



مدل سازی تأثیر تبدیل پوشش گیاهی و تغییر اقلیم بر دینامیک ذخیره کربن آلی خاک در یک اکوسیستم پیچیده

بیژن آزاد^۱، *سید فخرالدین افضل^۱ و غلامعباس قنبریان^۲

^۱ کارشناس ارشد مدیریت مناطق بیابانی، بخش مهندسی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه شیراز،

^۲ استادیار بخش مهندسی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه شیراز

تاریخ دریافت: ۹۶/۴/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۶/۱۲

چکیده

سابقه و هدف: تبدیل پوشش گیاهی طبیعی به سایر پوشش‌های گیاهی و تغییر اقلیم، اثرات زیادی بر تجزیه کربن آلی خاک و در نهایت میزان انتشار دی‌اکسید کربن (CO_2) از خاک به اتمسفر گذاشته‌اند. اما تاکنون در ایران پژوهش‌های انگشت‌شماری به بررسی اثر تبدیل پوشش گیاهی و تغییر اقلیم بر میزان ذخیره کربن آلی به‌عنوان یک مؤلفه کلیدی در کاهش اثرات تغییر اقلیم و گرمایش جهانی پرداخته‌اند. جهت فائق آمدن بر محدودیت مطالعات میدانی، مدل‌های ماده آلی خاک، ارائه‌دهنده بهترین درک علمی از دینامیک ماده آلی خاک هستند. مدل کربن روتامستد ($RothC^1$) از پرکاربردترین مدل‌ها در مطالعات مربوط به ترسیب کربن خاک می‌باشد که در مطالعات فراوانی برای بررسی اثر تغییر اقلیم بر ذخیره کربن خاک به‌کار گرفته شده است. هدف پژوهش حاضر، بررسی اثر تبدیل پوشش گیاهی بومی (مرتع) به چهار پوشش گیاهی جدید (مرتع زیر اشکوب سرو، مراتع زیر اشکوب بادام کوهی، درختان بادام کوهی و درختان سرو) و همچنین شبیه‌سازی اثر دو سناریو اقلیمی (عدم وقوع تغییر اقلیم و وقوع تغییر اقلیم) بر دینامیک ذخیره کربن آلی خاک (SOC^2) با استفاده از مدل کربن روتامستد ($RothC$) در پنج پوشش گیاهی منطقه باجگاه شهرستان شیراز برای ۳۶ سال (۲۰۱۴-۲۰۵۰) می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه ۲۱۰ نمونه خاک برای تعیین کربن آلی خاک و بافت خاک و همچنین ۴۲۰ نمونه به‌منظور تعیین وزن مخصوص ظاهری خاک جمع‌آوری شد. پس از اندازه‌گیری پارامترهای ذکر شده، ذخیره کربن آلی خاک در عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری در هر تیمار پوشش گیاهی محاسبه شد. در نهایت اثر تبدیل پوشش گیاهی و دو سناریو اقلیمی بر میزان ذخیره کربن آلی خاک با استفاده از مدل روتامستد در پنج پوشش گیاهی منطقه باجگاه شیراز بررسی شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که افزایش ذخیره کربن آلی خاک در اثر کاشت درختان سرو بعد از ۱۵ سال بیش‌تر از میزان افزایش ذخیره کربن آلی خاک در اثر کاشت درختان بادام کوهی بعد از ۳۰ سال در منطقه باجگاه بوده است. نتایج شبیه‌سازی مدل روتامستد نیز نشان داد ذخیره کربن آلی خاک در سال ۲۰۵۰ در تیمارهای مرتع، مراتع زیر اشکوب

* مسئول مکاتبه: afzalif@shirazu.ac.ir

1- Rothamsted Carbon Model
2- Soil Organic Carbon

درخت بادام، مراتع زیر اشکوب درخت سرو، درختان سرو و درختان بادام در اثر تغییر اقلیم نسبت به سال ۲۰۱۴ به ترتیب ۱۲/۱۹، ۱۲/۱۴، ۱۲/۱۱، ۱۰/۳۷ و ۱۰/۴۹ درصد کاهش خواهد یافت. میزان ذخیره کربن آلی خاک در هر کدام از تیمارها، قبل و بعد از تغییر اقلیم در سطح ۵ درصد ($P < 0.05$) باهم تفاوت معنی دار داشتند.

واژه‌های کلیدی: درخت بادام کوهی، درخت سرو، گرمایش جهانی، مدل کربن روتامستد (RothC)، مراتع منطقه باجگاه

مقدمه

به خاک می‌باشند (۵۵) و در نتیجه بر انتشار CO_2 از خاک به اتمسفر اثر می‌گذراند (۳، ۸ و ۳۷). تغییر پوشش گیاهی بر کربن خاک در حدی تأثیرگذار است که ویلکاک و همکاران (۲۰۱۶) برآورد کردند که از بین رفتن ۷۴ درصد از جنگل‌های شرق تانزانیا طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۰ موجب هدرروی ۹۰۰ میلیون تن کربن از خاک‌های این منطقه شده است (۵۱). همچنین پلیک‌کا و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که قطع درختچه‌زارها و تبدیل آن‌ها به زمین‌های کشاورزی اثر قابل توجهی بر کاهش میزان ذخیره کربن آلی خاک داشته است و احیاء مجدد منطقه با جنگل‌کاری در زمین‌های کشاورزی، به مرور زمان موجب افزایش ذخیره کربن آلی خاک شده بود (۳۹).

با افزایش دمای زمین و تغییر اقلیم، رژیم‌های حرارتی و رطوبتی خاک و متعاقب آن ترکیب گونه‌های گیاهی اکوسیستم و زیست‌توده گیاهی شامل بقایا و مواد گیاهی هوایی و زیرزمینی برگشت یافته به خاک تغییر کرده و در نتیجه ذخیره کربنی خاک دچار تغییر می‌شود (۵ و ۳۱). بیش‌تر پژوهش‌ها، تغییر اقلیم و افزایش دما را عامل اصلی افزایش انتشار CO_2 از خاک به اتمسفر و کاهش ذخیره کربن آلی خاک دانسته‌اند (۲، ۸، ۱۳، ۳۶ و ۵۰). مونوزوجاس و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از مدل CarboSOIL افزایش هدرروی کربن آلی خاک را با افزایش دما و کاهش بارندگی در شمال مصر نشان دادند و بیان کردند اثر تغییر اقلیم بر کاهش ذخیره کربن آلی خاک در افق‌های بالایی خاک بیش‌تر است (۳۵). به همین

پیشرفت در علوم محیطی در دهه‌های اخیر روشن ساخته که خاک‌ها نقش مهمی در چرخه بیوژئوشیمی بازی کرده و مؤلفه پایه‌ای از چرخه کربن می‌باشند (۳۰). خاک‌ها، بزرگ‌ترین ذخیره‌گاه کربن زمینی هستند که نقش مهمی در چرخه جهانی کربن بازی می‌کنند و می‌توان به‌وسیله اقدامات مدیریتی مناسب از طریق جذب دی‌اکسیدکربن (CO_2) از اتمسفر و ذخیره آن در خاک امکان استفاده از این ذخیره‌گاه^۱ بالقوه را برای جبران و تخفیف اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای داشت (۲۵ و ۵۴). نوع پوشش گیاهی غالب در هر اکوسیستم از جمله عوامل تأثیرگذار بر ذخیره کربن آلی خاک است (۴۶). با تبدیل پوشش گیاهی بومی^۲ به سایر پوشش‌های گیاهی، به‌طور قابل توجهی بیوژئوشیمی کربن ذخیره‌شده در خاک‌ها تغییر می‌یابد و موجب آزادسازی کربن ذخیره‌شده در بیومس، افزایش سرعت تجزیه کربن خاک و در نهایت کاهش سطح کربن آلی خاک‌ها می‌شود (۴۷). کاربری‌ها و پوشش‌های گیاهی مختلف، جریان‌های انرژی، کربن و عناصر غذایی و همچنین حرکت عمودی و افقی آب را تغییر داده و در نتیجه حاصلخیزی زمین و میزان کربن آلی خاک تغییر خواهد یافت (۵۳). به‌طوری‌که تنوع فیزیولوژیکی گونه‌های گیاهی شرایط حرارتی خاک و رطوبتی خاک را تغییر داده (۴۱) و تعیین‌کننده میزان کربن جذب شده و نرخ انتقال آن

1- Sink
2- Native

کوچکی و همکاران (۱۳۸۶)، نشان دادند که میانگین افزایش درجه حرارت سالانه در مناطق مختلف کشور در سال ۲۰۵۰ میلادی در محدوده ۳/۵ تا ۴/۴ درجه سانتی‌گراد قرار داشته و شدت افزایش دما از غرب به شرق و از شمال به جنوب کشور بیش‌تر می‌شود (۲۷). اما تاکنون مطالعه جامعی به بررسی دینامیک کربن آلی خاک در اثر تبدیل پوشش گیاهی و تغییر اقلیم در مفهوم مدل‌سازی در یک اکوسیستم پیچیده در داخل ایران نپرداخته است و مطالعه فعلی اولین تلاش برای فهم اثرات تغییر اقلیم بر دینامیک کربن آلی خاک در یک اکوسیستم پیچیده در داخل ایران است. بنابراین این مطالعه با هدف بررسی اثر کاشت درختان بادام کوهی و سرو بر ذخیره کربن آلی خاک پوشش بومی منطقه باجگاه و همچنین مدل‌سازی اثر دو سناریو اقلیمی (بدون تغییر اقلیم و تغییر اقلیم) بر دینامیک ذخیره کربن آلی خاک با مدل روتامستد انجام شد.

