شبیه‌سازی پویایی کربن آلی خاک در اکوسیستم چمنزار تحت شرایط مدیریتی مختلف با استفاده از مدل CENTURY

فاطمه ونائی[۱]، پرویز کرمی*[۲]، حامد جنیدی‌جعفری[۳]، کمال نبی‌الهی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۰۹ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۰۳/۲۰

چکیده

اطلاعات محدودی در مورد تغییرات دراز مدت کربن آلی خاک در اکوسیستم‌های چمنزار در دسترس است. هدف از این مطالعه شبیه‌سازی پویایی کربن آلی خاک چمنزارها به‌منظور راهنمایی برای مدیریت بهتر این اکوسیستم‌ها بود. برای این منظور چمنزارهای دهگلان در استان کردستان در نظر گرفته شد و برای شبیه‌سازی پویایی کربن آلی خاک از مدل CENTURY استفاده گردید. پس از جمع‌آوری ورودی‌های اقلیمی، گیاهی، خاکی و مدیریتی مورد نیاز مدل CENTURY، مدل مورد ارزیابی و تعیین اعتبار شد. برای مدیریت چمنزار، سناریوهای دروی علوفه، چرای سبک، چرای متوسط، چرای سنگین، تبدیل به کشت گندم و تبدیل به کشت یونجه در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که مدل CENTURY مقدار کربن آلی خاک را به‌درستی پیش‌بینی کرده است؛ به‌طوریکه ضریب تبیین خط رگرسیون مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل، ۰/۸۴ و مقدار RMSE کمتر از RMSE0.05 بود. بر اساس شبیه‌سازی کربن آلی خاک در بازه زمانی ۲۰۱۴ الی ۲۱۰۰ تحت سناریوی ۱ (ادامه مدیریت قبلی یعنی درو علوفه) حدود ۱۵ درصد کاهش خواهد یافت. این کاهش کربن آلی خاک در سناریوی ۲ (چرای سبک) تنها در حدود ۲ درصد خواهد بود. کاهش مقدار کربن آلی خاک تحت سناریوی ۳ (چرای متوسط)، ۴ (چرای سنگین)، ۵ (کشت یونجه) و ۶ (کشت گندم) بیشتر بوده به‌طوریکه به‌ترتیب ۲۳، ۲۵، ۴۷ و ۱۰۰ درصد خواهد بود. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که کاربری‌های مختلف، اثرات متفاوتی بر پویایی کربن آلی خاک چمنزارها دارند و چرای سبک به‌عنوان مناسبت‌ترین شیوه بهره‌برداری برای حفظ مقدار کربن آلی خاک و در نتیجه عملکرد مناسب اکوسیستم چمنزار، پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: مدلسازی و شبیه‌سازی، اکوسیستم مرتعی، تغییر کاربری، استان کردستان.

[۱] - دانش آموخته کارشناسی ارشد مرتعداری، دانشکده منابع‌طبیعی، دانشگاه کردستان

[۲] - استادیار دانشکده منابع‌طبیعی، دانشگاه کردستان

*: نویسنده مسئول: pkaram2002@gmail.com

[۳] - استادیار دانشکده منابع‌طبیعی، دانشگاه کردستان

[۴] - استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1395.10.4.6.2]

مقدمه

درک تغییرات درازمدت مواد آلی خاک در سیستم‌های مختلف به‌دلیل اثر مستقیم کربن آلی خاک بر کیفیت خاک، هوا و خدمت به‌عنوان یک مخزن اصلی و منبع ذخیره مواد غذایی گیاهی به‌ویژه نیتروژن، فسفر، گوگرد و پتاسیم ضروری است. نگرانی‌های جهانی اخیر به‌دلیل افزایش کربن دی اکسید جو، که می‌تواند سیستم آب و هوایی زمین را تغییر دهد، منجر به علاقه به افزایش مطالعه تغییرات کربن آلی خاک و ظرفیت ترسیب کربن در اکوسیستم‌های مختلف شده است. افزایش ترسیب کربن خاک یک استراتژی موثر برای کاهش کربن دی‌اکسید اتمسفر و بهبود کیفیت خاک است (۱۲ و ۱۳).

