خاکدانه، تولید و انباش لاشریزه)، رطوبت خاک (تأثیر بر پایداری خاکدانه و انباش لاشریزه)، انباش لاشریزه (تأثیر بر پایداری خاکدانه) و تولید لاشریزه (تأثیر بر انباش و پایداری خاکدانه) در مدل، بر ذخیره کربن آلی خاک به صورت غیرمستقیم تأثیر می‌گذارد (جدول ۲). با وجود سهم اندک رطوبت ($-0/350$) و حرارت خاک ($-0/07$) بر انباش، حذف آنها منجر به افزایش مربع کای و معنی داری مدل خواهد شد ($p < 0/05$ و $X^2 = 20/23$). همچنین با حذف این دو

جدول ۳- نتیجه شاخص‌های آزمون برازندگی مدل نهایی با اعمال خطای اندازه‌گیری

Table 3. The result of the final fitness indices by measurement the error

نتیجه	مقدار	دامنه موردقبول	شاخص
Result	Amount	Accepted range	Index
تأیید شده Verified	9.089	P > 0.05	شاخص مجذور χ^2 Squared index of χ^2
-	9	-	درجه آزادی Degrees of freedom
تأیید شده Verified	0.013	RMSEA < 0.05	ریشه میانگین مربع خطای برآورد Root mean square error of approximation
تأیید شده Verified	0.97	NFI > 0.9	شاخص برازش نرمال شده Normed fit index
تأیید شده Verified	1	IFI > 0.9	شاخص برازش اعتباری Incremental fit index
تأیید شده Verified	0.99	TLI > 0.9	شاخص تاکر- لویز Tucker-Lewis index
تأیید شده Verified	1	CFI > 0.9	شاخص برازش مقایسه‌ای Comparative fit index
تأیید شده Verified	1	RFI > 0.9	شاخص برازش نسبی Relative fit index

مقیاس واحدهای اندازه‌گیری رس و رطوبت خاک برحسب درصد، حرارت خاک (درجه سانتی‌گراد)، پایداری خاکدانه (میلی‌متر) است.

با توجه به مدل کلی ارائه شده (شکل ۱) با استفاده از ضرایب متغیرهای درون‌زای مشاهده شده رطوبت خاک و پایداری خاکدانه و متغیرهای برون‌زای مشاهده شده رس و حرارت خاک، معادله‌ای برای برآورد ذخیره کربن آلی خاک ارائه شد (جدول ۵).

جدول ۵- مشخصات مدل برآورد کننده ذخیره کربن آلی خاک (تن در هکتار)

Table 5. Characterization of predictor model of soil organic carbon pool (t ha⁻¹)

مجدور همبستگی چندگانه	معادله خطی مدل	برآورد شونده	برآورد کننده
Squared multiple correlation	Linear equation of model	Predicted	Predictor
0.62	$Socp = 853.510 + 15.94 \times (C) + 203.64 \times (S) - 7.42 \times (SM) - 114.59 \times (ST)$	ذخیره کربن آلی خاک Soil organic carbon pool	رس (Clay)، رطوبت خاک (Soil moisture)، حرارت خاک (Soil temperature)، پایداری خاکدانه (Stability)

رطوبت) بسیار پیچیده است. با استفاده از آنالیز رگرسیون چندگانه در مدل تعیین ذخیره کربن آلی خاک، فقط چهار متغیر رس، پایداری خاکدانه، حرارت

بحث روابط ذخیره کربن آلی خاک با منابع (تولید، تجزیه، انباشت) و شرایط (پایداری خاکدانه، بافت، حرارت و

