

شبیه‌سازی دینامیک کربن آلی خاک تحت تأثیر سناریوهای مختلف فرسایش آبی و مدیریت چرا در مراتع نیمه‌خشک باجگاه با استفاده از مدل Century

بیژن آزاد^{۱،*} و * سید فخرالدین افزالی^۲

^۱ دانشجوی دکتری گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشگاه تهران، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مدیریت مناطق بیابانی، بخش مهندسی منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه شیراز، آستادیار بخش مهندسی منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه شیراز
تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۰۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۱۱

چکیده

سابقه و هدف: جابجایی و تغییر مکان کربن ناشی از فرسایش آبی یک فاکتور مهم تأثیرگذار بر غلظت CO₂ اتمسفر بیان شده است. ارزیابی اثر فرسایش آبی بر ذخیره کربن آلی خاک در طولانی‌مدت بدون ابزار مدل‌سازی مشکل‌هست و با توجه به این‌که مراتع ایران مساحت بزرگی از کشور را دربرگرفته‌اند، مدل‌سازی اثر فرسایش آبی بر دینامیک کربن آلی خاک در مراتع می‌تواند راهکارهای مدیریتی شایسته‌ای در اختیار سازمان‌های مرتبط قرار دهد. بنابراین پژوهش حاضر با هدف (۱) بهبود کارایی مدل Century به‌عنوان پرکاربردترین مدل در مطالعات کربن خاک با استفاده از خروجی سه مدل فرسایش آبی WEPP، GLEAMS و ANSWERS و (۲) شبیه‌سازی دینامیک ذخیره کربن آلی خاک تحت تأثیر دو سناریو فرسایشی در مراتع نیمه‌خشک باجگاه (جنوب ایران) انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: پس از پارامتریابی و واسنجی مدل Century، میانگین درازمدت فرسایش آبی شبیه‌سازی شده توسط سه مدل فرسایشی WEPP، GLEAMS و ANSWERS به‌عنوان ورودی در مدل Century وارد گردیدند. در نهایت یک مدل فرسایش آبی که میزان فرسایش شبیه‌سازی شده توسط آن موجب بهبود نتایج اعتبارسنجی مدل Century شد، انتخاب گردید و سپس اثر دو سناریو وقوع فرسایش آبی و عدم وقوع فرسایش آبی بر تغییرات ذخیره کربن آلی خاک برای دو دوره مدیریت چرا (دوره I شامل مدیریت چرا متوسط دام (دوره II از سال ۱۳۴۳ تا ۱۳۵۷) و مدیریت بدون چرا (دوره III از سال ۱۳۵۸-۱۳۹۳) در منطقه مطالعه مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که استفاده از خروجی مدل GLEAMS باعث شده که مدل Century، ذخیره کربن آلی خاک را به‌طور دقیق‌تری پیش‌بینی کند و از خروجی این مدل فرسایشی برای شبیه‌سازی تغییرات ذخیره کربن آلی خاک تحت تأثیر فرسایش آبی در مدل Century استفاده شد. نتایج شبیه‌سازی‌های مدل Century نشان داد که در سناریو بدون فرسایش در مراتع نیمه‌خشک باجگاه طی دوره II با شدت متوسط چرا دام روند ذخیره کربن آلی خاک با شیب زیادی از ۳۴۹۶ گرم بر مترمربع در سال ۱۳۴۳ (۱۹۶۴) به ۳۲۶۰/۹۳ گرم بر مترمربع در سال ۱۳۵۷ (۱۹۷۹) کاهش یافته است و در دوره III با مدیریت بدون چرا دام ذخیره کربن آلی خاک با شیب ملایمی به ۳۳۵۶/۰۴ گرم

* مسئول مکاتبه: afzalif@shirazu.ac.ir

بر مترمربع در پایان سال ۱۳۹۳ (۲۰۱۴) رسیده است. در سناریو فرسایش آبی نیز طی دوره II ذخیره کربن آلی خاک با شیب زیادی از ۳۴۹۶ گرم بر مترمربع در سال ۱۳۴۳ (۱۹۶۴) به ۳۲۴۳/۹۰ گرم بر مترمربع در پایان سال ۱۳۵۷ کاهش یافته (۱۹۷۹) و در دوره III ذخیره کربن آلی خاک با شیب ملایمی به ۳۳۵۰/۴۲ گرم بر مترمربع در سال ۱۳۹۳ (۲۰۱۴) رسیده است. هم‌چنین نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داد که ذخیره کربن آلی خاک در سناریو فرسایش نسبت به سناریو بدون فرسایش در پایان دوره‌های II و III به ترتیب ۰/۵۲ و ۰/۱۶ درصد کاهش یافت.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی در مراتع نیمه‌خشک باجگاه اثر فرسایش بر ذخیره کربن آلی خاک بسیار ناچیز بود و مدیریت چرای دام نقش مهمی در تغییرات ذخیره کربن آلی خاک داشت.

واژه‌های کلیدی: ترسیب کربن، ذخیره کربن آلی خاک، گرمایش جهانی، مدل‌سازی کربن خاک، مدل‌های فرسایش آبی

مقدمه

(۴، ۱۲، ۱۴ و ۴۴). فرسایش آبی نیز از طریق حمل رسوبات غنی از کربن آلی به خارج از منطقه، اکسیداسیون ذخایر کربن و انتشار دی‌اکسیدکربن به اتمسفر؛ میزان کربن آلی خاک را تغییر می‌دهد و موجب هدرروی کربن آلی خاک از طریق رواناب‌های سطحی می‌شود (۳۲). فرسایش آبی هم‌چنین از طریق شکستن خاکدانه‌های خاک موجب تخلیه مخزن کربن آلی خاک، افزایش معدنی‌شدن در داخل منطقه، انتقال کربن و رسوبات نسبتاً غنی از کربن به خارج از منطقه، در معرض قرار دادن کربن آلی خاک برای عناصر اقلیمی و به دنبال آن افزایش اکسیداسیون و ایجاد یک منبع انتشار دی‌اکسیدکربن در منطقه رسوب‌گذاری خواهد شد (۲۴، ۳۲ و ۳۸). مطالعات هدرروی و تغییر مکان کربن ناشی از فرسایش آبی را یک فاکتور مهم تأثیرگذار بر غلظت CO₂ اتمسفر بیان داشته‌اند (۲۶، ۳۲ و ۴۳). به‌طوری‌که به واسطه فرآیندهای فرسایشی سالانه حدود ۵/۷ پتاگرم از کربن آلی خاک جهان به‌وسیله فرسایش آبی انتقال می‌یابد که بیشتر آن (۹۰ درصد) در سراسر لندسکیپ ترسیب و در حدود ۱/۱۴ پتاگرم کربن خاک به‌صورت CO₂ به اتمسفر انتشار می‌یابد (۲۵ و ۳۸).

ترسیب کربن در اکوسیستم‌های طبیعی و به‌ویژه خاک‌ها به‌عنوان یکی از ساده‌ترین و ارزان‌ترین راهکارها برای کاهش دی‌اکسیدکربن اتمسفر و کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم مطرح شده است (۲۴، ۲۵ و ۴۸)، زیرا که خاک‌ها تقریباً ۷۵ درصد ذخایر کربن را در اکوسیستم‌های خشکی دارا می‌باشند و حدود ۱۰ درصد CO₂ اتمسفری هرساله از طریق خاک‌ها به اتمسفر منتشر می‌شود (۲۴ و ۵۰). از این‌رو تغییرات در مقدار کربن آلی خاک تأثیر قابل‌توجهی بر غلظت CO₂ اتمسفر و گرمایش جهانی دارد (۳، ۲۵ و ۴۵). در بین فرآیندهای تخریب‌کننده خاک، فرسایش خاک و چرای دام به‌عنوان محرک‌های اصلی چرخه‌های بیوژئوشیمیایی جهانی اثر قابل‌توجهی بر دینامیک کربن آلی خاک داشته‌اند (۴، ۱۷، ۳۹ و ۴۰).

چرای دام یکی از عوامل اصلی تخریب مراتع به‌ویژه در محیط‌های خشک و نیمه‌خشک بوده که با تأثیر بر پوشش گیاهی، تنوع گونه‌های گیاهی، توسعه گونه‌های غیرخوشخوراک و لگدکوبی توسط دام منجر به افزایش فرسایش خاک و کاهش پتانسیل تولید مراتع می‌شود و بر کربن آلی خاک، مخازن کربن خاک و فعالیت بیولوژیکی خاک اثر منفی می‌گذارد

لایه سطحی خاک اتفاق می‌افتد که به‌عنوان لایه فعال شناخته شده و نباید بیش از ۳۰ cm در Century شبیه‌سازی شود (۵۵). در دسته‌بندی مدل‌ها، جزء مدل‌های سخت به حساب می‌آید که یادگیری و کارکردن با آن بسیار مشکل است (۶). هم‌چنین به دلیل کثرت پارامترهای ورودی مدل و بعضاً عدم دسترسی به برخی داده‌های مورد نیاز مدل در بسیاری از نقاط دنیا پژوهشگران باید طرح‌های تحقیقاتی خود را در مناطقی که دارای اطلاعات پیشین هستند (مانند اطلاعات ذخیره کربن خاک، اطلاعات تاریخی مدیریت زمین و پوشش گیاهی و داده‌های هواشناسی کافی)؛ تعریف نمایند.