مواد و روش‌ها

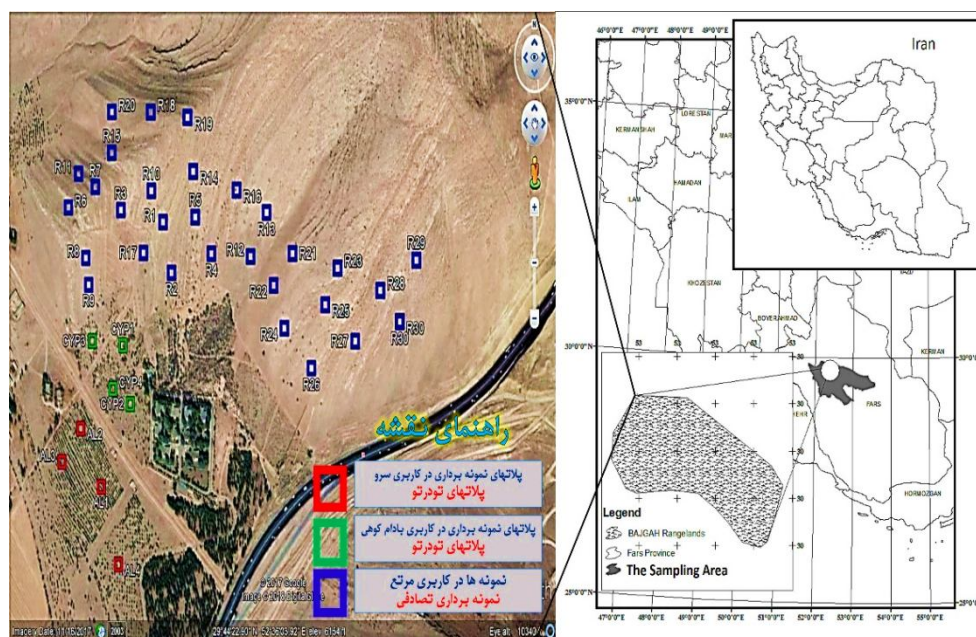
معرفی منطقه مورد مطالعه: منطقه مورد مطالعه در ۱۵ کیلومتری شمال شهر شیراز واقع در شمال‌غربی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، در دشت باجگاه و مختصات طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۳۲ دقیقه شرقی و عرض ۲۹ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی قرار دارد (شکل ۱). ارتفاع دشت باجگاه در محل احداث دانشکده کشاورزی ۱۸۱۰ متر نسبت به سطح آزاد دریا است. بر مبنای آمار ۴۳ ساله از ۱۳۵۱ تا ۱۳۹۳ (۱۹۷۲ تا ۲۰۱۴ میلادی) ایستگاه هواشناسی دانشکده کشاورزی معدل بارندگی سالیانه ۳۸۸/۴ میلی‌متر و معدل حرارت سالیانه ۱۳/۴ درجه سانتی‌گراد و نرخ تبخیر از طشت تبخیر ۶۴۳ میلی‌متر است (جدول ۱). منطقه مطالعاتی دارای ۵ نوع پوشش گیاهی می‌باشد که به تیمارهای مرتع، درختان سرو، درختان بادام،

دلیل کشورهای جهان در پیمانی موسوم به پروتوکل کیوتو در سال ۱۹۹۷ موظف به کاهش گازهای گلخانه‌ای (۲۶) از طریق مدیریت جنگل، مدیریت اراضی زراعی، مدیریت چرا و احیای مجدد پوشش گیاهی جهت عملیاتی نمودن ترسیب کربن در خاک شدند (۴۴). با این‌که اکثر مطالعات، تغییر اقلیم را دلیل کاهش ذخیره کربن خاک بیان کرده‌اند؛ اما برخی از پژوهش‌ها کاهش تجزیه کربن خاک و در نتیجه افزایش کربن آلی خاک تحت‌تأثیر تغییر اقلیم را گزارش کرده‌اند (۱، ۹ و ۲۱). شکبیا (۲۰۰۳)، به‌منظور بازسازی کردن اثرات بالقوه گرمای جهان بر روی کربن آلی خاک نشان داد که سطوح مواد آلی در خاک‌های دنیا در نتیجه تغییر اقلیم و افزایش دما، کم خواهد شد. وی همچنین بیان کرد که ذخیره کربن آلی خاک در مناطق مختلف آب و هوایی زمین، واکنش متفاوتی به گرمایش جهانی از خود بروز می‌دهند (۴۲). تورنلی و همکاران (۲۰۰۱)، در بررسی‌های خود نشان دادند که ذخیره کربن خاک در دماهای بالاتر افزایش می‌یابد (۴۶). از آن‌جایی‌که اثرات تغییر اقلیم بر کربن آلی خاک هنوز قطعی نیست، بنابراین ارزیابی ذخیره کربن آلی خاک و دینامیک آن در سناریوهای اقلیمی آینده در اکوسیستم‌های مختلف بسیار مهم و ضروری است.

جهت فائق آمدن بر محدودیت مطالعات میدانی، مدل‌های ماده آلی خاک ارائه‌دهنده بهترین درک علمی از دینامیک ماده آلی خاک هستند (۴۸). مدل کربن روتامستد (RothC) از پرکاربردترین مدل‌ها در مطالعات مربوط به ترسیب کربن خاک می‌باشد که در ابتدا به‌منظور بررسی گردش کربن آلی خاک در روتامستد انگلستان و به کمک آزمایش‌های طولانی‌مدت توسعه یافت (۱۲) و در مطالعات فراوانی برای بررسی اثر تغییر اقلیم بر ذخیره کربن خاک به‌کار گرفته شده است.

۱۳۶۴ (۱۹۸۵ میلادی) و ۱۳۷۹ (۲۰۰۰ میلادی) بدون هیچ‌گونه اقدامات مدیریتی مانند کوددهی کاشت شدند. بعد از گذشت ۳۰ سال منظره گراس‌های یک‌ساله بومی به‌تدریج با منظره واحدهای غالب با درختان بادام و سرو جایگزین شده است.

مراتع زیر آشکوب سرو و مراتع زیر آشکوب بادام طبقه‌بندی شده و این تیمارها در داخل کاربری‌های مرتع، بادام و سرو قرار دارند (شکل ۱). این ۵ تیمار پوشش گیاهی به‌وسیله نوع خاک یکسان و گراس‌های یکساله به‌عنوان پوشش گیاهی بومی مشخص شده‌اند. درختان بادام و درختان سرو به‌ترتیب در سال‌های



شکل ۱- موقعیت قرارگیری منطقه باجگاه (تصویر راست) و تصویر هوایی سه کاربری مرتع، بادام کوهی و سرو (تصویر چپ) در منطقه باجگاه شهرستان شیراز.

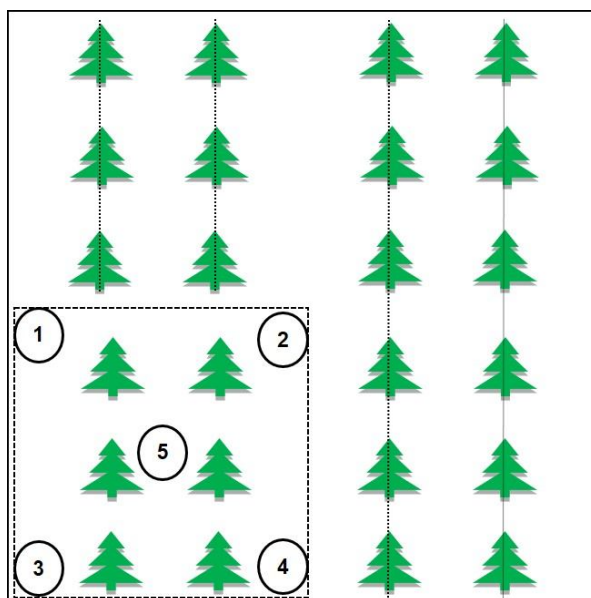
Figure 1. Location of the Bajgah region (right image) and aerial image of three land uses of rangelands, almond and cypress (left image) in the Bajgah region of Shiraz.