رابطه عکس درجه حرارت با ذخیره کربن آلی خاک و Tan و همکاران (2004) نیز به رابطه عکس رطوبت خاک و ذخیره کربن آلی خاک دست یافتند. افزایش حرارت با دسترسی مناسب به رطوبت، فعالیت موجودات خاکزی افزایش یافته و نرخ تجزیه ماده آلی که مخزن اصلی کربن آلی خاک است با سرعت بالاتری انجام می‌گیرد (Liddcoat و همکاران (2010)، به این خاطر در نواحی گرم ذخیره کربن آلی خاک به مقدار زیاد امکان پذیر نبوده و نسبت به مناطق سرد کم‌ترین مقدار ذخیره را در خاک خود دارند (Cao and Woodward, 1998). حرارت با این‌که منجر به افزایش تولید و ورود لاشریزه و کربن بیشتر به خاک می‌شود اما به دلیل حساسیت بالای نرخ تجزیه به گرما، مقدار تجزیه ماده آلی (خروج کربن) بر مقدار ورودی از طریق تولید غلبه می‌یابد و در نهایت منجر به کاهش ذخیره کربن آلی خاک می‌شود (Kirschbaum, 2000). عامل مستقیم چهارم که سهم عمده‌ای در ذخیره کربن خاک دارد پایداری خاکدانه است (ضریب مسیر ۰/۲۰۱) که (Liu et al., 2006, Kemper and Koch, 1966). Liu et al., 2006, Razafimbelo et al., 2013 و Six et al., 2002) به نتایج مشابهی دست یافتند.

فعالیت خاکدانه همانند رس است و به‌عنوان یکی از خصوصیات مهم فیزیکی که با رس در ارتباط است، ماده آلی را به‌صورت فیزیکی در برابر تجزیه محافظت می‌کند (Six et al., 2002). ماده آلی و خاکدانه‌ها حلقه‌های نزدیک به هم را تشکیل می‌دهند (Feller and Beare, 1997). در واقع ماده آلی با ایجاد پیوند بین ذرات خاک منجر به تشکیل خاکدانه می‌شود (Feller and Beare, 1997). پس از تشکیل خاکدانه، با قرارگیری در داخل فضاهای ریز بین آنها، در مقابل حمله میکروبی محافظت شده و از نظر بیولوژیکی غیرقابل دسترس می‌شود (Kaiser and

و رطوبت خاک وارد مدل خواهند شد و دیگر عوامل باوجود نقش تأثیرگذار خارج از مدل قرار گرفتند ولی تحلیل مسیر علاوه بر واردکردن چهار عامل مذکور، تأثیرات غیرمستقیم و عوامل دیگری که به‌صورت غیرمستقیم بر ذخیره کربن آلی خاک تأثیرگذار هستند را وارد مدل کرده است تا اهمیت آنها هرچند به‌صورت غیرمستقیم مشهود شود تا در انجام فعالیت‌های مدیریتی نگاهی وسیع‌تر به عوامل مؤثر کربن آلی خاک داشته باشیم چراکه ممکن است باوجود مدیریت دقیق ذخیره کربن برپایه این چهار عامل، تغییرات کربن ناشی از دخالت (به‌علت ناشناخته بودن عوامل پنهان مؤثر) همچنان شدید باشد. همان‌گونه در شکل ۲ مشهود است بر اساس ضرایب مسیر، رس بیش‌ترین سهم را در تعیین ذخیره کربن آلی خاک دارد ($\beta=0/62$) و تأثیر مثبت رس را نشان می‌دهد که با نتایج (Jobbagy and Jackson, 2000; Telles et al., 2003; Lal, 2004; Mund, 2004; Chaudhari et al., 2013; Razafimbelo et al., 2013) مطابقت دارد. پیوند بین سطح ذرات رسی و مواد آلی و ایجاد کمپلکس‌های رس-هوموس، فرآیند تجزیه مواد آلی را به تأخیر می‌اندازد (Asgari, 2012). سطوح کوچک رس، ماده آلی یا کربن آلی را پوشانیده و خاکدانه‌های پایداری را تشکیل می‌دهد که این خاکدانه‌ها، کربن آلی را از نظر فیزیکی در مقابل تجزیه و فرآیند معدنی شدن بیشتر در مقابل میکروب‌ها محافظت (Hoyle and Murphy, 2008) و نرخ بازگشت ماده آلی و کربن آلی را کند می‌کند (Telles et al., 2003). عوامل مهم دیگر رطوبت ($\beta=-0/27$) و حرارت خاک ($\beta=-0/25$) هستند که سهم‌های بعدی را به‌خود اختصاص دادند. در این تحقیق این دو عامل نقش مهمی در ذخیره کربن آلی خاک داشتند. (1999) Jobbagy, Hart and Perry, Cox و همکاران (2000)، Zhang and Jackson (2000) و همکاران (2010) به