یاداو (۲۰۰۸)، با استفاده از مدل فرسایشی WEPP میزان فرسایش را در کاربری‌ها مختلف محاسبه کرد و نشان داد که سطوح کربن آلی خاک در سناریو فرسایشی نسبت به سناریو بدون فرسایش کاهش بیشتری داشته است (۵۶). یاداو و مالسون (۲۰۰۹)، برای شبیه‌سازی کردن اثر فرسایش بر کربن آلی خاک در حوضه بیگ‌کریک در جنوب آلیونیس آمریکا، مدل GeoWEPP را با مدل Century ترکیب کردند (۵۷). نتایج آن‌ها نشان داد که بین ۱۱٪ تا ۳۱٪ از کربن خاک فرسایش یافته بسته به نوع کاربری در حوضه آبخیز ترسیب شده و بقیه به پایین‌دست حوضه حمل شده است. ویلسون و همکاران (۲۰۰۹) با وارد کردن میزان فرسایش خاک حاصل از مدل USLE در مدل Century دقت مدل را در برآورد ذخیره کربن آلی خاک افزایش دادند (۵۵). بورلیت و همکاران (۲۰۱۶) با وارد کردن میزان فرسایش برآورد شده به‌وسیله مدل RUSLE در مدل بیوژئوشیمیایی Century تغییرات ذخیره کربن آلی خاک را در زمین‌های کشاورزی ایتالیا برای سه وضعیت مدیریتی برآورد کردند (۱۰). نتایج آن‌ها نشان داد که با اتخاذ مدیریت کشت‌وکار خوب تا سال ۲۰۲۰ کربن آلی

به‌دلیل پیچیدگی زیاد اکوسیستم‌ها مطالعه دینامیک کربن آلی خاک از طریق استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی در ترکیب با داده‌های اندازه‌گیری شده گزینه مفید و مناسبی است (۳۸). با استفاده از مدل‌ها می‌توان سال‌ها قبل از وقوع تغییرات، عوامل تأثیرگذار بر منابع کربن خاک را شناسایی و عملیات مدیریتی مناسب را اتخاذ نمود. جهت پیش‌بینی تغییرات کربن آلی خاک در پاسخ به فرسایش آبی مدل‌های متعددی مانند Century، EPIC و APEX توسعه یافته‌اند. مدل Century (۳۵) بیش‌ترین کاربرد را در شبیه‌سازی اثر فرسایش بر کربن خاک داشته و به‌طور گسترده در مناطق مختلف استفاده شده است (۲۱، ۵۰، ۵۶ و ۵۷). مدل Century به‌طور گسترده در اکوسیستم‌های مختلف تحت شرایط محیطی و مدیریتی مختلف استفاده و ارزیابی شده (۴۷، ۵۰ و ۵۹) و به‌دلیل توانایی شبیه‌سازی مدیریت‌های مختلف مانند چرای دام، خاکورزی، آتش‌سوزی، کوددهی، آبیاری، قطع درختان و فرسایش دارای برتری نسبت به سایر مدل‌های بیوژئوشیمیایی است (۱۰). این مدل توانایی بررسی اثر عوامل مختلف مدیریتی و محیطی بر عناصر غذایی خاک برای یک دوره یک‌ساله تا هزاران ساله را در تمام اکوسیستم‌های طبیعی (مرتع، جنگل و ساوان) و کشاورزی دارد (۳۵). مدل Century توانایی شبیه‌سازی رشد و تولید گیاهی و زمان‌بندی وقوع رخداد‌های محیطی مانند فرسایش، آتش‌سوزی و تغییر اقلیم و هم‌چنین برنامه‌ریزی اقدامات مختلف مدیریتی مانند چرای دام، کاشت و برداشت گیاهان، آبیاری و خاک‌ورزی را دارد. مدل Century بیش‌ترین کاربرد را در شبیه‌سازی اثر فرسایش بر کربن خاک داشته و به‌طور گسترده در شرایط محیطی و مدیریتی مختلف استفاده شده است (۲۱، ۵۰، ۵۶، ۵۷). با این‌که چندین لایه خاک می‌تواند در مدل به‌کار برده شود، اما دینامیک ماده آلی خاک تنها در

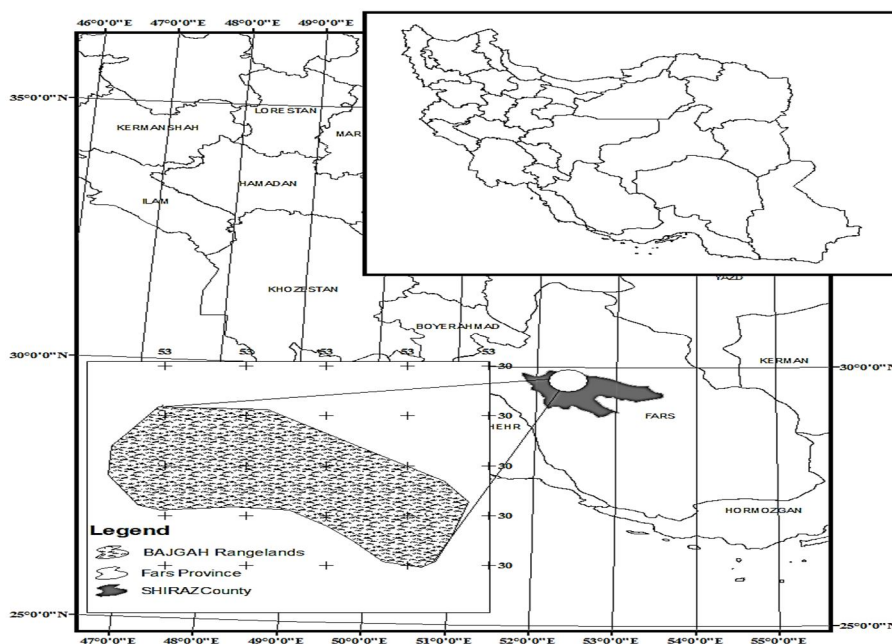
خاک به میزان ۱۷ درصد افزایش خواهد یافت. ژانگ (۲۰۱۸) با وارد کردن میزان فرسایش برآورد شده توسط مدل SWAT در مدل Century میزان کربن فرسایش یافته در یک آبخیز تحقیقاتی در شمال آپالاچی آمریکا را شبیه سازی کرد (۵۹). نتایج این پژوهش قدرت بالای ترکیب این دو مدل را برای شبیه سازی متوسط کربن فرسایش یافته در طولانی مدت نشان داد.

ریاحی سامانی و رئیسی (۲۰۱۴) نشان دادند که در مدیریت قرق مرتع در منطقه سبزکوه و بروجن از طریق افزایش ورود بقایای گیاهی و کربن سهل الوصول به خاک، معدنی شدن کربن افزایش یافته و در منطقه شیدا به علت سابقه کوتاه مدت، مدیریت قرق تأثیر چندانی بر بهبود پوشش گیاهی و وضعیت خاک و در نتیجه معدنی شدن کربن نداشته است (۴۱). هم چنین بیان نمودند که اثر چرا یا قرق مرتع بر معدنی شدن کربن به سابقه مدیریت، نوع اقلیم و پوشش گیاهی اکوسیستم بستگی دارد. جعفری و همکاران (۲۰۱۶) با مطالعه اثر شدت های مختلف چرا بر میزان ترسیب کربن در مراتع کشت شده با گونه *Atriplex canescens* بیان داشتند که در مناطق مورد مطالعه چرا در همه سطوح و اعماق باعث کاهش کربن خاک گردیده است (۲۰). ونائی و همکاران (۲۰۱۷) در چمنزارهای دهگلان استان کردستان نشان دادند که مقدار کربن آلی خاک تحت وضعیت های چرا سبک، چرا متوسط و چرا سنگین به ترتیب ۲، ۲۳ و ۲۵ درصد کاهش خواهد یافت (۵۱). آزاد و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از مدل RothC نشان دادند که تحت مدیریت بدون چرا دام در مراتع خشک بندبست قیروکارزین طی دوره ۳۶ ساله میزان انتشار تجمعی دی اکسید کربن ۱۷/۶۶ تن بر هکتار بوده است (۵). تاکنون هیچ پژوهشی از میزان فرسایش خاک برآورد شده توسط مدل های مختلف فرسایشی برای بهبود اعتبار مدل Century استفاده

نکرده است و هم چنین در ایران مطالعه اثر فرسایش آبی بر دینامیک طولانی مدت ذخیره کربن آلی خاک به ویژه با رویکرد مدل سازی صورت نگرفته است. بنابراین پژوهش حاضر با هدف (۱) بهبود اعتبارسنجی مدل Century با استفاده از میزان فرسایش برآورد شده توسط سه مدل فرسایش آبی شامل مدل های WEPP، GLEAMS و ANSWERS و هم چنین (۲) شبیه سازی دینامیک طولانی مدت ذخیره کربن خاک تحت تأثیر دو سناریو فرسایشی طی دو دوره مدیریتی چرای دام در مراتع نیمه خشک با جگاه انجام گرفت.

مواد و روش ها

مراتع مورد مطالعه در منطقه ای به نام کوی اساتید با جگاه واقع در شمال غربی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز در ۱۵ کیلومتری شمال شهر شیراز قرار دارند (شکل ۱). ارتفاع دشت با جگاه در محل احداث دانشکده کشاورزی ۱۸۱۰ متر نسبت به سطح آزاد دریا می باشد. مراتع مورد مطالعه از لحاظ جغرافیایی در عرض ۲۹ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۳۲ دقیقه شرقی قرار دارند. بر اساس آمار ۴۳ ساله (۱۳۵۰-۱۳۹۳) ایستگاه هواشناسی دانشکده کشاورزی میانگین بارندگی سالیانه ۳۸۷/۴۴ میلی متر و میانگین درجه حرارت سالیانه ۱۳/۴ درجه سلسیوس و حداکثر و حداقل درجه حرارت به ترتیب در ماه های مرداد و دی گزارش شده است. پوشش گیاهی مراتع با جگاه با مساحت تقریباً ۴۰۰۰ هکتار، از نوع گراس های C₃ بوده و تیپ گیاهی غالب این مراتع *Astragalus brachycalyx-Centaurea intricata - Convolvulus acanthocladus* می باشد (۲۲). از لحاظ تاریخی در مراتع با جگاه تا پایان سال ۱۳۴۲ چرای سبک دام، از سال ۱۳۴۳ (مصادف با ملی شدن جنگل ها و مراتع) تا سال ۱۳۵۷ فشار چرا متوسط دام (۵۱) و از سال ۱۳۵۷ تاکنون مدیریت بدون چرا دام حاکم بوده است.