چمنزارها نقش مهمی در کربن‌گیری بازی می‌کنند و حدود ۲۰۰ تا ۴۲۰ میلیارد تن کربن را در کل اکوسیستم‌ها ذخیره می‌کنند. قسمت عمده کربن ذخیره شده توسط چمنزارها، در درون زمین قرار داشته و بنابراین از پایداری بیشتری برخوردار هستند. مقدار کربن در چمنزارها حدود ۷۰ تن در هکتار است که حدوداً معادل آن مقداری است که در جنگل‌ها ذخیره می‌شود (۲۹). اکوسیستم‌های چمنزار در کنترل فرسایش خاک، تثبیت گرد و غبار و کنترل سیل شهری بسیار مهم هستند. این مراتع به‌عنوان سینک‌های کربن عمل می‌کنند، در نتیجه ترسیب کربن، کربن دی اکسید آزاد را جذب می‌کنند. پیش از این پژوهش‌هایی در این زمینه انجام شده است اما با این وجود پژوهش‌های بیشتری برای مقایسه ترسیب کربن تحت شرایط مختلف مدیریتی چمنزارها مورد نیاز است. فرآیندهایی که در آن ترسیب کربن توسط چمنزار صورت می‌گیرد، نیاز به درک بهتر نقش انتخاب گونه گیاهی و مدیریت دارد. تغییر کربن آلی در خاک یک فرایند کند است و به سال‌ها و دهه‌ها برای اندازه‌گیری و ارزیابی تغییرات آن تحت تاثیر شیوه‌های مدیریتی نیاز دارد. بنابراین، ارزیابی گزینه‌های مختلف مدیریت نسبت به ترسیب کربن، مشکل نمونه‌گیری و اندازه‌گیری محتوای کربن آلی خاک و اجزاء کربن در طول زمان انجام شده است.

مدلسازی اجازه پیش‌بینی قابل توجهی به بینش پویایی اکوسیستم می‌دهد. تعدادی از مدل‌های کامپیوتری برای ارزیابی پویایی کربن آلی خاک در دسترس هستند. مدل CENTURY مدلی است که برای ارزیابی پویایی کربن در دشت‌های مراتع بزرگ (۲۲) توسعه داده شد. مدل CENTURY مدلی چند بخشی از اکوسیستم است که جهت شبیه‌سازی تغییرات دراز مدت کربن و نیتروژن آلی خاک، چرخه عناصر و تولید گیاهی برای اکوسیستم های علفزار دشت‌های وسیع آمریکا[1] تهیه شده است (۲۲). مدل مذکور به طور موفقیت‌آمیزی در انواع اکوسیستم‌ها در مناطق مختلف جهان به‌کار گرفته شده است (۱۱، ۲۰، ۲۱). این مدل با مرحله زمانی یک ماهه عمل می‌کند و برای شبیه‌سازی تغییرات کربن و سایر پارامترهای اکوسیستم در عکس‌العمل به تغییرات اقلیم، کاربری زمین و مدیریت در فاز زمانی میان مدت و طولانی مدت مناسب است (۱۷).

تائو و همکاران (۲۰۱۲) برای مقایسه پیش‌بینی‌های بلند مدت پویایی کربن آلی خاک تحت سیستم‌های مختلف مدیریت زراعی از مدل K و CENTURY استفاده کردند. هدف از این مطالعه ارزیابی عملکرد پیش‌بینی‌های کربن آلی خاک با مدل K در مقایسه با پیش‌بینی‌های آن با مدل CENTURY بود. از نظر آماری تفاوت معنی‌داری بین اندازه‌گیری و نتایج مدل‌ها وجود نداشت. کرمی (۲۰۱۱) برای شبیه‌سازی عملکرد اکوسیستم‌های مرتعی در غرب ایران از مدل CENTURY استفاده کرد. در این مطالعه که در مراتع سارال واقع در استان کردستان انجام شد، تولید، پویایی کربن آلی و نیتروژن شبیه‌سازی گردید و نتایج مطالعه ایشان نشان داد که مدل CENTURY قادر است به درستی مقادیر فاکتورهای فوق‌الذکر را شبیه‌سازی کند.

چمنزارهای استان کردستان به‌صورت چرای مستقیم دام و درو علوفه مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند و در سالیان اخیر بخش عظیمی از آنها تغییر کاربری داده شده‌اند و به زراعت گندم و یا یونجه تبدیل شده‌اند؛ لذا این مطالعه به منظور شبیه‌سازی بلند مدت پویایی کربن آلی خاک در اکوسیستم چمنزار با استفاده از مدل CENTURY، مقایسه سناریوهای مختلف مدیریتی و انتخاب مناسب ترین سناریو برای مدیریت بهتر اکوسیستم چمنزار است.