(Kirschbaum, 2000) که در این شبکه دیده می‌شود با تأثیر بر پایداری خاکدانه، ذخیره کربن آلی خاک را افزایش می‌دهند. افزایش تولید لاشریزی و انبارش آن منجر به ورود ماده آلی بیشتر به خاک می‌شود که عامل اصلی خاکدانه سازی است. چنانچه مشاهده می‌شود تأثیر حرارت و رطوبت بر انبارش چشمگیر نیست اما در کارایی شبکه مدل و بالا بردن دقت آن بسیار اثرگذار است بنابراین بهتر است ارتباط ذخیره کربن آلی خاک با عوامل مؤثر بر آن را، به صورت یک شبکه در نظر بگیریم تا مجموعه ارتباطات به تصویر کشیده شود تا عوامل مؤثر بر آن به خوبی شناسایی و تحلیل شود. کربن یکی از گازهای گلخانه‌ای مهمی است که در حال حاضر با افزایش جمعیت شهرنشینی همراه با پیشرفت صنایع و جنگل‌زدایی، رو به افزایش بوده و سهم عمده‌ای را در تغییر اقلیم و گرمایش جهانی به خود اختصاص داده است به طوری که در بسیاری از کشورها و مجامع بین‌المللی در حال بررسی علل افزایش آن و کند کردن این روند افزایشی هستند بنابراین شناخت دقیق عوامل مؤثر بر ذخیره کربن آلی خاک و استفاده از این اطلاعات می‌تواند در اتخاذ تصمیمات مدیریتی و اجرایی صحیح در هنگام برنامه‌ریزی‌های جنگل‌شناسی و طرح‌های جنگلداری کارساز بوده و مفید واقع شود.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از رساله دکتری تخصص مصوب و دفاع شده در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان می‌باشد که نگارنده اول مقاله کمال تشکر را از حمایت‌های مالی و علمی این دانشگاه دارد.

References

- Anonymous, 2007. Bahramnia forest plan, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Forestry division, Gorgan, 481 p. (In Persian)
- Asgari, H., 2012. The importance of soil organic carbon matter key to drought-resistant soil and sustainable food and

(Guggenberger, 2000)؛ بنابراین خاکدانه‌ها مکانی امن برای استقرار و حفاظت ماده آلی (کربن آلی) است که در طی این فرآیند پیچیده بر مقدار ذخیره کربن آلی خاک می‌افزایند. همچنین خاکدانه‌ها، اثر مهمی در گسترش سیستم ریشه‌ای، چرخه کربن و آب، مقاومت خاک در برابر فرسایش و حاصلخیزی دارد (Barthes *et al.*, 2008). از این رو می‌توان گفت ساختمان خاک (دانه‌بندی) به عنوان عنصری کلیدی در ثبات ماده آلی و کربن خاک است. با توجه سهم عمده این چهار عامل در ذخیره کربن آلی خاک و شدت حساسیت آن به تغییرات این عوامل در جنگل‌های معتدله، فرمولی برای تعیین ذخیره کربن آلی خاک ارائه شده است (جدول ۵) که به نظر می‌رسد برای توده‌های آمیخته راش-ممرز مدیریت شده هیرکانی در ارتفاعات بالابند با شرایط تقریباً یکسان با شرایط منطقه تحقیق می‌تواند تا حدودی قابل‌تعمیم باشد.