شکل ۱- موقعیت قرارگیری مراتع نیمه‌خشک باجگاه در شهرستان شیراز.

Figure 1. Location of the semi-arid rangelands of Bajgah in Shiraz County.

شده‌اند و برنامه FILE100 به کاربر در ایجاد و به‌روز کردن هر یک از ۱۲ فایل استفاده شده در مدل کمک می‌کند. برنامه FILE100 فایل‌ها اطلاعاتی راجع به محصولات و درختان، خاک‌ورزی، برداشت، چرا، آبیاری، کوددهی، مواد آلی اضافه شده، آتش‌سوزی، پارامترهای ثابت در مورد نرخ تجزیه و پارامترهای مخصوص سایت مانند اقلیم و نوع خاک را دربرمی‌گیرند. برنامه EVENT100 فایل برنامه‌ریزی را که شامل زمان‌بندی متغیرها و برنامه‌ریزی زمان رویدادهایی (تاریخ چرای دام و وقوع فرسایش ...) را که در طی شبیه‌سازی به‌وقوع می‌پیوندند تنظیم می‌کند. در نهایت با معرفی کردن خروجی‌هایی که از مدل Century می‌خواهیم به برنامه LIST100 یک فایل ASCII از آن خروجی‌ها در اختیار ما قرار می‌دهد. مهم‌ترین خروجی در مدل Century، میزان کربن آلی خاک (گرم بر متر مربع) است که تحت عنوان somsc در مدل بیان می‌شود.

توصیف مدل Century: مدل Century یک ابزار آنالیز اکوسیستم‌های طبیعی (مرتع، جنگل و ساوان) و کشاورزی برای روشن ساختن اثرات اقلیم، مدیریت، فرسایش، چرای دام، آبیاری، کوددهی بر وضعیت عناصر غذایی خاک (کربن، نیتروژن، فسفر و سولفور) است (۳۵ و ۵۵). این مدل کربن آلی خاک را در سه مخزن مفهومی شامل مخزن‌های غیرفعال^۱، آهسته^۲ و فعال^۳ برای سرعت‌های آهسته، متوسط و سریع از انتقال کربن در خاک ارائه می‌دهد (۵۰ و ۵۵). به‌دلیل توانایی و دقت بالای مدل Century در شبیه‌سازی محرک‌های محیطی مانند فرسایش و تغییر اقلیم و همچنین مدیریت‌های مختلف مانند چرای دام دارای برتری زیادی نسبت به سایر مدل‌های بیوژئوشیمیایی است (۱۰، ۵۵ و ۵۹). محیط مدل Century شامل سه برنامه اصلی EVENT100، FILE100 و LIST100 می‌باشد. داده‌های ورودی در داخل ۱۲ فایل توزیع

- 1- Passive pool
- 2- Slow pool
- 3- Active pool

میلی‌متر) در گلخانه بخش گیاه‌پزشکی، ریشه‌ها به‌همراه بیومس بالازمینی و لاشبرگ گیاهان در آزمایشگاه حفاظت خاک بخش مهندسی منابع طبیعی و محیط زیست، هوا خشک (یک ماه) شدند. بعد از خشک شدن نمونه‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتالی وزن خشک نمونه‌ها محاسبه گردید. کربن گیاهی (بیومس بالازمینی، لاشبرگ و ریشه) از روش سوختن (۸) و نیتروژن گیاهی (بیومس بالازمینی، لاشبرگ و ریشه) از روش کجلدال (۲۳) محاسبه شد. بعد از این‌که عمل آماده‌سازی بر روی نمونه‌های خاک صورت گرفت، تجزیه فیزیکی و شیمیایی نمونه‌ها به‌شرح زیر انجام شد. بافت خاک به روش هیدرومتری (۱۱)، جرم مخصوص ظاهری خاک به روش سیلندری (۹)، اسیدیته خاک با استفاده از دستگاه pH متر، درصد کربن آلی به روش والکی و بلاک (۵۳) و نیتروژن خاک از روش کجلدال (۲۳) اندازه‌گیری شد. در نهایت ذخیره کربن آلی خاک (تن کربن بر هکتار) در عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری با استفاده از رابطه زیر (۱۶) محاسبه شد:

$$SOC\ Stock = OC (\%) \times depth (cm) \times B \cdot d (gr\ cm^{-3}) \quad (2)$$

در بخش مهندسی آب دانشکده کشاورزی تعیین گردیدند (جدول ۱). مقادیر پارامترهای اولیه ماده آلی که شامل مقدار کربن آلی در لاشبرگ و خاک، نسبت کربن به نیتروژن در لاشبرگ و خاک، مقدار کربن در بیومس بالازمینی و بیومس زیرزمینی، مقدار نیتروژن در بیومس بالازمینی و بیومس زیرزمینی بودند با استفاده از نتایج اندازه‌گیری‌های میدانی و آزمایشگاهی این مطالعه تعیین شدند (جدول ۱). با توجه به این‌که پوشش گیاهی بومی منطقه کوی اساتید باجگاه از نوع گیاهان C_3 می‌باشد مقادیر پارامترهای فیزیولوژیکی و اکولوژیکی برای گیاهان C_3 از فایل راهنمای مدل Century استخراج شدند (۳۵).

نمونه‌برداری از خاک و پوشش مرتعی: نمونه‌برداری از خاک به روش تصادفی صورت گرفت و تعداد ۶۰ نمونه خاک (۳۰ نمونه در شهریور ۹۳ و ۳۰ نمونه در دی‌ماه ۹۳) از عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری از سطح مراتع برداشت شد. به‌منظور تعیین جرم مخصوص ظاهری خاک دو نمونه سیلندر در کنار هر گودال خاک (در مجموع ۱۲۰ نمونه) برداشته شد. برای تعیین حجم نمونه‌گیری پوشش گیاهی مراتع از رابطه زیر استفاده شد که در آن CV ، N و E به‌ترتیب تعداد نمونه لازم، درصد ضریب تغییرات و درصد خطای قابل‌قبول (۱ تا ۱۰ درصد) است. سپس بیومس بالازمینی^۱، لاشبرگ و بیومس زیرزمینی^۲ (ریشه) موجود در هر پلات برداشت و در داخل کیسه‌های پلاستیکی قرار داده شد و برای آزمایش‌های شیمیایی به آزمایشگاه منتقل شدند.

$$N = \left(\frac{CV}{E}\right)^2 \quad (1)$$

روش تحقیق آزمایشگاهی: بعد از شستشو و گذراندن ریشه‌ها از الک ۵۰ مشی (قطر منفذ ۰/۳

پارامتریابی^۳ مدل Century: داده‌های هواشناسی شامل میانگین بارندگی ماهانه، انحراف معیار بارندگی ماهانه، چولگی بارندگی ماهانه، میانگین دمای حداقل و حداکثر ماهانه با استفاده از آمار ۴۳ ساله (۱۳۵۰-۱۳۹۳) ایستگاه هواشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، محاسبه گردیدند. پارامترهای سایت و کنترل شبیه‌سازی که شامل طول و عرض جغرافیایی، درصد نسبی ذرات خاک، جرم مخصوص ظاهری خاک، pH خاک، با استفاده از داده‌های این مطالعه (جدول ۱) و نقطه پژمردگی و ظرفیت مزرعه‌ای از مطالعات قبلی

- 1- Aboveground
- 2- Belowground
- 3- Parameterization

جدول ۱- مشخصات خاک، پوشش گیاهی و پارامترهای اقلیمی استفاده شده به عنوان ورودی در مدل Century.

Table 1. Soil and vegetation characteristics and climatic parameters used as inputs for the Century model.

پارامترهای سایت Site Parameters		مشخصات پوشش گیاهی Vegetation Characteristics		خصوصیات خاک Soil Characteristics	
پارامتر Parameter	ارزش Value	پارامتر Parameter	ارزش Value	پارامتر Parameter	ارزش Value
موقعیت Location	29° 36'N, 52° 32'E	کربن لاشبرگ (گرم بر مترمربع) Litter carbon (g m ⁻²)	29.47	بافت خاک (رس، سیلت، شن) Texture (sand, silt, clay)*	12.7%; 53.4%; 33.9%*
کل بارش (میلی متر) Total precipitation (mm)	388.44	کربن بیومس بالازمینی (گرم بر مترمربع) Aboveground biomass carbon (g m ⁻²)	38.95	جرم مخصوص ظاهری (gr/cm ³)* Bulk density (g cm ⁻³)*	1.26
میانگین درجه حرارت Mean temperature (C°)	13.45	کربن بیومس زیرزمینی (گرم بر مترمربع) Belowground biomass carbon (g m ⁻²)	56.40	کل کربن آلی اولیه خاک ^b (گرم بر مترمربع) Initial total SOC (g m ⁻²)	3228.53
کل تبخیر (میلی متر) Total open pan evaporation (mm)	643	نیتروژن بیومس بالازمینی (گرم بر مترمربع) Aboveground biomass nitrogen (g m ⁻²)	1.12	په‌هاش pH	7.93
ظرفیت مزرعه‌ای ^a Field capacity	0.38	نیتروژن بیومس زیرزمینی (گرم بر مترمربع) Belowground biomass nitrogen (g m ⁻²)	1.65	نسبت کربن به نیتروژن خاک Soil C/N	11.6
نقطه پژمردگی ^a Wilting point	0.16	نسبت کربن به نیتروژن لاشبرگ Litter C/N	34.72	عمق خاک (سانتی متر) Soil depth (cm)	20

(a) فراهم شده توسط بخش مهندسی آب دانشکده کشاورزی؛ (b) میانگین ۳۰ نمونه خاک در سال ۱۳۶۶ (۲)
a) data provided by the Water Engineering Department of Agricultural College; b) Average of 30 samples in 1987.