چهار موقعیت مختلف در این دو کاربری مستقر شدند، به‌نحوی که با توجه به شیب منطقه کل کاربری را پوشش دهد (۳۳). همچنین نمونه‌برداری از خاک تیمار مرتع (پوشش بومی منطقه) نیز به روش تصادفی صورت گرفت. به‌طورکلی از خاک تحت پنج تیمار پوشش گیاهی شامل درختان بادام کوهی، درختان سرو، مراتع زیر آشکوب بادام کوهی، مراتع زیر آشکوب سرو و مراتع نمونه‌برداری در عمق ۲۰ سانتی‌متری انجام گرفت. نمونه‌برداری خاک دوبار در شهریور ۱۳۹۳ (سپتامبر ۲۰۱۴ - فصل خشک) و در

روش نمونه‌برداری: در این مطالعه برای نمونه‌برداری خاک از عرصه‌های درختی (سرو و بادام کوهی) از روش پلات‌های تودرتو استفاده شد. هر پلات تودرتو شامل یک پلات ۱۰ × ۱۰ متر، و یک پلات ۵ × ۵ متر بود. پلات ۱۰ × ۱۰ متر، برای نمونه‌برداری از خاک پای درختان و پلات ۵ × ۵ متر (شکل ۲) برای نمونه‌برداری از خاک مراتع زیر آشکوب درختان استفاده شد (۲۳ و ۳۴). شکل ۲ یک نمونه از نحوه نمونه‌برداری در کاربری بادام و سرو را نشان می‌دهد. در دو کاربری سرو و بادام ۸ پلات مربعی تودرتو در

و در ختان سرو نمونه برداری شد. به این روش ۲۱۰ نمونه خاک به دست آمد. به منظور تعیین وزن مخصوص ظاهری خاک دو نمونه سیلندر در کنار گودال خاک (به طور کلی ۴۲۰ نمونه) برداشته شد.

دی ماه ۱۳۹۳ (دسامبر ۲۰۱۴ - فصل بارانی) انجام شد. بعد از حذف لاشبرگ‌ها و از عمق (۰-۲۰ سانتی متری) سطح خاک تعداد ۶۰، ۴۰، ۳۴ و ۳۶ نمونه خاک به ترتیب از تیمارهای مرتع، مراتع زیر اشکوب بادام، مراتع زیر اشکوب سرو، درختان بادام



شکل ۲- الگوی نمونه برداری خاک در ۲ کاربری سرو و بادام کوهی، پلات ۱۰*۱۰ و پلات ۵*۵ به ترتیب برای نمونه برداری از خاک پای درختان و خاک زیر اشکوب درختان استفاده گردید.

Figure. 2. Pattern of soil sampling under (10*10 Plots) and outside (5*5 plots) the canopy of trees in almond and cypress land uses.

هیدرومتری (۷) و وزن مخصوص ظاهری خاک به روش سیلندر (۶) اندازه گیری شدند. در نهایت ذخیره کربن آلی خاک در عمق ۰-۲۰ سانتی متری با استفاده از رابطه ۱ (۱۶) محاسبه شد:

اندازه گیری های آزمایشگاهی: بعد از خشک شدن نمونه های خاک در مجاورت هوا و حذف مواد گیاهی از آنها، نمونه های خاک با الک ۲ میلی متری برای آزمایش های بعدی الک شدند. کربن آلی خاک به روش والکی و بلاک (۴۹)، بافت خاک به روش

$$SOC\ Stock = \frac{1}{10} [C\ concentration\ (kg\ Mg^{-1}) \times depth\ (cm) \times B.d\ (g\ cm^{-3})] \quad (1)$$

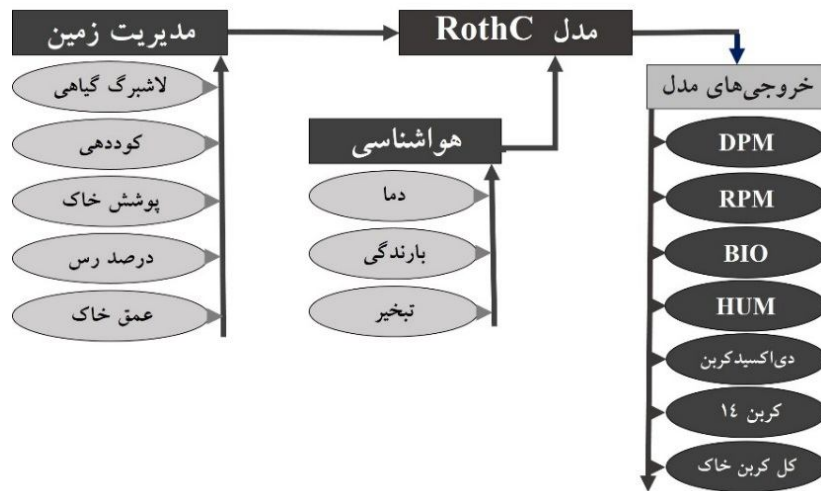
جزء فعال و یک جزء غیرفعال تقسیم بندی می کند. اجزای فعال ماده آلی خاک شامل مواد گیاهی تجزیه پذیر^۱، مواد گیاهی مقاوم^۲، بیومس میکروبی^۳ و

توصیف مدل کربن روتامستد: مدل روتامستد یک مدل ساده و مناسب برای شبیه سازی دینامیک طولانی مدت کربن آلی خاک و انتشار CO₂ از خاک به اتمسفر می باشد زیرا که به تعداد داده های محدودی (۱۱) نیاز دارد. این مدل، کربن آلی خاک را به چهار

- 1- Decomposable Plant Material=DPM
- 2- Resistant Plant Material=RPM
- 3- Microbial Biomass

ارزش‌دهی اولیه و واسنجی مدل: ارزش‌دهی اولیه مدل شامل وارد کردن اطلاعات مورد نیاز خاک، پوشش گیاهی و اقلیم منطقه به مدل است. داده‌های میانگین ماهیانه بارش، میانگین ماهیانه دما و میانگین ماهیانه تبخیر از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز به دست آمد. پارامترهای ویژه سایت، شامل داده‌های خاک و پوشش گیاهی با استفاده از اندازه‌گیری‌های صحرائی و آزمایشگاهی تعیین شدند (جدول‌های ۱ و ۲). فاکتور کیفیت بقایای گیاهی (نسبت مواد گیاهی تجزیه‌پذیر به مواد گیاهی مقاوم) برای تیمار مرتع، مراتع زیر اشکوب سرو، مراتع زیر اشکوب بادام، درختان بادام و درختان سرو به ترتیب ۰/۶۷ (جدول ۱)، ۰/۶۷، ۰/۶۷، ۰/۲۵ (۱۲) و ۰/۳۷ (۴۳) انتخاب شدند (جدول ۲).

مواد آلی هوموسی شده^۱ می‌باشند. در این مدل جزء غیرفعال، نسبتی از مواد آلی است که از نظر بیولوژیکی فعال نبوده و سن رادیوکربنی^۲ آن بیش از ۵۰/۰۰۰ سال می‌باشد و بنابراین در چرخه کربن شرکت ندارد (۱۲). مدل روتامستد، لاشبرگ گیاهی ورودی به خاک را بر مبنای نسبت مواد گیاهی تجزیه‌پذیر به مواد گیاهی مقاوم^۳ (کیفیت لاشبرگ) به داخل مخزن‌های RPM و DPM تقسیم‌بندی می‌کند و سپس مواد گیاهی به شکل CO₂، بیومس میکروبی و مواد آلی هوموسی شده تجزیه می‌شوند. در مطالعه حاضر مدل روتامستد نسخه 26.3 برای شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم بر دینامیک ذخیره کربن آلی خاک (۱۱) استفاده شد. داده‌های ورودی به مدل روتامستد درون دو فایل اصلی (هواشناسی و مدیریت) وارد می‌گردند که هریک حاوی مجموعه‌ای از متغیرها (شکل ۳) هستند.



شکل ۳- محیط مدل روتامستد.

Figure 3. The RothC model environment.

- 1- Mummified Organic Matter
- 2- Radiocarbon age
- 3- DPM/RPM
- 4- Site-Specific

جدول ۱- پارامترهای سایت؛ مشخصات خاک و پوشش گیاهی در پوشش بومی (مرتع) منطقه باجگاه.

Table 1. Site parameters; soil and vegetation characteristics in native vegetation (grassland) of Bajgah region.