نتیجه‌گیری کلی

در مدل کلی مذکور (شکل ۱) نشان داد که فرآیند ذخیره کربن آلی خاک بسیار پیچیده است و فقط با اندازه‌گیری چند متغیر قادر به توجیه این فرآیند نخواهیم بود. در واقع ارتباطات در مدل همانند یک زنجیره است که از مجموع برآیند آنها، ذخیره کربن آلی خاک شکل می‌گیرد. در این شبکه رطوبت خاک به صورت غیر مستقیم تأثیر منفی بر ذخیره کربن آلی خاک دارد. تولید و انبارش لاشریزه از عوامل مؤثر دیگر بر ذخیره کربن آلی خاک هستند. با افزایش مقدار تولید لاشریزه بر مقدار کربن ورودی به خاک افزوده می‌شود

production, First edition. Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources Press, Gorgan, 237 p. (In Persian).

- Barthes, B. G., E. Kouoakouoa, M. C. Larre-Larrouy, T. M. Razafimbelo, E. F. de Luca, A. Azontonde, C. S. Neves, P. L. de Freitas & C. L. Feller, 2008. Texture and sesquioxide effects on water stable aggregates and

- organic matter in some tropical soils, *Geoderma*, 143 (1): 14-25.
- Black, C. A., 1965. Methods of Soil Analysis: Part I Physical and mineralogical properties, Second edition. American Soil Society of Agronomy Press, Madison, Wisconsin, USA, 770 p.
 - Cao, M. & F. I. Woodward, 1998. Net primary and ecosystem production and carbon stocks of terrestrial ecosystems and their responses to climate change, *Global Change Biology*, 4(2): 185-198.
 - Chaudhari, P., D. V. Ahire, V. D. Ahire, M. Chkravary & S. Maity, 2013. Soil bulk density as related to soil texture, organic matter content and available total nutrients of Coimbatore soil, *International Journal of Scientific and Research Publications*, 3(2): 1-8.
 - Cox, P. M., R. A. Betts, C. D. Jones, S. A. Spall & I. J. Totterdell, 2000. Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model, *Nature*, 408(6809): 184-187.
 - Dai, W. & Y. Huang, 2006. Relation of soil organic matter concentration to climate and altitude in zonal soils of China, *Catena*, 65(1): 87-94.
 - Fahey, T. J. & A. K. Knapp, 2007. Principle and standards for measuring primary production, Oxford university press, New York, 288 p.
 - Feller, C. & M. H. Beare, 1997. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics, *Geoderma*, 79(1-4): 69-116.
 - Gilliam, F. S., B. M. Yurish & M. B. Adams, 2001. Temporal and spatial variation of nitrogen transformations in nitrogen-saturated soils of a central Appalachian hardwood forest, *Canadian Journal of Forest Research*, 31(10): 1768-1785.
 - Habashi, H., 2015. Microbial respiration and microbial biomass C relationship with soil organic matter in different type of mixed beech forest. *Forest Research and development*, 1(2): 135-144.
 - Hart, S. C. & D. A. Perry, 1999. Transferring soils from high- to low-elevation forests increases nitrogen cycling rates: climate change implications, *Global Change Biology*, 5(1): 23-32.
 - Hoyle, F. & D. Murphy, 2008. Crop management and its impact on soil health and carbon. Available from <https://grdc.com.au/>. Accessed in 2008.
 - Jobbagy, E. G. & R. B. Jackson, 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation, *Ecological Applications*, 10(2): 423-436.
 - Kaiser, K. & G. Guggenberger, 2000. The role of DOM sorption to mineral surfaces in the preservation of organic matter in soils, *Organic Geochemistry*, 31(7): 711-725.
 - Kemper, W. D. & E. J. Koch, 1966. Aggregate stability of soils from Western United States and Canada: measurement procedure, correlations with soil constituents, Agricultural Research Service, US Department of Agriculture Press, Washington, 51 p.
 - Kirschbaum, M. U. F., 2000. Will changes in soil organic carbon act as a positive or negative feedback on global warming? *Biogeochemistry*, 48(1): 21-51.
 - Kleja, D. B., M. Svensson, H. Majdi, P. Jansson, O. Langvall, B. Bergkvist, M. Johansson, P. Weslien, L. Truusb, A. Lindroth & G. Agren, 2008. Pools and fluxes of carbon in three Norway spruce ecosystems along a climatic gradient in Sweden, *Biogeochemistry*, 89(1): 7-25.
 - Lal, R., 2004. Soil carbon sequestration impacts on climate change and food security, *Science*, 304 (5677): 1623-1627.
 - Liddcoat, C., A. Schapel, D. Davenport & E. Dwyer, 2010. Soil carbon and climate change. PIRSA Discussion Paper. Prepared by Rural Solutions S A, Pirsra discussion paper, Government of South Australia, Australia, 76 p.
 - Linn, D. M. & J. W. Doran, 1984. Effect of water-filled pore space carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and nontilled soils, *Soil Science Society of America Journal*, 48(6): 1267-1272.
 - Liu, Y., S. Li, M. Shao & Y. Zhang, 2006. Distribution of organic carbon pools in different sizes of soil aggregates in Loess Plateau, *Ying yong sheng tai xue bao=The journal of applied ecology*, 17(6): 1003-1008.
 - Mokhtari, P., Sh. Ayoubi & M. Mossaddeghi, 2013. Aggregate structure and soil organic carbon pools in aggregate sizes fractions as affected by slope gradient and land use change in hilly regions, western Iran, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 44(2): 193-202. (In Persian)
 - Mund, M., 2004. Carbon pools European beech forests (*Fagus sylvatica*) under different