باجگاه تحت پوشش گراس‌های C₃ و چرای سبک دام تا سال ۱۳۴۲، چرای متوسط از سال ۱۳۴۳ تا ۱۳۵۸ (۵۱) و مدیریت بدون چرای دام از ۱۳۵۸ تاکنون بوده است، بنابراین برای ایجاد حالت تعادل در اکوسیستم مدل Century برای ۱۰/۰۰۰ سال تحت پوشش گراس‌های C₃ اجرا شد. با تغییر دادن ارزش‌های پیش‌فرض مدل تا زمانی که مقادیر کربن شبیه‌سازی شده پس از چند هزار سال با کربن اندازه‌گیری شده برابر گردد، مدل واسنجی می‌شود (۲۱، ۵۰ و ۵۵). چون برای واسنجی مدل Century حداقل به یک اندازه‌گیری تاریخی ذخیره کربن آلی

واسنجی مدل Century: داده‌های کربن خاک معمولاً به صورت مستقیم وارد مدل Century نمی‌شوند و از شبیه‌سازی یک دوره تعادل^۱ چندین هزار ساله (۷۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰ سال) تحت پوشش گیاهی بومی به دست می‌آیند (۵۰). دوره تعادل یک خط مبنای برای ارزیابی اثرات اقدامات مدیریتی و اقلیمی بر کربن آلی خاک ایجاد می‌کند، بنابراین باید کاربر در ابتدا وقایع دوره تعادل را تعیین و در مدل وارد نماید. با توجه به این واقعیت که مراتع منطقه

- 1- Equilibrium
- 2- Baseline

توسط سه مدل فرسایشی WEPP (۷)، GLEAMS (۴۹) و ANSWERS (۳۰) از مطالعات پیشین در مراتع منطقه کوی اساتید باجگاه استخراج (جدول ۲) و به عنوان ورودی در مدل Century وارد گردید و در نهایت اثر میزان فرسایش آبی برآورد شده به وسیله مدل‌های فرسایشی ذکر شده توسط مدل Century بر دینامیک ذخیره کربن آلی خاک شبیه‌سازی شد.

خاک نیاز است (۳۵)، از این رو با استفاده از داده‌های مطالعات قبلی (۲) در مراتع باجگاه (مقدار کل کربن آلی اولیه خاک در سال ۱۳۶۶)، مدل واسنجی شد (جدول ۱).

استفاده از خروجی مدل‌های فرسایشی آبی برای بهبود اعتبار سنجی مدل Century: در این مطالعه میانگین درازمدت میزان فرسایش آبی برآورد شده

جدول ۲- میزان متوسط درازمدت فرسایش شبیه‌سازی شده توسط سه مدل فرسایشی در مراتع باجگاه.

Table 2. Long-term average amount of water erosion simulated by three erosion models in the Bajgah rangelands.

نام منطقه Region name	نام مدل Model name	مرجع Reference	میزان فرسایش (کیلوگرم بر هکتار) Erosion amount (Kg ha ⁻¹)
	WEPP	Bagheri, 2010	1264
کوی اساتید Kuye Asatid	GLEAMS	Torabi, 1995	1070
	ANSWERS	Momtahn, 1989	1200

میانگین مربعات خطا (RMSE%) و میانگین مطلق خطا (MAE) مقایسه شد. در نهایت مدلی که مقدار فرسایش شبیه‌سازی شده توسط آن موجب برآورد دقیق‌تر ذخیره کربن آلی خاک توسط مدل Century شود در مراحل بعدی برای بررسی اثر فرسایش آبی بر ذخیره کربن آلی خاک در نظر گرفته خواهد شد.

در مرحله بعد میزان ذخیره کربن آلی خاک شبیه‌سازی شده توسط مدل Century تحت تأثیر میزان فرسایش آبی در هر کدام از مدل‌های فرسایشی با میزان ذخیره کربن آلی خاک اندازه‌گیری شده در سال‌های ۱۳۸۷ (۳۱) و ۱۳۹۳ (نتایج پژوهش حاضر) (جدول ۳) براساس ضریب تبیین (R²)، درصد

جدول ۳- ذخیره کربن آلی خاک، حاصل از مطالعات پیشین و مطالعه حاضر در مراتع.

Table 3. SOC stock derived from previous studies and present study in the Bajgah rangelands.

مرجع و سال Reference and year	سال نمونه برداری Sampling year	ذخیره کربن آلی خاک* (گرم بر مترمربع) Soil organic carbon stock (g m ⁻²)
موسوی، ۱۳۸۹ Moosavi, 2011	اسفند، ۱۳۸۷ March, 2009	4433.21
پژوهش حاضر Present study	شهریور، ۱۳۹۳ September, 2014	3649
	دی، ۱۳۹۳ December, 2014	3708

* Measuring at a depth of 20 cm

* اندازه‌گیری در عمق ۲۰ سانتی‌متری

واقعی مراتع باجگاه که فقط شامل چرای دام بود در نظر گرفته شد ولی در سناریو فرسایش علاوه بر روند مدیریتی چرای دام، تأثیر فرسایش آبی نیز بر تغییرات میزان ذخیره کربن آلی خاک در نظر گرفته شد (جدول ۴).

شبیه‌سازی اثر دو سناریو فرسایش آبی بر تغییرات ذخیره کربن آلی خاک: در مطالعه حاضر اثر دو سناریو وقوع فرسایش آبی و عدم وقوع فرسایش آبی بر تغییرات ذخیره کربن آلی خاک در مراتع باجگاه ارزیابی شد. در سناریو بدون فرسایش روند مدیریتی

جدول ۴- مدیریت چرای دام در مراتع باجگاه.

Table 4. Grazing management in the Bajgah rangelands.

دوره	سال	مدیریت	درصد برداشت پوشش گیاهی
Period	Year	Management	Percent of vegetation removed by grazing
I	۰ تا ۱۳۴۲ (0-1963)	چرای سبک (Light grazing)	25
II	۱۳۴۳ تا ۱۳۵۷ (1964-1979)	چرای متوسط (Moderate grazing)	50
III	۱۳۵۸ تا ۱۳۹۳ (1980 to 2014)	بدون چرا (No grazing)	-

دینامیک ذخیره کربن آلی خاک را در منطقه باجگاه شبیه‌سازی کند و همخوانی بهتری با داده‌های اندازه‌گیری شده نسبت به دو مدل فرسایشی دیگر داشته باشد (جدول ۵). هم‌چنین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده ذخیره کربن آلی خاک بعد از استفاده از خروجی مدل GLEAMS به‌طوری مناسبی در نزدیک خط ۱:۱ پراکنش داشتند که بیانگر توانایی مدل Century در پیش‌بینی دقیق ذخیره کربن آلی خاک است (شکل ۲). بنابراین برای شبیه‌سازی اثر فرسایش بر دینامیک ذخیره کربن آلی خاک در منطقه باجگاه در دوره‌های مدیریتی مراتع باجگاه از خروجی مدل GLEAMS استفاده شد.

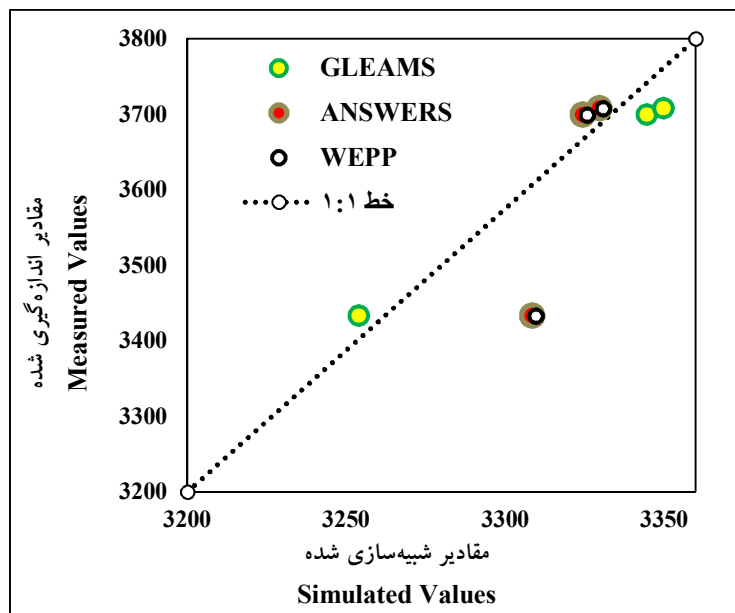
نتایج و بحث

بهبود اعتبار مدل Century: نتایج شبیه‌سازی مدل Century نشان داد که ضریب تبیین (R^2) بین ذخیره کربن آلی خاک شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده هنگام استفاده از خروجی مدل‌های فرسایشی GLEAMS، WEPP و ANSWERS به‌ترتیب برابر ۰/۹۶، ۰/۹۹ و ۰/۹۵ خواهد بود (جدول ۵). هم‌چنین نتایج RMSE% و MAE بین نتایج شبیه‌سازی شده و مدل‌سازی شده بعد از استفاده از خروجی مدل‌های فرسایشی GLEAMS، WEPP، ANSWERS، به‌ترتیب ۸/۷۳، ۸/۷۲ و ۸/۷۰؛ ۳۰۷، ۲۹۲ و ۲۸۹ بودند (جدول ۵). میزان فرسایش برآورد شده توسط مدل GLEAMS موجب شد که ضریب تبیین (R^2) افزایش یابد و مدل Century با خطای کم‌تری

جدول ۵- اعتبارسنجی مدل Century با استفاده از خروجی مدل‌های مختلف فرسایش آبی.

Table 5. The Century model validation by using outputs of different water erosion models.

نام مدل	RMSE%	MAE	R^2
GLEAMS	8.70	289	0.99
WEPP	8.72	292	0.96
ANSWERS	8.73	307	0.95



شکل ۲- ذخیره کربن آلی خاک اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در مقایسه با خط ۱ به ۱ در منطقه باجگاه.