[1] - U.S. Great Plains

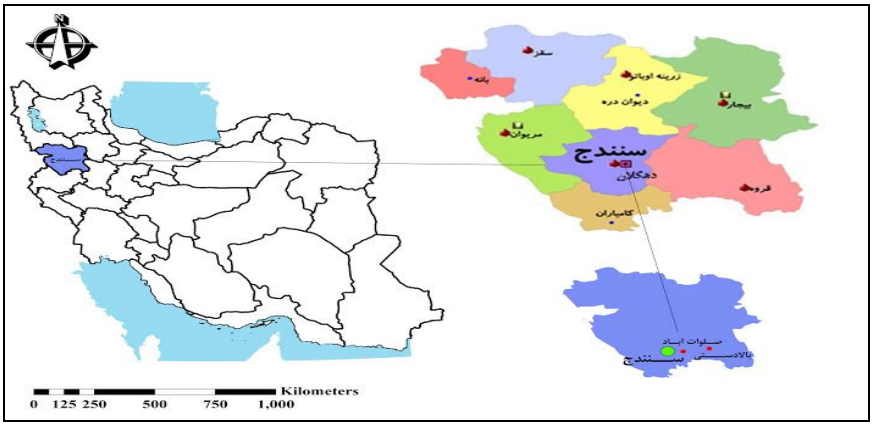
[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1395.10.4.6.2]

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محل اجرای این تحقیق بخش‌هایی از چمنزارهای شهرستان دهگلان در استان کردستان واقع در ۴۰ کیلومتری ضلع شرقی شهر سنندج و در محـــدوده طول جغرافیایی ″۲۶ ′۱۸ °۴۷ تا ″۰۷ ′۲۷ °۴۷ و عرض جغرافیایـــی ″۵۷ ′۲۵ °۳۵ تا ″۱۲ ′۲۵ °۳۵ قرار گرفته است. بیشترین و کمترین ارتفاع منطقه به‌ترتیب ۱۷۹۶ و ۲۲۱۰ متر از سطح دریا و ارتفاع متوسط منطقه ۱۸۰۰ متر از سطح دریا می‌باشد. طبقه شیب بین ۰ تا ۵ درصد است و براساس روش دومارتن آب و هوای منطقه در تیپ مدیترانه‌ای می‌باشد. میزان متوسط نزولات آسمانی این منطقه ۴۴۰ میلی‌متر می‌باشد که عمدتاً در این تیپ آب و هوایی به‌صورت برف و در فصل زمستان بارش می‌نماید. میانگین دمای سالانه ۱۰ درجه سانتی‌گراد است. گروه هیدرولوژیک خاک A و رده خاک منطقه اینسپتی سول می‌باشد. در این منطقه دو چمنزار نزدیک به یکدیگر تحت عنوان چمنزار ۱ و ۲ برای نمونه‌گیری انتخاب گردید. نقشه منطقه مورد مطالعه و موقعیت آن در ایران و استان کردستان در شکل ۱ قابل مشاهده است.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه و موقعیت آن در ایران و استان کردستان

روش نمونه‌گیری

در چمنزارهای مورد مطالعه، یعنی روستای بلدستی در شهرستان دهگلان و صلوات آباد مناطق معرف انتخاب شدند. نمونه‌گیری از دو بخش پوشش گیاهی و خاک به روش تصادفی- سیستماتیک در اواخر فصل رویش صورت گرفت و با استفاده از روش آماری (۱۶) تعداد نمونه مورد نیاز تعیین شد و سپس ترانسکت‌هایی به‌صورت تصادفی- سیستماتیک مستقر شدند. در داخل هر ترانسکت تعداد ۱۰ پلات ۰/۲۵ متر مربعی جهت اندازه‌گیری تولید پوشش گیاهی برداشت شد. همچنین ۱۰ نمونه مرکب خاک (ترکیب تعداد ۳ نمونه تصادفی در هر ترانسکت) جهت آنالیز فیزیک و شیمیایی خاک در نظر گرفته‌شد.

آزمایش‌های مربوط به تجزیه خاک و گیاه در دانشکده منابع طبیعی دانشگاه کردستان انجام شد و پارامترهای مورد نیاز مدل استخراج گردید. اطلاعات مربوط به آب و هوا برای شبیه‌سازی از ایستگاه هواشناسی شهرستان دهگلان به دست آمد. از آنجا که داده آب و هوایی برای یک دوره طولانی مدت در دسترس نیست، اطلاعات آب و هوا بین سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۱ مورد استفاده قرار داده شد.

توصیف مدل

شرح مفصلی از مدل CENTURY توسط پارتن و همکاران ارائه شده است (۱۹۸۷، ۱۹۹۳). به طور خلاصه، ماده آلی تازه مانند مواد گیاهی، بر اساس نسبت لیگنین به نیتروژن به دو منبع ساختاری و متابولیکی تقسیم شده است. مواد آلی خاک به سه منبع فعال، کند و غیرفعال تقسیم شده است. منبع فعال نشان‌دهنده مواد تجزیه و تثبیت شده با سریع‌ترین میزان گردش، منبع کربن آلی خاک کند نشان‌دهنده مواد تجزیه و تثبیت شده با میزان

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1395.10.4.6.2]

گردش متوسط و منبع غیرفعال نشان‌دهنده کربن آلی خاک با میزان گردش از صدها تا هزاران سال است.