- silvicultural management. PhD thesis. Forestry and Forest Ecology of Georg. Gottingen University. Germany, 263 p.
- Ontario Ministry of Natural Resources, 1999. Choosing a silviculture system. Queen's printer for Ontario, Canada. 6 p.
 - Page, A. L., R. H. Miller & D. R. Jeeney, 1992a. Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical properties, Second edition. Soil Society of America Press, New York, 1750 p.
 - Page, A. L., R. H. Miller & M. Keeney, 1992b. Methods of soil analysis, Part II, Chemical and microbiological methods, Second edition. Soil science society of America, New York, 1159 p.
 - Powlson, D. S., A. P. Whitmore & K. W. T. Goulding, 2011. Soil carbon sequestration to mitigate climate change: a critical re-examination to identify the true and the false, *European Journal of Soil Science*, 62(1): 42-55.
 - Razafimbelo, T., T. Chevallier, A. Albrecht, L. Chapuis-Lardy, F. N. Rakotondrasolo, R. Michellon, L. Rabeharisoa & M. Bernoux, 2013. Texture and organic carbon contents do not impact amount of carbon protected in Malagasy soils, *Scientia Agricola*, 70(3): 204-208.
 - Ritter, E., 2005. Litter decomposition and nitrogen mineralization in newly formed gaps in a Danish beech (*Fagus sylvatica*) forest, *Soil Biology and Biochemistry*, 37(7): 1237-1247.
 - Sariyildiz, T., A. Tfeukuoulu & M. Kucuk, 2005. Comparison of decomposition rates of beech (*Fagus orientalis* Lipsky) and Spruce (*Picea orientalis* Link) litter in pure and mixed stands of both species in Artvin, Turkey, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 29(6): 429-438.
 - Sedjo, R. & B. Sohngen, 2012. Carbon Sequestration in Forests and Soils, *Annual Review of Resource Economics (Annual Reviews)*, 4(1): 127-144.
 - Six, J., R. T. Conant, E. A. Paul & K. Paustian, 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils, *Plant and Soil*, 241(2): 155-176.
 - Tan, Z. X., R. Lal, N. E. Smeck & F. G. Galhoun, 2004. Relationships between surface soil organic carbon pool and site variable, *Geoderma*, 121(3-4): 187-195.
 - Telles, E. D. C. C., P. B. de Camargo, L. A. Martinelli, S. E. Trumbore, E. S. de Costa, J. Santos, N. Higuchi & R. C. Oliveira, 2003. Influence of soil texture on carbon dynamics and storage potential in tropical forest soils of Amazonia, *Global Biogeochemical Cycles*, 17(2): 1-9.
 - Thorn, M. S., C. W. Swanston, C. C. Castanha & S. E. Trumbore, 2009. Storage and turnover of natural organic matter in soil. In: Senesi, N., B. Xing & P. M. Huang (Eds.), Biophysico-chemical processes involving natural nonliving organic matter in environmental system. Edited by 2009. United State of America Press, pp. 219-273.
 - Toloi, A. & M. S. Safakish, 2010. Analysis and Interpretation of univariate and multivariate statistical test using, First edition, Azad University Press, Tehran, 426 p. (in Persian)
 - Vahedi, A., A. Mattaji & J. Eshaghi Rad, 2014. Variation of Soil Organic Carbon Pool Weight Associated with Plant Biodiversity (Case Study: Mixed-Beech Forests of Glandrood in Nour), *Iranian Journal of Applied Ecology*, 3(7): 1-12. (In Persian)
 - Vitousek, P. M., J. R. Gosz, C. C. Grier, J. M. Melillo, W. A. Reiners & R. L. Todd, 1979. Nitrate losses from disturbed ecosystems, *Science*, 204(4392): 469-474.
 - Wieder, R. K. & G. E. Lang, 1982. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags, *Ecology*, 63(6): 1636-1642.
 - Wilde, S. A., G. K. Voigt & J. G. Iyer, 1974. Soil and Plant Analysis for Tree Culture. Fourth edition, Oxford and IBW press, New dehli, 172 p.
 - Yang, Y. S., J. Guo, G. Chen, J. Xie, R. Gao, Z. Li & Z. Jin, 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., X. J. Meng, L. O. Gao, X. M. Sun, J. J. Fan & L. J. Xu, 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.