Figure 2. Measured and simulated SOC stocks in the Bajgah region compared with 1:1 line.

مدل‌های مختلف با هدف بهبود اعتبار مدل Century استفاده نکرده و پژوهش حاضر اولین مطالعه در این زمینه است.

شبیه‌سازی دینامیک ذخیره کربن آلی خاک در سناریو بدون فرسایش: نتایج شبیه‌سازی‌های مدل Century نشان داد که در سناریو بدون فرسایش در مراتع نیمه‌خشک باجگاه طی دوره II (۱۳۵۷-۱۳۴۳) ذخیره کربن آلی خاک نسبت به ابتدای دوره II (سال ۱۳۴۳) به میزان ۶/۷۲ درصد کاهش یافته است (جدول ۶). به طوری که روند ذخیره کربن آلی خاک در دوره II با شیب زیادی از ۳۴۹۶ گرم بر مترمربع در سال ۱۳۴۳ به ۳۲۶۰/۹۳ گرم بر مترمربع در سال ۱۳۵۷ کاهش یافته بود (شکل ۳). با توجه به این که طی دوره II چرای دام با شدت متوسط در مراتع باجگاه حاکم بوده (جدول ۴)، احتمالاً چرای دام موجب کاهش ذخیره کربن آلی خاک شده است. افزایش شدت چرای دام موجب کاهش کربن ورودی از طریق کاهش لاشبرگ ریخته شده از گیاهان، مصرف لاشبرگ توسط

آزاد و افضلی (۲۰۱۹) نشان دادند که مدل Century توانایی بالایی در شبیه‌سازی ذخیره کربن آلی خاک در اکوسیستم‌های مرتعی نیمه‌خشک استان فارس دارد (۶). پولیاکو و لال (۲۰۰۴) بیان کردند مدل Century قادر است به خوبی به سناریوهای فرسایشی متفاوت در اکوسیستم‌های مرتعی واکنش نشان دهد (۳۸). ویلسون و همکاران (۲۰۰۹) بیان کردند مدل Century با استفاده از اطلاعات فرسایشی مدل USLE توانسته ذخیره کربن آلی خاک را در مقایسه با شرایط عدم استفاده از اطلاعات فرسایشی با دقت بهتری شبیه‌سازی کند (۵۵). ژانگ (۲۰۱۸) بیان داشت با وارد کردن میزان فرسایش برآورد شده توسط مدل SWAT در Century به دلیل کاهش بیش‌برآوردی مدل؛ دقت شبیه‌سازی ذخیره کربن خاک افزایش خواهد یافت (۵۹). مطالعات پیشین هر کدام تنها خروجی یک مدل فرسایشی یا اندازه‌گیری‌های میدانی فرسایش را با مدل Century ادغام کرده‌اند (۲۱، ۵۰، ۵۶ و ۵۷). ولی تاکنون هیچ پژوهشی از خروجی

1- Over-estimation

گرم بر مترمربع در سال ۱۳۵۸ به ۳۳۵۶/۰۴ گرم بر مترمربع در سال ۱۳۹۳ رسیده است (شکل ۳). نتایج مقایسه میانگین در سناریو بدون فرسایش بیانگر وجود تفاوت معنی‌داری ($P < 0.05$) بین ذخیره کربن آلی خاک در دوره‌های II (۱۳۵۷-۱۳۴۳) و III (۱۳۹۳-۱۳۵۸) بود (جدول ۶). احتمالاً حذف فشار چرای دام از سطح مراتع باجگاه موجب افزایش ذخیره کربن آلی خاک طی دوره III شده است. عدم چرای دام باعث افزایش تاج پوشش گیاهی و تراکم لاشبرگ (۴۶ و ۵۸) و در نهایت افزایش کربن آلی خاک می‌شود. پژوهش‌های متعدد نیز تجمع مواد آلی و افزایش کربن آلی را در نواحی قرق‌شده (بدون چرا) بیان کرده‌اند (۴ و ۱۳).

علفخواران، کاهش برگ‌ها و سطح فتوسنتزکننده، افزایش دمای خاک در مناطق عاری از پوشش گیاهی و ایجاد شرایط مناسب برای تجزیه میکروبی می‌شود (۱۲). هم‌چنین گزارش شده که شدت چرای متوسط در شرایط آب و هوایی نیمه‌خشک (۳۷) و در مراتع با غالبیت گراس‌های C_3 اثر منفی بر کربن آلی خاک دارد (۲۹).

نتایج خروجی‌های مدل Century در سناریو بدون فرسایش نشان داد طی دوره III (۱۳۵۸-۱۳۹۳) در مراتع باجگاه که هیچ‌گونه چرای دامی صورت نگرفته (جدول ۴) ذخیره کربن آلی خاک نسبت به ابتدای دوره III (سال ۱۳۵۸) به میزان ۳/۴۱ درصد افزایش یافته است (جدول ۶) به طوری که ذخیره کربن آلی خاک طی دوره III با شیب ملایمی از ۳۲۴۵/۳۰

جدول ۶- ذخیره کربن آلی خاک در دو سناریو فرسایش آبی طی دوره‌های مدیریت چرای دام در مراتع باجگاه.

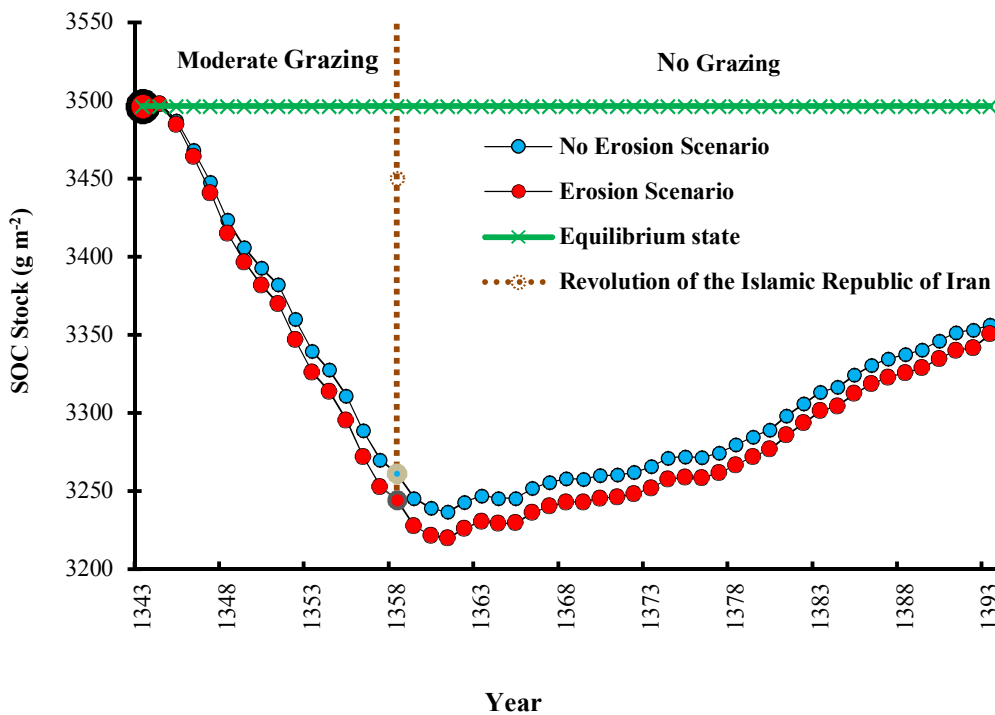
Figure 6. SOC stock in two water erosion scenarios during grazing management periods in the Bajgah rangelands.

سناریو Scenario	دوره Period	سال Year	ذخیره کربن آلی خاک (گرم بر مترمربع) SOC stock (g m ⁻²)	تغییرات نسبت به ابتدای دوره (%) Changes compared to the beginning of period (%)
بدون فرسایش No Erosion	II	۱۳۴۳ (1964 AD)	3496	-6.72 ^a
		۱۳۵۷ (1979 AD)	3260.93	
	III	۱۳۵۸ (1980 AD)	3245.30	+3.41 ^b
		۱۳۹۳ (2014 AD)	3356.04	
فرسایش Erosion	II	۱۳۴۳ (1964 AD)	3496	-7.21 ^a
		۱۳۵۷ (1979 AD)	3243.90	
	III	۱۳۵۸ (1980 AD)	3227.37	+3.81 ^b
		۱۳۹۳ (2014 AD)	3350.42	

(a) $100 \times (\text{ذخیره کربن در ابتدای دوره} / \text{ذخیره کربن در ابتدای دوره} - \text{ذخیره کربن در انتهای دوره})$

a) $[100 \times (\text{SOC stock at the end of the period} - \text{SOC stock at the beginning of the period}) / \text{SOC stock at the beginning of the period}]$
حروف مشترک به معنای عدم وجود تفاوت معنی‌دار ($P < 0.05$) است.

Values followed by the same letter are not significantly different ($P < 0.05$).



شکل ۳- دینامیک ذخیره کربن آلی خاک در دو سناریو فرسایش آبی طی دوره‌های مدیریت چرای دام در مراتع باجگاه.

Figure 3. Dynamic of SOC stock in two water erosion scenarios during grazing management periods in the Bajgah rangelands.