این مدل پویایی کربن، نیتروژن، فسفر و گوگرد را برای یک دوره یکساله تا هزاران ساله در سیستم‌های علفزار، کشاورزی، جنگل و ساوانا شبیه‌سازی می‌کند و خود از چند زیر مدل شامل: ۱- زیر مدل مواد آلی خاک، ۲- زیر مدل نیتروژن، ۳- زیر مدل فسفر، ۴- زیر مدل گوگرد و ۵- زیر مدل‌های تولید گیاهی شامل: (الف) زیر مدل محصول (کشت)/ مرتع، (ب) زیر مدل جنگل و (ج) زیر مدل ساوانا، تشکیل شده است.

متغیرهای ورودی برای مدل CENTURY عبارتند از: بافت خاک (درصد شن، سیلت و رس خاک)، متوسط حداکثر و حداقل دمای هوای ماهانه، بارش ماهانه (حداقل یک دوره ۱۰ ساله)، محتوای لیگنین گیاه، نسبت کربن به نیتروژن بافت گیاهی و کربن به نیتروژن خاک و نیتروژن ورودی خاک از طریق کوددهی و ته‌نشست رسوب اتمسفر (۲۱ و ۲۲). تعداد خروجی‌های مدل CENTURY زیاد می‌باشند. به‌طور خلاصه می‌توان آن‌ها را به‌صورت زیر دسته‌بندی نمود: متغیرهای خروجی CO_2، متغیرهای خروجی علفزار/ کشت، متغیرهای خروجی جنگل، متغیرهای خروجی نیتروژن، متغیرهای خروجی فسفر، متغیرهای خروجی خاک، متغیرهای خروجی گوگرد و متغیرهای خروجی دما و آب. در این مطالعه نسخه ۴ مدل برای شبیه‌سازی کربن آلی خاک چمنزار مورد استفاده قرار گرفت.

پارامتریابی مدل

برای پارامتریابی مدل CENTURY به تهیه فایل‌های ۱) پارامترهای اقلیمی[1] ۲) پارامترهای سایت و کنترل شبیه‌سازی[2]، ۳) پارامترهای ورودی عناصر بیرونی[3]، ۴) پارامترهای اولیه ماده آلی[4]، ۵) پارامترهای فیزیولوژیکی و اکولوژیکی پوشش گیاهی[5] اقدام گردید.

۱) **پارامترهای اقلیمی**: با استفاده از آمار ۱۴ ساله (۲۰۱۱- ۱۹۹۸ میلادی) ایستگاه هواشناسی دهگلان میانگین بارندگی ماهانه (بر حسب میلی‌متر)، انحراف معیار بارندگی ماهانه، چولگی بارندگی ماهانه، میانگین دمای حداقل‌ها و حداکثرهای ماهانه (بر حسب درجه سانتی‌گراد) محاسبه گردید.

۲) **پارامترهای سایت و کنترل شبیه‌سازی**: طول و عرض جغرافیایی، درصد شن، سیلت و رس خاک، جرم حجمی ظاهری خاک[6]، pH خاک، نقطه پژمردگی و ظرفیت مزرعه تعیین گردید.

۳) **پارامترهای ورودی عناصر بیرونی**: این پارامترها با استفاده از داده‌های مترل و همکاران (۱۹۹۳) تعیین شدند.

۴) **پارامترهای اولیه ماده آلی**: با استفاده از نتایج اندازه‌گیری‌های میدانی و آزمایشگاهی این تحقیق تعیین شد.

۵) **پارامترهای فیزیولوژیکی و اکولوژیکی پوشش گیاهی:** با توجه به اینکه پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه از نوع گیاهان C_3 می‌باشد و پارامترهای مورد نیاز مدل برای گیاهان C_3 موجود است (۱۹)، در این مطالعه از همان مقادیر استفاده شد.