پارامترهای سایت Site parameters		خصوصیات خاک Soil characteristics	مشخصات پوشش گیاهی Vegetation characteristics
پارامتر Parameter	ارزش Value	پارامتر Parameter	ارزش Value
موقعیت Location	29° 36' N, 52° 32' E	بافت خاک (رس، سیلت، شن) Texture (sand, silt, clay)*	12.74%; 53.38%; 33.88%*
کل بارش (میلی متر) Total precipitation (mm)	388.44	وزن مخصوص ظاهری* (gr/cm ³) Bulk density (gr/cm ³)*	1.265
میانگین درجه حرارت Mean temperature (°C)	13.45	کل کربن آلی اولیه خاک (تن بر هکتار) Initial total SOC (Ton/ha)*	36.49
کل تبخیر (میلی متر) Total open pan evaporation (mm)	643	ماده آلی پایدار (تن بر هکتار) IOM (Ton/ha)*	2.9479
		عمق خاک (سانتی متر) Soil depth (cm)	20
		پهش pH	8
			نسبت مواد گیاهی تجزیه پذیر به مواد گیاهی مقاوم به تجزیه DPM/RPM*
			0.67
			کربن ورودی به خاک ^a (تن کربن بر هکتار)
			2.921
			نوع گراس Type of grass
			C ₃

متغیرهای مشخص شده با * ورودی‌های ضروری مدل روتامستد هستند.

^a کربن ورودی به خاک با استفاده از روش Inverse در مدل RothC بر مبنای دانستن میزان کل کربن آلی خاک در یک منطقه با خصوصیات خاص اقلیمی برای هر پوشش گیاهی محاسبه می‌شود.

شده توسط فالون و همکاران (۱۹۹۸) بر مبنای کل کربن آلی^۱ خاک محاسبه می‌گردد (۱۸)؛ در تیمار مراتع در شهریور ۱۳۹۳ (سپتامبر ۲۰۱۴) اجرا شد (جدول ۱).

$$IOM = 0.049 TOC^{1.139} \quad (2)$$

خط مبنای^۱ مدل با تیمار مرتع به‌عنوان پوشش گیاهی بومی منطقه استقرار یافت، به این معنا که میزان کربن خاک در مراتع باجگاه به‌عنوان میزان کربن اصلی و بومی منطقه در نظر گرفته شد. مدل بر مبنای وضعیت دانستن مقدار کل کربن آلی اولیه خاک^۲، مقدار رس، شرایط اقلیمی، پوشش سطحی خاک و همچنین مقدار ماده آلی پایدار^۳ برای عمق ۲۰ سانتی متری خاک که با استفاده از رابطه ۲ تعریف

- 1- Baseline
2- Initial total SOC
3- Inert Organic Matter (IOM)

4- Total Organic Carbon (TOC)

سناریوهای تغییر اقلیم: در مطالعه حاضر مدل روتامستد بر اساس دو سناریوی اقلیمی اجرا گردید. سناریوی اول شامل ذخیره کربن آلی خاک در صورت ادامه روند شرایط اقلیمی درازمدت (عدم وقوع تغییر اقلیم که با علامت P^+ نامگذاری شد) که در واقع شامل میانگین ماهیانه بارش و دمای مشاهده شده در ایستگاه هواشناسی دانشکده کشاورزی شیراز در طی دوره آماری ۴۳ ساله از ۱۳۵۱ تا ۱۳۹۳ (۱۹۷۲ تا ۲۰۱۴ میلادی) بوده و سناریوی دوم شامل ذخیره کربن آلی خاک در شرایط وقوع تغییر اقلیم (با علامت CCH^+ نامگذاری شد) بود. سناریو تغییر اقلیم بر مبنای مطالعه کوچکی و همکاران (۱۳۸۶) (۲۷) پایه‌گذاری شد که پیش‌بینی کرده بودند در دوره ۲۰۱۴ تا ۲۰۵۰ تحت تأثیر تغییر اقلیم در منطقه باجگاه بارش سالیانه به میزان ۵/۶۴ درصد و متوسط درجه حرارت هوا به میزان ۱۸/۸۳ درصد از ارزش‌های میانگین بلندمدت منطقه به ترتیب کاهش و افزایش خواهند داشت. سرانجام، دینامیک ذخیره کربن آلی خاک تحت یک سناریو منا (P) و یک سناریو تغییر اقلیم (CCH) در تیمارهای پوشش‌های گیاهی در منطقه باجگاه شبیه‌سازی شدند.

نتایج و بحث

اثر تبدیل پوشش گیاهی بومی به سایر پوشش‌های منطقه باجگاه در تغییر سطوح ذخیره کربن آلی خاک: جدول ۲ ذخیره کربن آلی خاک اندازه‌گیری شده برای همه تیمارهای پوشش‌های گیاهی را در شهریور ۱۳۹۳ (سپتامبر ۲۰۱۴) نشان می‌دهد. تیمار مرتع که به‌عنوان پوشش بومی منطقه در نظر گرفته شده بود، فرض شد که در حالت تعادل است. حالت تعادل به این معنی است که کربن ورودی به خاک از

واستجی^۱ مدل به‌وسیله اجرای مدل برای شرایط آب‌وهوایی و خاکی در تیمار مرتع برای ۱۰ هزار سال در حالت تعادل^۲ و با نقطه پایانی در شهریور ۱۳۹۳ (سپتامبر ۲۰۱۴) انجام شد. مدل به‌طور مکرر اجرا شد و خروجی‌های مدل در هر اجرا بازدید شده و کربن ورودی گیاهی مکرر تصحیح شد تا مقدار ذخیره کربن آلی خاک اندازه‌گیری‌شده با مقدار ذخیره کربن آلی خاک شبیه‌سازی‌شده در تیمار مرتع در شهریور ۱۳۹۳ (سپتامبر ۲۰۱۴) برابر گردد (۲۰، ۲۱ و ۳۲). در تیمار مرتع میزان ۲/۹۲۱ تن کربن در هکتار به‌عنوان کربن ورودی به خاک از طریق برگشت لاشبرگ به خاک نیاز بود تا ذخیره کربن آلی خاک به ۳۶/۴۹ تن کربن در هکتار در عمق ۲۰ سانتی‌متری در شهریور ۱۳۹۳ (سپتامبر ۲۰۱۴) برسد (جدول ۱). با حفظ شرایط تعادل در این روش برای پوشش گیاهی بومی (تیمار مرتع) سایر فایل‌ها برای شبیه‌سازی تغییرات اثرات دیگر تیمارهای گیاهی ایجاد شد. با حفظ شرایط تعادل تحت پوشش مرتعی بومی تا سال ۱۳۶۴ (۱۹۸۵ میلادی)، درختان بادام در سال ۱۳۶۴ (۱۹۸۵ میلادی) کشت شدند و فرض شد تیمار درختان بادام و مراتع زیر اشکوب بادام به‌ترتیب دارای یک کربن ورودی به خاک به‌میزان ۰/۳۱ و ۳/۹۴۱ تن کربن در هکتار می‌باشند (جدول ۲). همچنین در بخش دیگری در منطقه باجگاه با حفظ شرایط تعادل تحت پوشش مرتعی طبیعی تا سال ۱۳۷۹ (۲۰۰۰ میلادی)، درختان سرو در سال ۱۳۷۹ (۲۰۰۰ میلادی) کشت شدند و فرض شد تیمار درختان سرو و مراتع زیر اشکوب سرو به‌ترتیب دارای یک کربن ورودی به خاک به‌میزان ۰/۳۷۷۴ و ۴/۶۱۱ تن کربن در هکتار می‌باشند (جدول ۲).

3- Present condition

4- Climate change condition

1- Calibration

2- Equilibrium state

۳۶/۴۹ تن در هکتار به ترتیب به ۴۳/۴۳ و ۵۰/۲۹ تن در هکتار افزایش یافت. همچنین با تبدیل پوشش گیاهی بومی به درختان سرو و مراتع زیر اشکوب سرو در سال ۱۳۷۹ (۲۰۰۰ میلادی) سطوح ذخیره کربن آلی خاک از ۳۶/۴۹ تن در هکتار به ترتیب ۵۲/۰۹ و ۵۷/۶۳ تن در هکتار افزایش یافت.

طریق لاشبرگ‌های گیاهی معادل کربن خروجی به فرم CO₂ از خاک است (۴۷). ذخیره کربن آلی خاک در حالت تعادل در تیمار مرتع ۳۶/۴۹ تن در هکتار بود. با جایگزینی پوشش مرتعی طبیعی توسط درختان بادام کوهی و مراتع زیر اشکوب بادام کوهی در سال ۱۳۶۴ (۱۹۸۵ میلادی) ذخیره کربن آلی خاک از

جدول ۲- داده‌های خاک و پوشش گیاهی در تیمارهای منطقه باجگاه.