چند که طی دوره II (۱۳۴۳-۱۳۵۷) میزان ذخیره کربن آلی خاک در سناریو فرسایش (۷/۲۱) درصد کاهش نسبت به ابتدای دوره) نسبت به سناریو بدون فرسایش (۶/۷۲) درصد کاهش نسبت به ابتدای دوره) کاهش بیشتری داشت (جدول ۶) اما این میزان کاهش ذخیره کربن آلی خاک ناچیز بود (شکل ۳) و تفاوت معنی‌داری ($P < 0.05$) بین دو سناریو فرسایش و بدون فرسایش طی دوره II مشاهده نشد (جدول ۶). احتمالاً به دلیل شدت فرسایش آبی بسیار ناچیز در مراتع منطقه باجگاه ذخیره کربن آلی خاک در دوره II (۱۳۴۳-۱۳۵۷) نسبت به حالت بدون فرسایش کاهش ناچیزی داشته است (شکل ۳). بالا بودن میزان تولید بالازمینی مراتع باجگاه (تقریباً ۸۸ گرم بر مترمربع) شاید دلیل کاهش ناچیز ذخیره کربن خاک در اثر فرسایش در این منطقه باشد. هاردن و همکاران (۱۹۹۹) علت ناچیز بودن هدرروی کربن خاک در

شبیه‌سازی دینامیک ذخیره کربن آلی خاک در سناریو فرسایش: نتایج شبیه‌سازی مدل Century نشان داد که اثر فرسایش آبی بر ذخیره کربن آلی خاک طی دوره II (۱۳۴۳-۱۳۵۷) که شدت چرای متوسط دام در سطح مراتع منطقه باجگاه حاکم بود موجب کاهش ذخیره کربن آلی خاک به میزان ۷/۲۱ درصد شده است (جدول ۶). به طوری که ذخیره کربن آلی خاک در دوره II با شیب زیادی از ۳۴۹۶ گرم بر مترمربع در سال ۱۳۴۳ به ۳۲۴۳/۹۰ گرم بر مترمربع در سال ۱۳۵۷ کاهش یافته است (شکل ۳). هم‌چنین ذخیره کربن آلی خاک طی دوره II در سناریو فرسایش در مقایسه با سناریو بدون فرسایش در پایان دوره II (سال ۱۳۵۷) به میزان ۰/۵۲ درصد کاهش یافته بود (جدول ۷). پولیکاو و ل (۲۰۰۴)، با استفاده از مدل Century نشان دادند که کاهش سطح کربن آلی خاک در ارتباط با فرآیند فرسایش است (۳۸). هر

خاک ناچیز است (۲۸). تورن کویست و همکاران (۲۰۰۹)، ارتباط فرایندهای فرسایشی و ترسیبی با دینامیک کربن آلی خاک را در ایبوروبای برزیل ناچیز و اثر فرسایش را بر روی تغییرات ذخیره کربن آلی خاک در این منطقه ناچیز دانستند (۵۰). ویواناکو و آوستین (۲۰۰۶) ارتباط منفی بین نرخ تجزیه ماده آلی خاک و نسبت کربن به نیتروژن خاک را بیان داشتند (۵۲). لی و همکاران (۲۰۱۷) نیز نشان دادند که در سایت‌های فرسایشی میزان C/N خاک در ارتباط با تغییرات کربن آلی خاک است و بالاترین میزان کربن آلی خاک را در مناطق با C/N بالا (بین ۸ تا ۸/۴) گزارش نمودند (۲۷). نسبت کربن به نیتروژن خاک در مراتع باجگاه نسبتاً بالا است (جدول ۱) و احتمالاً کاهش ناچیز ذخیره کربن آلی خاک در این منطقه در اثر فرسایش در ارتباط با میزان بالای C/N خاک باشد.

یک سایت فرسایشی در بلندمدت را بالا بودن میزان تولید گیاهی بیان نمودند (۱۹). هم‌چنین یاداو و مالسون (۲۰۰۹)، بیان نمودند که فرسایش اثر قابل‌ملاحظه‌ای بر تولید اولیه خالص دارد و شدت تأثیر آن با توجه به نوع کاربری متفاوت است و کم‌ترین تأثیرپذیری را در کاربری‌های بومی گزارش کردند (۵۷). ویلسون و همکاران (۲۰۰۹)، با استفاده از مدل Century نشان دادند که در مناطق با شدت فرسایشی پایین، هدروری کربن آلی خاک کاهش می‌یابد و مکانیزم اصلی هدروری ماده آلی خاک را استراتژی‌های مدیریتی، بیان داشتند (۵۵). با توجه به این‌که از سال ۱۳۵۸ تاکنون مدیریت بدون چرای دام در مراتع باجگاه حاکم بوده احتمالاً تغییرات ناچیز کربن خاک در این منطقه به دلیل عدم چرای دام بوده است. هم‌چنین مارتینز‌منا و همکاران (۲۰۰۸)، نشان دادند که اثر فرسایش آبی در کاهش کربن آلی در

جدول ۷- تغییرات ذخیره کربن آلی خاک در سناریو فرسایش آبی نسبت به سناریو بدون فرسایش آبی در پایان دوره‌های مدیریت چرای دام.

Table 7. Changes of SOC stock in the water erosion scenario compared to the no water erosion scenario at the end of the grazing management periods.

تغییرات ذخیره کربن آلی خاک نسبت به سناریو بدون فرسایش (%) Changes of SOC stock compared to the no water erosion scenario (%)	ذخیره کربن آلی خاک (گرم بر مترمربع) SOC stock (g m ⁻²)		دوره Period
	فرسایش Erosion	بدون فرسایش No Erosion	
-0.52 ^a	3243.90	3260.93	II
-0.16 ^a	3350.42	3356.04	III

حروف مشترک به معنای عدم وجود تفاوت معنی‌دار (P<0.05) هست.

Values followed by the same letter are not significantly different (P<0.05).

(سال ۱۳۵۸) در سناریو فرسایش (۳/۸۱ درصد افزایش) نسبت به سناریو بدون فرسایش (۳/۴۱ درصد افزایش) طی دوره III بیش‌تر بوده است (جدول ۶). اما باید توجه نمود که این افزایش نسبت به ابتدای دوره III (سال ۱۳۵۸) سنجیده شده است به طوری‌که در سناریو بدون فرسایش در ابتدای دوره

نتایج خروجی مدل Century در سناریو فرسایش طی دوره III (۱۳۵۸-۱۳۹۳) با حذف چرای دام از سطح مراتع باجگاه نشان داد که میزان ذخیره کربن آلی خاک نسبت به ابتدای دوره (سال ۱۳۵۸)، ۳/۸۱ درصد افزایش یافته است (جدول ۶). یعنی میزان افزایش ذخیره کربن آلی خاک نسبت به ابتدای دوره

خاک در هر دو سناریو فرسایش و بدون فرسایش در دوره II با شدت متوسط چرای دام کاهش بیش‌تری نسبت به دوره III با مدیریت بدون چرا داشته است و تفاوت معنی‌داری بین ذخیره کربن آلی خاک در مدیریت چرای متوسط دام (دوره II) و مدیریت بدون چرا (III) در هر دو سناریو فرسایشی ($P < 0.01$) مشاهده شد (جدول ۶). افزایش شدت چرای دام منجر به کاهش کربن ورودی از لاشبرگ گیاهی به خاک به دلیل تخریب پوشش گیاهی و مصرف لاشبرگ به‌وسیله علفخواران، کاهش برگ‌ها، افزایش دمای خاک در جاهایی که خاک لخت شده و توسعه شرایط مناسب برای تجزیه می‌شود (۱) همه این عوامل منجر به کاهش ذخایر کربن آلی خاک خواهد شد (۱۵ و ۵۴). هم‌چنین پژوهش‌های اخیر نشان داده‌اند که شدت چرا بر ذخیره کربن آلی خاک، تولید اولیه خالص، رشد گیاهی، نسبت تاج به ریشه گیاه، نسبت کربن به نیتروژن خاک و تجزیه ماده آلی اثر می‌گذارد (۳۳، ۳۴، ۳۷ و ۴۲). پژوهش‌های مختلف اثر منفی چرای دام را بر کربن آلی خاک در مناطق نیمه‌خشک (۳۷) و در مناطقی با بارش کم‌تر از ۶۰۰ میلی‌متر در سال گزارش کرده‌اند (۱۸ و ۳۶). ماشری و ریتچ (۲۰۱۳) نشان دادند که شدت چرا و نوع گراس بعد از متغیرهای محیطی بیش‌ترین تأثیر را بر کربن آلی خاک دارند و بیان کردند چرای دام در مراتع با غالبیت گراس‌های C_3 در شرایط شدت چرای متوسط اثر منفی بر کربن آلی خاک دارد (۲۹). با توجه به این نکته که مراتع نیمه‌خشک باجگاه دارای بارش کم‌تر از ۶۰۰ میلی‌متر در سال هستند و هم‌چنین نوع گراس‌های غالب در این مراتع از نوع گراس‌های C_3 می‌باشد، بنابراین کاهش ذخیره کربن آلی خاک تحت چرا متوسط در مراتع باجگاه در دوره II (۱۳۵۷-۱۳۴۳) در هر دو سناریو فرسایشی (شکل ۳) منطقی است. ونائی و همکاران (۲۰۱۷) نیز بیان نمودند که چرای متوسط دام منجر به کاهش ذخیره