Relationship between soil organic carbon pool and some site variables in the mixed beech-hornbeam stand

M. Moslehi¹, H. Habashi^{*2}, R. Rahmani² and Kh. Saghebalebi³

1- Assistant Professor, Research Division of Natural Resources, Hormozgan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Bandarabbas, Iran and Ph. D graduated from Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Recourses.

2- Associated Professor, Department of Silviculture and Forest Ecology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Recourses, Gorgan, I.R. Iran.

3- Associate Professor, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I.R. Iran.

Received: 16.07.2017

Accepted: 13.01.2018

Abstract

The aim of this study was to evaluate the effectiveness of litterfall production, decomposition, accumulation, temperature, moisture, soil texture and stability on soil organic carbon pool (Socp) and exhibition a model for prediction of it, at three mixed beech-hornbeam stands located in district one of Shastkolate forest, Golestan province from 2/11/2014 to 2/11/2015. In order to perform of this study, 20 points were chosen at each treatment and collected soil samples at the depth of 20 cm, to determine soil organic carbon pool and soil moisture. In order to determine decomposition and litter production, 14 litter bags and 1 litter trap were installed in each point and collected within a year. In 60 samples, bulk density, % volume of coarse fragments, soil texture, weather and soil temperature and weather moisture were determined. To display the relationship between socp and litterfall production, decomposition, accumulation, temperature, moisture, soil texture and stability, path analysis at the level of 99% was used and a network model was exhibited which showed the influence of obvious and unobvious factors on socp. The Chi-square and Root mean square error approximation of corresponding model were 9.089 ($P>0.05$) and 0.013. So the network model had a good fit. In the relevant model, clay, soil moisture, soil temperature and soil stability were direct influential factors with path coefficients 0.62, -0.27, -0.25 and 0.201 respectively which had the highest contribution in socp estimation. So a formula was exhibited by use of direct factors to predict socp.

Keywords: Climate, Litter production, Organic carbon pool, Soil microclimate, Soil physical properties.

* Corresponding author:

Email: Habashi.hashem@gmail.com