Table 2. Data of soil and vegetation cover in the treatments of Bajgah region.

تیمار Treatment	وزن مخصوص ظاهری Bulk density (gr/cm ³)	شن (%) Sand (%)	سیلت (%) Silt (%)	رس (%) Clay (%)	EC (ds/cm)	کل کربن آلی اولیه خاک (تن بر هکتار) Initial total SOC (Ton/ha)*	DPM/ RPM	کربن ورودی به خاک (تن کربن بر هکتار) Soil carbon inputs (Ton C/ha)
مرتع Rangeland	1.265	12.74	53.38	33.88	0.906	36.49 (0.0) ^a	0.67	2.921
مراتع زیر اشکوب سرو Rangelands of cypress under-story	1.262	15.21	46.47	38.26	0.619	57.63 (+57.93)	0.67	4.611
مراتع زیر اشکوب بادام کوهی Rangelands of almond under-story	1.252	9.26	52.8	37.94	0.686	50.29 (+37.81)	0.67	3.941
درختان بادام کوهی Almond trees	1.265	16.88	43.65	39.47	1.333	43.43 (+19.01)	0.25	0.31
درختان سرو Cypress trees	1.252	14.39	44.63	40.98	0.856	52.09 (+42.75)	0.37	0.3774

^a درصد تغییرات در مقایسه با پوشش گیاهی بومی (مرتع).

^a Percent of deviation in comparison with native vegetation (rangeland).

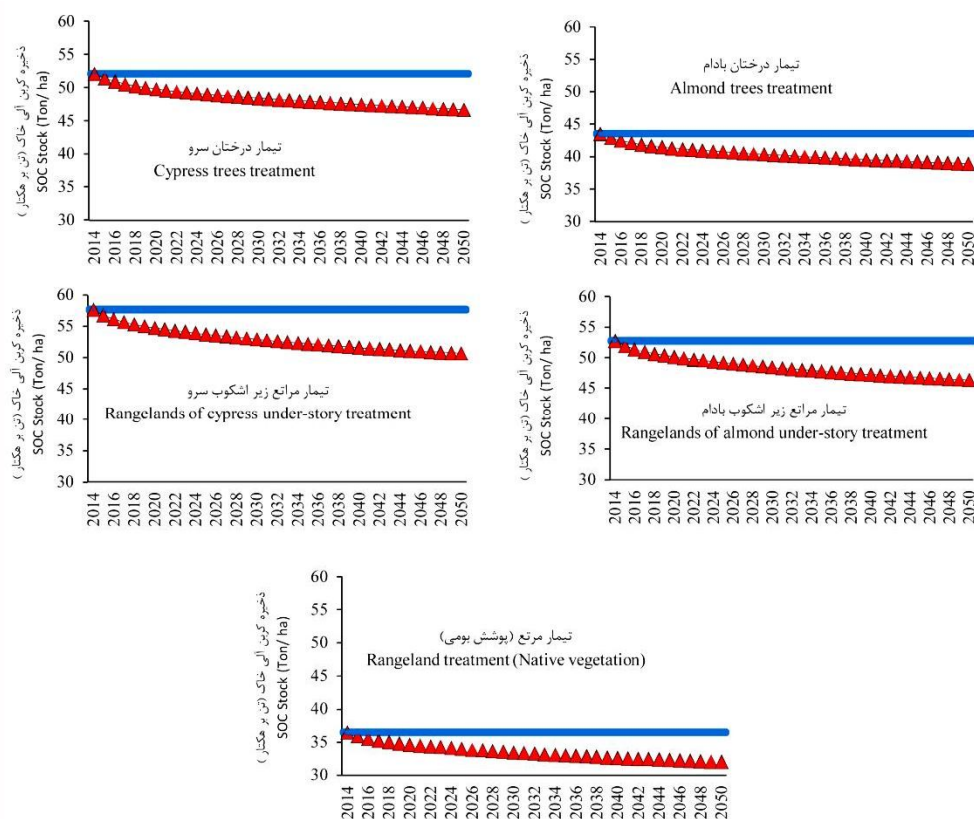
به میزان ۳۷/۸۱٪ در مراتع زیر اشکوب بادام کوهی بعد از گذشت ۳۰ سال (۲۰۱۴-۱۹۸۵) و ۵۷/۹۳٪ در مراتع زیر اشکوب سرو بعد از گذشت ۱۵ سال (۲۰۱۴-۲۰۰۰) افزایش یافته است (جدول ۲). همچنین میزان کربن آلی خاک در خاک پای درختان بادام کوهی و سرو به ترتیب به میزان ۱۹/۰۱٪ و ۴۲/۷۵٪ در زمان مشابه افزایش پیدا کرده بودند (جدول ۲).

به طور کلی در منطقه مورد مطالعه اثرات تغییر پوشش گیاهی بر ذخیره کربن آلی خاک در همه تیمارها نسبت به پوشش گیاهی بومی منطقه (تیمار مرتع) افزایشی بود (جدول ۲). دیناکاران و کریشانایا (۲۰۰۸)، نشان دادند که نوع پوشش گیاهی اثر مهمی بر افزایش کربن آلی خاک دارد (۱۴). اما این افزایش پس از استقرار درختان سرو بیش تر از استقرار درختان بادام کوهی بود، به طوری که ذخیره کربن آلی خاک

اثر سناریوهای تغییر اقلیم بر تغییرات سطوح ذخیره کربن آلی خاک در تیمارهای مختلف: نتایج خروجی مدل نشان داد که در طی ۳۶ سال (۲۰۱۴ تا ۲۰۵۰) میزان ذخیره کربن آلی خاک در شرایط بدون تغییر اقلیم در تیمارهای مرتع، مراتع زیر اشکوب درخت بادام، مراتع زیر اشکوب درخت سرو، درختان سرو و درختان بادام نسبت به سال ۲۰۱۴ به ترتیب ۰/۰۲۷، ۰/۰۲۲، -۰/۰۰۱، و -۰/۰۰۶ درصد تغییر پیدا خواهد کرد (جدول ۳). در شرایط بدون تغییر اقلیم، تغییرات میزان ترسیب کربن آلی خاک در تیمارهای مختلف ناچیز می‌باشد و تقریباً می‌توان گفت در حالت تعادل بوده‌اند (شکل ۴).

با شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم بر دینامیک ذخیره کربن آلی خاک در تیمارهای مختلف، نتایج خروجی مدل نشان داد که در طی ۳۶ سال (۲۰۱۴ تا ۲۰۵۰) میزان ذخیره کربن آلی خاک در تیمارهای مرتع، مراتع زیر اشکوب درخت بادام، مراتع زیر اشکوب درخت سرو، درختان سرو و درختان بادام نسبت به سال ۲۰۱۴ به ترتیب ۱۲/۱۹، ۱۲/۱۴، ۱۲/۱۱، ۱۰/۳۷ و ۱۰/۴۹ درصد کاهش خواهد یافت (جدول ۳). در شرایط تغییر اقلیم، با افزایش دما و کاهش میزان بارندگی، ذخیره کربن آلی خاک در تیمارهای مختلف روند نزولی دارد و تغییر اقلیم موجب کاهش ذخیره کربن آلی خاک در منطقه باجگاه خواهد شد (شکل ۴). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که ذخیره کربن آلی خاک در هر کدام از تیمارها، قبل و بعد از تغییر اقلیم در سطح ۵ درصد باهم تفاوت معنی‌دار دارند (جدول ۳).

نتایج نشان دادند که افزایش ذخیره کربن خاک در تیمارهای زیر اشکوب بیش‌تر از تیمارهای درختی بود (۳). ژائو و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که ترسیب کربن خاک در مراتع زیر اشکوب جنگل بیش‌تر از توده جنگل‌کاری شده است (۵۶). کورت و تورنوک (۱۹۹۶)، نیز در بررسی‌های خود نشان دادند که کاشت درختان در اراضی تحت پوشش گیاهان علوفه‌ای علاوه بر این‌که باعث افزایش محصول و کنترل فرسایش می‌گردد، تأثیرات زیادی نیز بر روی ترسیب کربن خاک دارد (۲۸). به‌طورکلی نتایج نشان دادند که اثر استقرار درختان سرو بر افزایش ذخیره کربن آلی خاک در طی ۱۵ سال خیلی بیش‌تر از استقرار درختان بادام کوهی بعد از ۳۰ سال است (جدول ۲). برخی از پژوهش‌های پیشین نتیجه‌گیری مشابهی کرده‌اند به‌طوری‌که درختان سوزنی‌برگ مانند درختان سرو منجر به افزایش ذخیره کربن آلی خاک می‌شوند (۲۴ و ۴۰) که در تطابق با نتایج این پژوهش است. گوسینسکی و همکاران (۱۹۹۵) بیان کردند که در بین اکوسیستم‌های مختلف زمین، سوزنی‌برگان مهم‌ترین ذخیره‌کننده‌های کربن هستند و سهم آن‌ها در کاهش تغییرات اقلیمی به‌دلیل توانایی آن‌ها برای جذب دی‌اکسیدکربن اتمسفر از طریق فتوسنتز و توانایی بالای ذخیره کربن در اجزاء زنده و غیر زنده قابل‌توجه می‌باشد (۲۲). لاکلاو (۲۰۰۳) کاشت درختان سریع‌الرشد و سوزنی‌برگان را به‌عنوان راهکاری مؤثر در افزایش ترسیب کربن خاک مطرح کرد (۲۹). گونه‌های سریع‌الرشد در مراحل ابتدایی زندگی خود به‌علت رشد سریع‌شان مقدار بیش‌تری بیوماس و در نتیجه کربن بیش‌تری ذخیره می‌کنند.