III (سال ۱۳۵۸) میزان ذخیره کربن آلی خاک $3245/30$ گرم بر مترمربع بوده است اما در سناریو فرسایش در همین زمان میزان ذخیره کربن خاک $3227/37$ گرم بر مترمربع بوده است (جدول ۶). یعنی در سناریو فرسایش نسبت به سناریو بدون فرسایش میزان کربن آلی خاک در ابتدای دوره III (سال ۱۳۵۸) کم‌تر است و این کاهش به دلیل وجود چرای دام در دوره قبل بوده است که همراه با فرسایش موجب کم‌تر شدن ذخیره کربن خاک در ابتدای دوره III (سال ۱۳۵۸) در سناریو فرسایش نسبت به سناریو بدون فرسایش شده است (جدول ۶). هم‌چنین در پایان دوره III (سال ۱۳۹۳) میزان ذخیره کربن آلی خاک در سناریو فرسایش ($3350/42$ گرم بر مترمربع) کم‌تر از سناریو بدون فرسایش ($3356/04$ گرم بر مترمربع) بود (جدول ۶) و نمودار تغییرات ذخیره کربن آلی خاک در سناریو فرسایش پایین‌تر از سناریو بدون فرسایش قرار دارد (شکل ۳). هم‌چنین ذخیره کربن آلی خاک در سناریو فرسایش طی دوره II و III با هم تفاوت معنی‌داری نشان دادند ($P < 0.05$) (جدول ۶). به‌طورکلی نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داد که ذخیره کربن آلی خاک در سناریو فرسایش آبی در مقایسه با سناریو بدون فرسایش به‌ترتیب به‌میزان $0/52$ و $0/16$ در پایان دوره II (۱۳۵۷-۱۳۴۳) و دوره III (۱۳۹۳-۱۳۵۸) کاهش یافته است (جدول ۷) و فرسایش موجب کاهش ذخیره کربن آلی خاک در مراتع نیمه‌خشک باجگاه در مقایسه با سناریو بدون فرسایش شده است (شکل ۳) اما تفاوت معنی‌داری ($P < 0.05$) بین آن‌ها مشاهده نشد (جدول ۶). این می‌تواند ارتباط کم فرآیندهای فرسایشی با دینامیک کربن آلی خاک را در این منطقه بیان نماید؛ اما چنین تفسیرهایی باید با احتیاط بررسی شود. می‌توان گفت که در مراتع نیمه‌خشک باجگاه مدیریت چرای دام بیش‌تر از فرسایش آبی در تغییرات ذخیره کربن آلی خاک نقش داشته است به‌طوری‌که ذخیره کربن آلی

اهمیتی که باید مورد توجه قرار گیرد در دسترس بودن داده کافی از لحاظ زمانی در یک منطقه برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل Century هست، بنابراین نباید پژوهشگران طرح‌های تحقیقاتی خود را در مناطقی که فاقد اطلاعات پیشین هستند (مانند اطلاعات ذخیره کربن خاک، اطلاعات تاریخی مدیریت زمین و پوشش گیاهی و داده‌های هواشناسی کافی)؛ تعریف نمایند. در پژوهش حاضر منطقه باجگاه چون یک سایت مطالعاتی در دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز هست و پژوهش‌های پرشماری در این منطقه از جنبه‌های مختلف صورت گرفته است، به‌عنوان منطقه مطالعاتی مناسب انتخاب شد؛ به‌طوری‌که از داده‌های مطالعات گذشته در این منطقه برای واسنجی، اعتبارسنجی و استقرار سناریوهای فرسایشی استفاده شد. بر مبنای نتایج این مطالعه در مراتع نیمه‌خشک باجگاه اثر فرسایش بر ذخیره کربن آلی خاک بسیار ناچیز بود و مدیریت چرای دام نقش مهمی در تغییرات ذخیره کربن آلی خاک داشت.

کربن آلی خاک در چمنزارهای استان کردستان خواهد شد که نزدیک به نتایج مطالعه حاضر است (۵۱). هم‌چنین افزایش ذخیره کربن آلی خاک در دوره III (۱۳۵۸-۱۳۹۳) در هر دو سناریو فرسایش و بدون فرسایش (شکل ۳) را می‌توان به عدم چرای دام در مراتع باجگاه در این دوره ارتباط داد. عدم چرای دام موجب افزایش تاج پوشش گیاهی، تجمع بیش‌تر لاشبرگ در سطح زمین، اثر مثبت بر تنوع گیاهی و در نهایت موجب افزایش ذخیره کربن آلی خاک خواهد شد (۴ و ۱۳).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که مدل Century یک مدل مناسب در برآورد ذخیره کربن آلی خاک در مراتع نیمه‌خشک باجگاه است و با توجه به توانایی مدل Century در شبیه‌سازی اثر مدیریت‌ها و اقدامات مختلف اجرایی بر کربن آلی خاک توصیه می‌گردد این مدل بعد از اعتبارسنجی در نواحی مختلف ایران برای درک اثرات مدیریت‌ها و اقدامات مختلف بر کربن خاک به‌کار گرفته شود. نکته دارای

منابع

1. Abril, A., and Bucher, E.H. 2001. Overgrazing and soil carbon dynamics in the western Chaco of Argentina. *Applied Soil Ecology*. 16: 3. 243-249.
2. Abtahi, A., Karimiyan, N., and Solhi, M. 1987. Semi-detailed pedology studies reports Bajgah's region- Province of Fars. Department of Soil Science, Semi-Detailed Report. College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz University. 06.18.1991. (In Persian)
3. Afzali, S.F., Azad, B., Golabi, M.H., and Francaviglia, R. 2019. Using RothC model to simulate soil organic carbon stocks under different climate change scenarios for the rangelands of the arid regions of southern Iran. *Water*. 11: 10. 1-13.
4. Al-Rowaily, S.L., El-Bana, M.I., Al-Bakre, D.A., Assaeed, A.M., Hegazy, A.K., and Ali, M.B. 2015. Effects of open grazing and livestock exclusion on floristic composition and diversity in natural ecosystem of Western Saudi Arabia. *Saudi J. Biol. Sci.* 22: 4. 430-437.
5. 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. Journal*. 7: 20. 71-87. (In Persian)
6. Azad, B., and Afzali, S.F. 2019. Evaluation of two soil carbon models performance using measured data in semi-arid rangelands of Bajgah, Fars province. *Iran. J. Soil Water Res.* 50: 4. 819-835. (In Persian)

7. Bagheri, E. 2010. Estimation of runoff, erosion and sediment by wepp model case study: a study watershed in the western part of agricultural college of Shiraz and subbasin (Khosro-shirin) upstream of mollasadra dam watershed, fars province and comparison with results of mpsiac and answers models. M.Sc. thesis. College of Agriculture, University of Shiraz. (In Persian)
8. Birdsey, R., Heath, I.S., and Williams, D. 2000. Estimation of carbon budget model of the United States forest sector. P 51-59. In: Advances in terrestrial ecosystem carbon inventory, measurements, and monitoring conference in Raleigh, North Carolina, USA.
9. Blake, G.R., and Hartge, K.H. 1986. Bulk density. P 363-376, In: Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods; Soil Science Society of America, American Society of Agronomy; Madison, WI, USA.
10. Borrelliet, P., Paustian, K., Panagos, P., Jones, A., Schütt, B., and Lugato, O. 2016. Effect of good agricultural and environmental conditions on erosion and soil organic carbon balance: A national case study. Land Use Policy. 50: 408-421.
11. Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. Agron. J. 56: 464-465.
12. Cao, J., Wang, X., Sun, X., Zhang, L., and Tian, Y. 2013. Effects of grazing intensity on soil labile organic carbon fractions in a desert steppe area in Inner Mongolia. Springer Plus. 2: 1. 1-8.
13. Chen, Y., Li, Y., Zhao, X., Awada, T., Shang, W., and Han, J. 2012. Effects of grazing exclusion on soil properties and on ecosystem carbon and nitrogen storage in a sandy rangeland of Inner Mongolia, Northern China. Environmental Management. 50: 622-632.
14. Derner, J., and Schuman, G. 2007. Carbon sequestration and rangelands: a synthesis of land management and precipitation effects. J. Soil Water Cons. 62: 2. 77-85.
15. Derner, J.D., Boutton, T.W., and Briske, D.D. 2006. Grazing and ecosystem carbon storage in the North American Great Plains. Plant and Soil. 280: 1. 77-90.
16. Eller, 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. Faghihinia, M., and Afzali, S.F. 2013. Effects of wind erosion on soil organic carbon dynamics and other soil properties: Dejjah catchment, Farashband County, Shiraz Province, Iran. Afric. J. Agric. Res. 8: 4452-4459.
18. Golluscio, R., Austin, A., Martinez, G., Gonzalez, P.M., Sala, O., and Jackson, R. 2009. Sheep grazing decreases carbon and nitrogen pools in the Patagonian Steppe: combination of direct and indirect effects. Ecosystems. 12: 686-697.
19. Harden, J., Sharpe, J., Parton, W., Ojima, D., Fries, T., Huntington, T., and Dabney, S. 1999. Dynamic replacement and loss of soil carbon on eroding cropland. Global Biogeochemical Cycles. 13: 885-901.
20. Jafari, M., Azarnivand, H., Sadeghipour, A., Kamali, N., Heidari, A., and Maddah arefi, H. 2016. Effect of Different Grazing Intensities on Soil Carbon Sequestration and Nitrogen Stabilization (Case Study: Shahriar). J. Range Water. Manage. 69: 2. 427-436. (In Persian)
21. Kamoni, P., Gicheru, P., Wokabi, S., Easter, M., Milne, E., Coleman, K., Falloon, P., Paustian, K., Killian, K., and Kihanda, F. 2007. Evaluation of two soil carbon models using two Kenyan long term experimental datasets. Agriculture, Ecosystems and Environment. 122: 95-104.
22. Khalily, A. 2008. Ecological regions of Iran-vegetation types of Shiraz area. Research Institute of Forests and Rangelands, Technical publication No. 390, 208p. (In Persian)
23. Kirk, P. L. 1950. Kjeldahl method for total nitrogen. Analytical Chemistry. 22: 2. 354-358.

24. Lal, R. 2003. Soil erosion and the global carbon budget. *Environment International*. 29: 437-450.
25. Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*. 123: 1-22.
26. Lal, R., and Pimentel, D. 2008. Soil erosion: a carbon sink or source? *Science*. 319: 1040-1042.
27. Li, Z., Liu, C., Dong, Y., Chang, X., Nie, X., Liu, L., Xiao, H., Lu, Y., and Zeng, G. 2017. Response of soil organic carbon and nitrogen stocks to soil erosion and land use types in the Loess hilly-gully region of China. *Soil and Tillage Research*. 166: 1-9.
28. Martinez-Mena, M., Lopez, J., Almagro, M., Boix-Fayos, C., and Albaladejo, J. 2008. Effect of water erosion and cultivation on the soil carbon stock in a semiarid area of South-East Spain. *Soil and Tillage Research*. 99: 119-129.
29. McSherry, M.E., and Ritchie, M.E. 2013. Effects of grazing on grassland soil carbon: a global review. *Global Change Biology*. 19: 1347-1357.
30. Momtahan, H. 1989. Testing the ANSWERS computer model for forecasting floods and estimating erosion from small agricultural watersheds. M.Sc. thesis. College of Agriculture, University of Shiraz. (In Persian)
31. Moosavi, S.A. 2011. Spatial changes and the impact of water quality on soil hydraulic properties and the development functions artificial transfer and neural networks to estimate it. PhD thesis. College of Agriculture, University of Shiraz. (In Persian)
32. Olson, K.R., Al-Kaisi, M., Lal, R., and Cihacek, L. 2016. Impact of soil erosion on soil organic carbon stocks. *J. Soil Water Cons.* 71: 3. 61-67.
33. Orgill, S.E., Condon, J.R., Conyers, M.K., Morris, S.G., Alcock, D.J., Murphy, B.W., and Greene, R.S.B. 2016. Removing grazing pressure from a native pasture decreases soil organic carbon in southern New South Wales, Australia. *Land Degradation and Development*. 29: 2. 274-283.
34. Papanastasis, V.P., Bautista, S., Chouvardas, D., Mantzanas, K., Papadimitriou, M., Mayor, A.G., Koukioumi, P., Papaioannou, A., and Vallejo, R.V. 2015. Comparative assessment of goods and services provided by grazing regulation and reforestation in degraded mediterranean rangelands. *Land Degradation and Development*. 28: 4. 1178-1187.
35. Parton, W.J., Schimel, D.S., Cole, C., and Ojima, D. 1987. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains grasslands. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 51: 1173-1179.
36. Pei, S., Fu, H., and Wan, C. 2008. Changes in soil properties and vegetation following exclosure and grazing in degraded Alxa desert steppe of Inner Mongolia, China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 124: 33-39.
37. Piñeiro, G., Paruelo, J.M., Oesterheld, M., and Jobbágy, E.G. 2010. Pathways of grazing effects on soil organic carbon and nitrogen. *Rangeland Ecology and Management*. 63: 109-119.
38. Polyakov, V., and Lal, R. 2004. Modeling soil organic matter dynamics as affected by soil water erosion. *Environment International*. 30: 547-556.
39. Pournader, M., Ahmadi, H., Feiznia, S., Karimi, H., and Peirovan, H.R. 2018. Spatial prediction of soil erosion susceptibility: an evaluation of the maximum entropy model. *Earth Science Informatics*. 11: 1-13.
40. Quinton, J.N., Govers, G., Van Oost, K., and Bardgett, R.D. 2010. The impact of agricultural soil erosion on biogeochemical cycling. *Nature Geoscience*. 3: 311-314.
41. Riahi Samani, M., and Raiesi, F. 2014. Soil Organic Carbon Dynamics in Native Rangelands Exposed to Grazing and Ungrazing Management in Rangeland Ecosystems of Central Zagros. *J. Water Soil*. 28: 4. 742-753. (In Persian)
42. Ritchie, M.E. 2014. Plant compensation to grazing and soil carbon dynamics in a tropical grassland. *Peer J*. 2: e233.

43. Roose, E.J., Lal, R., Feller, C., Barthes, B., and Stewart, B.A. 2005. Soil erosion and carbon dynamics. CRC Press. 378p.
44. Sepe, L., Salis, M., Francaviglia, R., Fedrizzi, M., Carroni, A.M., Sabia, E., Bruno, A., Rufrano, D., Ruda, P., Dell'Abate, M.T., Alianello, A., Velocchia, M., Masetti, O., Renzi, G., Fanigliulo, R., Pagano, M., Sperandio, G., Guerrieri, M., Puri, D., and Claps, S. 2015. Environmental effectiveness of the cross compliance Standard 4.6 'Minimum livestock stocking rates and/or appropriate regimens'. *Ital. J. Agron.* 10: 1. 1-9.
45. Shi, X., Wang, H., Yu, D., Weindorf, D.C., Cheng, X., Pan, X., Sun, W., and Chen, J. 2009. Potential for soil carbon sequestration of eroded areas in subtropical China. *Soil and Tillage Research.* 105: 322-327.
46. Shifang, P., Hua, F., and Changgui, W. 2008. Changes in properties and vegetation following exclosure and grazing in degraded Alxa desert steppe of Inner Mongolia, China. *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 124: 33-39.
47. Smith, P., Smith, J., Powlson, D., McGill, W., Arah, J., Chertov, O., Coleman, K., Franko, U., Frolking, S. and Jenkinson, D. 1997. A comparison of the performance of nine soil organic matter models using datasets from seven long-term experiments. *Geoderma.* 81: 153-225.
48. Spargo, J.T., Alley, M.M., Follett, R.F., and Wallace, J.V. 2008. Soil carbon sequestration with continuous no-till management of grain cropping systems in the Virginia coastal plain. *Soil and Tillage Research.* 100: 133-140.
49. Torabi, M. 1995. Application of the GLEAMS model for reduction of runoff, sediment and potential evapotranspiration from agricultural watersheds. M.Sc. thesis. College of Agriculture, University of Shiraz. (In Persian)
50. 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: 1. 33-43.
51. Vanaee, F., Karami, P., Joneydi, J.H., and Nabialahi, K. 2017. Simulation of soil organic carbon dynamic in meadow ecosystems under different management practices using CENTURY model. *Rangeland.* 10: 4. 439-449. (In Persian)
52. Vivanco, L., and Austin, A.T. 2006. Intrinsic effects of species on leaf litter and root decomposition: a comparison of temperate grasses from North and South America. *Oecologia.* 150: 97-107.
53. 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.
54. Wang, Y., Zhou, G., and Binguri, J. 2008. Modeling SOC and NPP responses of meadow steppe to different grazing intensities in Northeast China. *Ecological Modelling.* 217: 72-78.
55. Wilson, C., Papanicolaou, A., and Abaci, O. 2009. SOM dynamics and erosion in an agricultural test field of the Clear Creek, IA watershed. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions.* 6: 1581-1619.
56. Yadav, V. 2008. Soil carbon dynamics in the BIG CREEK basin, southern ILLINOIS USA. Doctoral Thesis, Geography, University of IWOA.
57. Yadav, V., and Malanson, G.P. 2009. Modeling impacts of erosion and deposition on soil organic carbon in the Big Creek Basin of southern Illinois. *Geomorphology.* 106: 304-314.
58. Yong-Zhong, S., Yu-Lin, L., Jian-Yuan, C., and Wen-Zhi, Z. 2005. Influences of continuous grazing and livestock exclusion on soil properties in a degraded sandy grassland, Inner Mongolia, northern China. *Catena.* 59: 267-278.
59. Zhang, X. 2018. Simulating eroded soil organic carbon with the SWAT-C model. *Environmental Modelling and Software.* 102: 39-48.



Simulating soil organic carbon dynamics as affected by different water erosion scenarios and grazing management in semi-arid rangelands of Bajgah using the Century model

B. Azad^{1,2} and *S.F. Afzali³

¹Ph.D. Student, Dept. of Rehabilitation of Arid and Mountainous Regions, University of Tehran, ²M.Sc. Graduate of Desert Regions Management, Dept. of Natural Resources and Environment Engineering, Shiraz University, ³Assistant Prof., Dept. of Natural Resources and Environment Engineering, Shiraz University

Received: 08.26.2018; Accepted: 06.01.2019

Abstract

Background and Objectives: The carbon displacement caused by water erosion stated as an important factor affecting the concentration of CO₂ in the atmosphere. Since evaluating the impact of water erosion on soil organic carbon (SOC) stock dynamic in long-term is difficult without modeling tool and given that rangelands of Iran have taken a large part of the country, modeling the effect of water erosion on SOC dynamics in rangelands can provide appropriate management solutions for related organizations. Therefore, the present study aims to: 1) improve the performance of the Century model as the most widely used model in the soil carbon studies, by using the output of three water erosion models of GLEAMS, WEPP and ANSWERS and 2) simulating the SOC stock dynamic under the influence of two erosion scenarios in the semi-arid rangelands of Bajgah (Southern Iran).

Materials and Methods: After the parameterization and calibrating the Century model the long-term average of water erosion rate simulated by WEPP, GLEAMS and ANSWERS erosion models entered as input in the Century model. Finally, a water erosion model, that its simulated erosion rate improves the validation results of the Century model, was selected and then illustrated the effect of two water erosion scenarios including occurrence of water erosion and non-occurrence of water erosion on the changes of SOC stock for two periods of grazing management including moderate grazing management (period of II/1964-1979) and no grazing management (period of III/1980-2014) in the study region.

Results: The results showed that use of the GLEAMS model output made the Century model with more accurately predict SOC stock and the output of this erosion model was used for simulate the SOC stock variations under the influence of water erosion in the Century model. The simulation results of the Century model showed that in the no-erosion scenario in semi-arid rangelands of Bajgah during the II period with moderate intensity of grazing, the SOC stock trend with a large slope of 3496 g m⁻² in 1964 has fallen to 3260.93 g m⁻² in 1979 and in the III period, with no grazing management, SOC stock with a gradient slope of 355.36 g m⁻² at the end of 2014 has reached. In the water erosion scenario, during the II period, the SOC stock with a large slope of 3496 g m⁻² in 1964 decreased to 3243/90 g m⁻² at the end of 1979 and in the III period, the SOC stock with a gradient slope of 3350.42 g m⁻² at the end of 2014 has reached. The simulation results also showed that the SOC stock in the erosion scenario compared to the no-erosion scenario at the end of periods II and III has decreased by 0.52% and 0.16%, respectively.

Conclusion: Generally, in the semi-arid rangelands of Bajgah, the effect of erosion on the SOC stock was very negligible and grazing management plays an important role in the SOC stock changes.

Keywords: Carbon Sequestration, Global Warming, Soil Carbon Modeling, Soil Organic Carbon Stock, Water Erosion Models

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