شکل ۴- دینامیک ذخیره کربن آلی خاک در دو سناریو تغییر اقلیم؛ عدم وقوع تغییر اقلیم (—) و وقوع تغییر اقلیم (Δ) در تیمارهای پوشش‌های گیاهی مختلف منطقه باجگاه.

Figure 4. Dynamics of organic carbon stock in two climate change scenarios; non-occurrence of climate change (—) and occurrence of climate change (Δ) in the different vegetation treatments in the Bajgah region.

جدول ۳- ذخیره کربن آلی خاک و درصد تغییرات آن نسبت به سال ۲۰۱۴ در تیمارهای مختلف در دو سناریوی تغییر اقلیم در منطقه باجگاه.

Table 3. SOC Stock and its percentage change compared to 2014 in the different treatments under two scenarios of climate change in Bajgah region.

سناریو تغییر اقلیم Climate Change Scenario		سناریو بدون تغییر اقلیم No Climate Change Scenario		ذخیره کربن آلی خاک در ۲۰۱۴ (تن بر هکتار) SOC Stock in 2014 (Ton/ha)	تیمار Treatment
تغییرات نسبت به ۲۰۱۴ (%) Change compared to 2014 (%)	ذخیره کربن آلی خاک در ۲۰۵۰ (تن بر هکتار) SOC Stock in 2050 (Ton/ha)	تغییرات نسبت به ۲۰۱۴ (%) Change compared to 2014 (%)	ذخیره کربن آلی خاک در ۲۰۵۰ SOC Stock in 2050		
-12.19	32.03 ^b	0.001	36.48 ^e	36.48	مرتع Rangeland
-12.14	42.37 ^d	0.027	52.80 ^b	52.79	مراتع زیر اشکوب درخت بادام Rangelands of almond under-story
-12.11	50.66 ^b	-0.022	57.63 ^a	57.64	مراتع زیر اشکوب درخت سرو Rangelands of cypress under-story
-10.37	46.68 ^d	-0.001	52.09 ^c	52.09	درختان سرو Cypress trees
-10.49	38.92 ^f	0.0006	43.49 ^c	43.49	درختان بادام Almond trees

تغییر اقلیم (از ۲۰۲۱ تا ۲۰۶۰) در طی سناریوهای مختلف تغییر اقلیم و در سایت‌های مختلف ۲ تا ۶ درصد کاهش خواهد یافت و همچنین بیان نمودند که افزایش دما در آینده تجزیه کربن آلی خاک و به دنبال آن هدرروی کربن آلی خاک را افزایش می‌دهد (۵۲). میزان کاهش ذخیره کربن آلی خاک در تیمارهای درختی در منطقه باجگاه نسبت به تیمارهای مرتعی کم‌تر بود (جدول ۳) که این موضوع احتمالاً به دلیل پایین بودن کیفیت لاشبرگ‌های برگشت داده شده به خاک در تیمارهای درختی باشد به طوری که نسبت مواد گیاهی تجزیه‌پذیر به مواد گیاهی مقاوم (کیفیت لاشبرگ) در تیمارهای درختی منطقه باجگاه نسبت به تیمارهای مرتعی پایین‌تر بوده (جدول ۲) و مواد گیاهی دیرتر تجزیه می‌شوند. فونتاین و همکاران (۲۰۰۷) بیان کردند که در خاک‌هایی که مواد گیاهی ورودی به خاک کیفیت بالاتری دارند، سرعت تجزیه کربن آلی خاک و به دنبال آن، میزان انتشار CO₂ افزایش خواهد یافت (۱۹).

فالون و همکاران (۲۰۰۷)، گزارش کردند که در شرایط تغییر اقلیم، بارندگی تعیین‌کننده تغییرات کربن خاک می‌باشد؛ با این وجود آن‌ها در مقیاس جهانی تغییرات دمای خاک را عامل مؤثرتری بر ذخیره کربن خاک دانستند (۱۷). دما اولین عامل مؤثر در پیشرفت فرآیندهای میکروبی خاک شناخته شده و حتی اثر چشم‌گیری در تغییرات پوشش گیاهی اعمال می‌کند، به طوری که از نظر تئوری هر درجه افزایش در متوسط دمای سالیانه، معادل تغییر ۲۰۰ کیلومتری نواحی رویشگاهی به سمت قطب می‌گردد (۳۱ و ۳۸). بنابراین به نظر می‌رسد که تغییر رژیم دمایی اکوسیستم در شرایط تغییر اقلیم با تأثیر بر میزان و سرعت واکنش‌های تجزیه‌ای خاک و نیز ترکیب و تنوع گیاهی محیط، اثرات چشم‌گیری بر بودجه کربنی اکوسیستم اعمال نماید. اما در پژوهش حاضر چون

به طور کلی نتایج نشان داد که تغییر اقلیم در منطقه باجگاه که با کاهش بارندگی و افزایش درجه حرارت همراه خواهد بود موجب کاهش ترسیب کربن خاک (ذخیره کربن آلی خاک) در همه تیمارها می‌گردد و این کاهش نیز در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیردسی و همکاران (۲۰۰۰) بیان کردند که تغییر اقلیم موجب کاهش ذخیره کربن خاک خواهد شد (۵). دما و بارش که مهم‌ترین عوامل اقلیمی مؤثر در تولیدات گیاهی هستند بر روی کیفیت و کمیت لاشبرگ (۱۵) و همچنین بر فعالیت میکروبی تجزیه بقایای گیاهی تأثیر می‌گذارند (۱۰). با افزایش دمای محیط در شرایط تغییر اقلیم، سرعت تجزیه مواد آلی خاک افزایش یافته و این موضوع باعث افزایش هدرروی کربن آلی خاک می‌گردد (۴) در نتیجه، میزان ترسیب کربن خاک در خاک‌های تحت تیمارهای مختلف منطقه باجگاه روندی کاهشی را نشان داده است (شکل ۴). اسمیت و همکاران (۲۰۰۷)، در مطالعه‌ای در روسیه و اوکراین ضمن به‌کارگیری مدل روتامستد گزارش کردند که در شرایط تغییر اقلیم به‌علت افزایش سرعت تجزیه ناشی از افزایش دما، میزان معدنی‌شدن ماده آلی افزایش و ذخیره کربنی خاک کاهش خواهد یافت (۴۵). وان و همکاران (۲۰۱۱)، نیز طی مطالعه‌ای در چین با استفاده از مدل روتامستد نشان دادند که کربن آلی خاک در طول دهه‌های آینده به دلیل تغییر اقلیم کاهش می‌یابد (۵۰). نتایج شبیه‌سازی نشان داد که تغییر اقلیم موجب کاهش ذخیره کربن آلی خاک در تیمارهای گیاهی منطقه باجگاه از ۱۰/۳۷ تا ۱۲/۱۹ درصد خواهد شد، هر چند که این کاهش در بین تیمارهای مختلف معنی‌دار نبود و تقریباً میزان کاهش ذخیره کربن آلی خاک در همه تیمارها یکسان خواهد بود (جدول ۳). زو و همکاران (۲۰۱۱)، بیان کردند که کربن آلی خاک پیش‌بینی‌شده توسط مدل روتامستد در ۴۰ سال اولیه

سال بود. از این رو مدیریت مناسب کاشت درختان سوزنی‌برگ به‌ویژه درختان سرو در منطقه باجگاه که در مسیر جاده اصفهان- شیراز قرار دارد و روزانه ترافیک زیادی از وسایل نقلیه در این مسیر وجود دارد بی‌شک گام مثبتی در کاهش تراکم کربن اتمسفری در این منطقه و تلطیف هوا خواهد بود. از طرف دیگر با در نظر گرفتن برخی آثار مخرب سوزنی‌برگان و با توجه به این‌که بادام کوهی نیز سبب افزایش ذخیره کربن آلی خاک شده و محصولی اقتصادی و همچنین بومی منطقه می‌باشد، بادام کوهی نیز گزینه مناسبی برای کشت و توسعه در منطقه باجگاه است. نتایج شبیه‌سازی مدل روتامستد کاهش ترسیب کربن خاک (ذخیره کربن آلی خاک) در همه تیمارها منطقه باجگاه را در طی سناریو تغییر اقلیم نشان داد. توصیه می‌گردد در مطالعات آینده، مدل‌سازی اثر تغییر اقلیم بر منابع کربن خاک در چندین ناحیه اقلیمی کشور انجام گیرد تا بتوان به درک صحیحی از تأثیر فاکتورهای اقلیمی بر ذخیره کربن آلی خاک دست یافت.

میزان تغییرات ذخیره کربن آلی خاک تنها در یک منطقه بررسی شده و سناریوهای اقلیمی با استفاده از داده‌های هواشناسی یک ایستگاه هواشناسی استقرار یافته عملاً نمی‌توان ارتباط جداگانه بین گرادیان بارش و درجه حرارت را با میزان تغییرات ذخیره کربن آلی خاک بررسی کرد. پیشنهاد می‌گردد در مطالعات آینده در چندین ناحیه اقلیمی متفاوت کشور، اندازه‌گیری‌های ذخیره کربن آلی خاک صورت پذیرد تا بتوان به‌طور مشخص اثر دقیق هر کدام از پارامترهای اقلیمی را به‌طور جداگانه بررسی کرد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این مطالعه نشان داد که در منطقه باجگاه اثرات تغییر پوشش گیاهی بومی به سایر پوشش‌ها بر ذخیره کربن آلی خاک در همه تیمارها نسبت به پوشش گیاهی بومی منطقه (تیمار مرتع) افزایشی بوده است و همچنین به‌طورکلی اثر استقرار درختان سرو بر افزایش ذخیره کربن آلی خاک در طی ۱۵ سال خیلی بیش‌تر از استقرار درختان بادام کوهی بعد از ۳۰

منابع

1. Alvaro-Fuentes, J., Easter, M., and Paustian, K. 2012. Climate change effects on organic carbon storage in agriculture soils of northeastern Spain. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 155: 87-94.
2. Azad, B., and Afzali, S.F. 2018. Modelling the impacts of climate change on the soil CO₂ emissions in arid rangelands (Southern Iran). *Des. Ecosyst. Engin. J.* 7: 20. 71-87. (In Persian)
3. Baldock, J.A., Wheeler, I., McKenzie, N., and McBratney, A. 2012. Soils and climate change: potential impacts on carbon stocks and greenhouse gas emissions, and future research for Australian agriculture. *Crop Pasture Science*. 63: 269-283.
4. Barancikova, G., Halas, J., Guttekova, M., Makovnikova, J., Novakova, M., Skalsky, R., and Tarasovicova, Z. 2010. Application of RothC model to predict soil organic carbon stock on agricultural soils of Slovakia. *Soil and Water Research*. 5: 1-9.
5. Birdsey, R., Heath, I., and Williams, D. 2000. Estimation of carbon budget model of the united state forest sector. P 51-59, In: *Advances in terrestrial ecosystem carbon inventory, measurements and monitoring conference in Raleigh, North Carolina, USA*.
6. Blake, G.R., and Hartge, K.H. 1986. Bulk density. P 363-376, In: A. Klute (eds.), *Methods of soil analysis. Part I. physical and mineralogical methods*, Soil Science Society of America Publication, USA.

7. Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agron. J.* 56: 464-465.
8. Carvalho, G.L.D., Maria, C.I., and Equardo de sa, M. 2016. Trees modify the dynamics of soil CO₂ efflux in coffee agroforestry systems. *Agriculture and Forest Meteorology.* 224: 30-39.
9. Ciais, P., Wattenbach, M., Vuichard, N., Smith, P., Piao, S.L., Don, A., Luysaert, S., Janssens, I., Bondeau, A., and Dechow, R. 2010. The European greenhouse gas balance revisited. Part 2. Croplands. *Global Change Biology.* 16: 1409-1428.
10. Cole, C.V., Paustian, K., Elliott, E.T., Metherell, A.K., Ojima, D.S., and Parton, W.J. 1993. Analysis of agroecosystem carbon pools. P 357-371, In: J. Wisniewski and N. Sampson (eds.), *Terrestrial biospheric carbon fluxes quantification of sinks and sources of CO₂*, Springer, Dordrecht.
11. Coleman, K., and Jenkinson, D. 1996. RothC-26.3- A Model for the turnover of carbon in soil. P 237-246, In: Powlson, D.S., P. Smith and J.U. Smith (eds.), *Evaluation of soil organic matter models*, Springer, Berlin, Heidelberg.
12. Coleman, K., and Jenkinson, D.S. 2008. RothC-26.3: A model for the turnover of carbon in soil, Model description and windows users guide. Rothamsted Research Harpenden Herts. Accessed 06/26/2018. Retrieved from https://www.rothamsted.ac.uk/sites/default/files/RothC_guide_WIN.Pdf.
13. Davidson, E.A., and Janssens, I.A. 2006. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature.* 440: 165-173.
14. Dinakaran, J., and Krishnayya, N. 2008. Variations in type of vegetal cover and heterogeneity of soil organic carbon in affecting sink capacity of tropical soils. *Current Science.* 94: 1144-1150.
15. Duiker, S., and Lal, R. 1999. Crop residue and tillage effects on carbon sequestration in a Luvisol in central Ohio. *Soil and Tillage Research.* 52: 73-81.
16. Ellert, B.H., and Bettany, J.R. 1995. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. *Can. J. Soil Sci.* 75: 529-538.
17. Falloon, P., Jones, C.D., Cerri, C.E., Al-Adamat, R., Kamoni, P., Bhattacharyya, T., Easter, M., Paustian, K., Killian, K., Coleman, K., and Milne, E. 2007. Climate change and its impact on soil and vegetation carbon storage in Kenya, Jordan, India and Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 122: 114-124.
18. Falloon, P., Smith, P., Coleman, K., and Marshall, S. 1998. Estimating the size of the inert organic matter pool from total soil organic carbon content for use in the Rothamsted carbon model. *Soil Biology and Biochemistry.* 30: 1207-1211.
19. Fontaine, S., Barot, S., Barré, P., Bdioui, N., Mary, B., and Rumpel, C. 2007. Stability of organic carbon in deep soil layers controlled by fresh carbon supply. *Nature.* 450: 277-280.
20. Francaviglia, R., Coleman, K., Whitmore, A.P., Doro, L., Urracci, G., Rubino, M., and Ledda, L. 2012. Changes in soil organic carbon and climate change-Application of the RothC model in agro-silvo-pastoral Mediterranean systems. *Agricultural Systems.* 112: 48-54.
21. Gottschalk, P., Smith, J., Wattenbach, M., Bellarby, J., Stehfest, E., Arnel, N., and Smith, P. 2012. How will organic carbon stocks in mineral soils evolve under future climate? Global projections using RothC for a range of climate change scenarios. *Biogeosciences.* 9: 411-451.
22. Gucinski, H., Vance, E., and Reiners, W.A. 1995. Potential effects of global climate change. P 309-331, In: W.K. Smith and T.M. Hinckley (eds.), *Ecophysiology of coniferous forests*, Academic Press, New York, USA.
23. Hernandez, R., Koohafkan, P., and Antoine, J. 2004. Assessing carbon stocks and modeling winwin scenarios of carbon sequestration through land-use change. *FAO, Rome*, 166p.

24. Hopmans, P., and Elms, S.R. 2009. Changes in total carbon and nutrients in soil profiles and accumulation in biomass after a 30 year rotation of *Pinus radiata* on podzolized sands: Impacts of intensive harvesting on soil resources. *Forest Ecology and Management*. 258: 2183-2193.
25. Izaurralde, R., Williams, J.R., McGill, W.B., Rosenberg, N.J., and Jakas, M. 2006. Simulating soil C dynamics with EPIC: Model description and testing against long-term data. *Ecological Modelling*. 192: 362-384.
26. Kirschbaum, M., Schlamadinger, B., Cannell, M., Hamburg, S., Karjalainen, T., Kurz, W., Pringle, S., Schulze, E., and Singh, T. 2001. A generalised approach of accounting for biospheric carbon stock changes under the Kyoto protocol. *Environmental Science and Policy*. 4: 73-85.
27. Koochehi, A., Nassiri, M., and Kamali, A. Gh. 2007. Climate indices of Iran under climate change. *J. Iran. Field Crop Res.* 5: 133-143. (In Persian)
28. Kort, J., and Turnock, R. 1999. Carbon reservoir and biomass in Canadian prairie shelterbelts. *Agroforest. Syst. J.* 44: 175-186.
29. Laclau, P. 2003. Biomass and carbon sequestration of ponderosa pine plantations and native cypress forests in northwest Patagonia. *Forest Ecology and Management*. 180: 317-333.
30. Lal, R. 2003. Soil erosion and the global carbon budget. *Environment international*. 29: 437-450.
31. Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*. 123: 1-22.
32. Liu, D.L., Chan, K.Y., Conyers, M.K., Li, G., and Poile, G.J. 2011. Simulation of soil organic carbon dynamics under different pasture managements using the RothC carbon model. *Geoderma*. 165: 69-77.
33. Losi, C.J., Siccama, T.G., Juan, R.C., and Morales, E. 2003. Analysis of alternative methods for estimating carbon stock in young tropical plantations. *Forest Ecology and Management*. 184: 355-368.
34. Mac Dicken, K.G. 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Winrock international institute for agricultural development forest carbon monitoring program, Arlington, USA, 91p.
35. Munoz-Rojas, M., Abd-Elmabod, S.K., Zavala, L.M., De la Rosa, D., and Jordán, A. 2017. Climate change impacts on soil organic carbon stocks of Mediterranean agricultural areas: a case study in Northern Egypt. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 238: 142-152.
36. Munoz-Rojas, M., Doro, L., Ledda, L., and Francaviglia, R. 2015. Application of CarboSOIL model to predict the effects of climate change on soil organic carbon stocks in agro-silvo-pastoral Mediterranean management systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 202: 8-16.
37. Mchunu, C., and Chaplot, V. 2012. Land degradation impact on soil carbon losses through water erosion and CO₂ emissions. *Geoderma*. 178: 72-79.
38. Ozenda, P., and Borel, J.L. 1990. The possible responses of vegetation to a global climate change. P 221-249, In: M. Boer and R.S. Groot (eds.), *Landscape ecological impact of climate change*. IOS Press, Washington, USA.
39. Pellikka, P.K.E., Heikinheimo, V., Hietanen, J., Schäfer, E., Siljander, M., and Heiskanen, J. 2018. Impact of land cover change on aboveground carbon stocks in Afromontane landscape in Kenya. *Applied Geography*. 94: 178-189.
40. Qing-Biao, W.U., Xiao-Ke, W., and Zhi-Yung, O. 2009. Soil organic carbon and its fractions across vegetation types: Effects of soil mineral surface area and micro aggregates. *Pedosphere*. 19: 258-264.
41. Raich, J.W., and Tufekcioglu, A. 2000. Vegetation and soil respiration: correlations and controls. *Biogeochemistry*. 48: 71-90.
42. Shakiba, A. 2003. The potential effects of global warming on soil carbon pool. P 305-311, In: *International Symposium on Climate Change*, Beijing, China.

43. Shirato, Y., and Yokozawa, M. 2006. Acid hydrolysis to partition plant material into decomposable and resistant fractions for use in the Rothamsted carbon model. *Soil Biology and Biochemistry*. 38: 812-816.
44. Smith, P. 2004. Carbon sequestration in croplands: the potential in Europe and the global context. *Europ. J. Agron.* 20: 229-236.
45. Smith, P., Smith, J.U., Franko, U., Kuka, K., Romanenkov, V.A., Shevtsova, L.K., Wattenbach, M., Gottschalk, P., Sirotenko, O.D., Rukhovich, D.I., Koroleva, P.V., Romanenko, I.A., and Lisovoi, N.V. 2007. Changes in mineral soil organic carbon stocks in the croplands of European Russia and the Ukraine. 1990-2070; the comparison of three models and implications for climate mitigation. *Regional Environmental Change*. 7: 105-119.
46. Thornley, J., and Cannell, M. 2001. Soil carbon storage response to temperature: an hypothesis. *Annals of Botany*. 87: 591-598.
47. Tornquist, C.G., Mielniczuk, J., and Cerri, C.E.P. 2009. Modeling soil organic carbon dynamics in Oxisols of Ibirubá (Brazil) with the Century Model. *Soil and Tillage Research*. 105: 33-43.
48. Veen, J.V., and Paul, E. 1981. Organic carbon dynamics in grassland soils, background information and computer simulation. *Can. J. Soil Sci.* 61: 185-201.
49. Walkley, A., and Black, I.A. 1934. An examination of the Degtareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*. 37: 29-38.
50. Wan, Y., Lin, E., Xiong, W., Li, Y., and Guo, L. 2011. Modeling the impact of climate change on soil organic carbon stock in upland soils in the 21st century in China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 141: 23-31.
51. Willcock, S., Phillips, O.L., Platts, P.J., Swetnam, R.D., Balmford, A., and Burgess, N.D. 2016. Land cover change and carbon emissions over 100 years in an African biodiversity hotspot. *Global Change Biology*. 22: 8. 2787-2800.
52. Xu, X, Liu, W., and Kiely, G. 2011. Modeling the change in soil organic carbon of grassland in response to climate change: effects of measured versus modeled carbon pools for initializing the Rothamsted Carbon model. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 140: 372-381.
53. Yadav, V. 2008. Soil carbon dynamics in the BIG CREEK basin, southern ILLINOIS USA. Doctoral Thesis, Geography, University of IWOA, USA.
54. Yadav, V., and Malanson, G. 2008. Spatially explicit historical land use land cover and soil organic carbon transformations in Southern Illinois. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 123: 280-292.
55. Yen, T.M., and Lee, J.S. 2011. Comparing aboveground carbon sequestration between moso bamboo (*Phyllostachys heterocycla*) and China fir (*Cunninghamia lanceolata*) forests based on the allometric model. *Forest Ecology and Management*. 261: 995-1002.
56. Zhao, Q., Zeng, D.H., Lee, D.K., He, X.Y., Fan, Z.P., and Jin, Y.H. 2007. Effects of *Pinus sylvestris* var. Mongolia afforestation on soil phosphorus status of the Keerqin Sandy Lands in China. *J. Arid Environ.* 69: 568-582.



Modeling the effect of vegetation conversion and climate change on soil organic carbon stock dynamics in a complex ecosystem

B. Azad¹, *S.F. Afzali² and Gh.A. Ghanbarian²

¹M.Sc. of Desert Regions Management, Dept. of Natural Resources and Environment Engineering, Shiraz University, ²Assistant Prof., Dept. of Natural Resources and Environment Engineering, Shiraz University
Received: 07.21.2017; Accepted: 09.03.2018

Abstract

Background and Objectives: The conversion of natural vegetation to other vegetation covers and climate change has had a major impact on the decomposition of soil organic carbon and eventually the emission of carbon dioxide (CO₂) from the soil into the atmosphere. But so far in Iran, little researches have looked at the effect of the conversion of vegetation and climate change on the amount of soil organic carbon (SOC) stock as a key component in reducing the effects of climate change and global warming. To overcome the limitations of field studies, SOM models provide the best scientific understanding of the dynamics of SOM. RothC Carbon model is one of the most widely used models in soil carbon sequestration studies that has been used in many studies to study the effect of climate change on soil carbon stock. The purpose of present study, investigate the effect of converting native vegetation (rangeland) into four new vegetation (rangelands of cypress under-story, rangelands of almond under-story, cypress trees and almond trees), as well as the simulation of the effect of two climate scenarios (non-occurrence of climate change and the occurrence of climate change) on the dynamics of SOC stock in the five vegetation covers of the Shiraz Bajgah region for 36 years (2014-2050).

Materials and Methods: In this study, 210 soil samples were collected to determine the soil organic carbon and soil texture as well as 420 samples for determining the soil bulk density. After measuring the parameters, SOC stock at 0-20 cm depth was calculated for each vegetation cover treatment. Finally, the effect of vegetation conversion and two climate scenarios on the amount of SOC stock using the RothC model was investigated in the five vegetation covers of Shiraz Bajgah region.

Results: The results showed that the increase of SOC stock due to planting of cypress trees after 15 years was higher than the amount increase of SOC stock due to the planting of almond trees after 30 years in Bajgah region. The simulation results of the RothC model also indicated that in comparison with 2014, the SOC stock in the 2050 in the rangeland, rangelands of almond under-story, rangelands of cypress under-story, cypress trees and almond trees treatments will be decreased by 12.19%, 12.14%, 12.11%, 10.37% and 10.49%, respectively due to climate change; and the amount of SOC stock in each of the treatments before and after climate change at 5% level (P<0.05) had significant difference.

Keywords: Almond tree, Cypress tree, Global warming, Rangelands of Bajgah region, Rothamsted carbon model (RothC), Soil carbon modeling

* Corresponding Author; Email: afzalif@shirazu.ac.ir