ارزیابی مدل

در این مطالعه برای مقایسه انحراف مقادیر شبیه‌سازی شده از مشاهده شده، از رگرسیون خطی و خط ۱:۱ و برای تعیین دقت کلی مدل از جذر میانگین مربعات خطا استفاده شد. سلطانی و همکاران (۲۰۰۵) به نقل از هامر و موچو (۱۹۹۴) بیان می‌دارند که شرط به کارگیری مدل‌ها برای پیش‌بینی عملکرد این است که مقدار R^2 (ضریب تبیین) باید بیشتر از ۶۰ درصد باشد. طبق نظر اسمیت و همکاران (۱۹۹۶) وقتی که RMSE از $RMSE_{0.05}$ کمتر باشد از لحاظ آماری داده‌های مشاهده شده با شبیه‌سازی شده اختلاف معنی‌داری ندارند.

کاربرد مدل و شبیه‌سازی سناریوها

برای مدیریت‌های مختلف اکوسیستم مرتعی منطقه دهگلان در استان کردستان شامل چمنزار ۱ و چمنزار ۲ شبیه‌سازی انجام شده است. برای ایجاد حالت تعادل در

[1]. Climate parameters
[2]. Site and control parameters
[3]. External nutrient input parameters
[4]. Organic matter initial parameters
[5]. Mineral initial parameters
[6]. Soil bulk density

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1395.10.4.6.2]

اکوسیستم، مدل برای دوره زمانی حدود ۱۰۰۰۰ ساله اجرا گردید. دوره‌های مدیریت مرتع در ایران به سه دوره یعنی دوره قبل از ملی شدن جنگل‌ها و مراتع، از دوره ملی شدن جنگل‌ها و مراتع تا انقلاب اسلامی و دوره بعد از انقلاب اسلامی طبقه‌بندی می‌شود. طبق منابع علمی موجود و مصاحبه با افراد بومی و کارشناسان محلی، فشار چرای دام بر چمنزار در هر یک از این دوره‌ها متفاوت بوده است. تا حدود سال ۱۹۶۳ یعنی مصادف با ملی شدن جنگل‌ها و مراتع فشار چرا سبک، از سال ۱۹۶۳ تا ۱۹۷۹ فشار چرا سنگین و از سال۱۹۸۰ تا ۲۰۱۳ میلادی در تیرماه علوفه چمنزار درو و برداشت شده است. براین اساس برنامه مدیریتی برای سایت‌های مورد مطالعه در فایل‌های مربوطه تهیه و مدل اجرا شد و شبیه‌سازی انجام گرفت. انواع سناریوهای در نظر گرفته شده برای سایت مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- سناریوهای در نظر گرفته شده برای مدیریت چمنزارهای منطقه مورد مطالعه

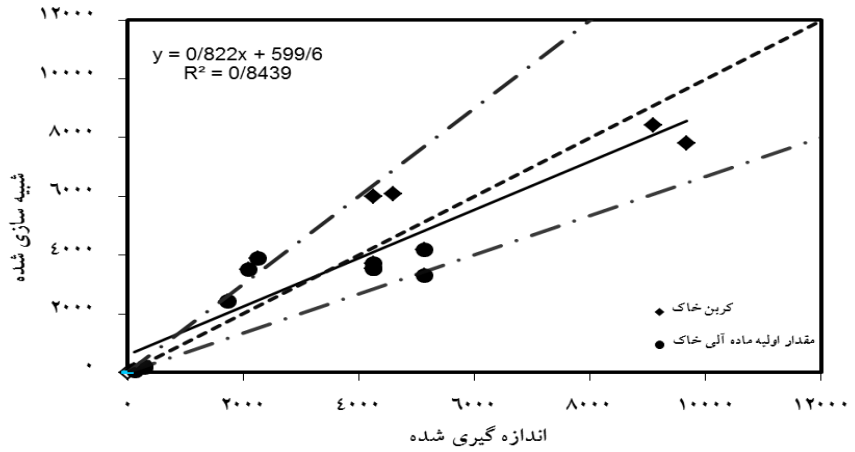
دوره	مدیریت	سناریو
تا سال ۱۹۶۳	چرای خیلی سبک در پایان تابستان	
از سال ۱۹۶۳ الی ۱۹۷۹	چرای سبک از اردیبهشت تا مرداد ماه	
از سال ۱۹۸۰ الی ۲۰۱۳	دروی علوفه در تیر ماه	
از سال ۲۰۱۴ الی ۲۱۰۰	دروی علوفه در تیر ماه	سناریوی ۱
از سال ۲۰۱۴ الی ۲۱۰۰	چرای سبک از اردیبهشت تا مرداد ماه	سناریوی ۲
از سال ۲۰۱۴ الی ۲۱۰۰	چرای متوسط از اردیبهشت تا مرداد ماه	سناریوی ۳
از سال ۲۰۱۴ الی ۲۱۰۰	چرای سنگین از اردیبهشت تا مرداد ماه	سناریوی ۴
از سال ۲۰۱۴ الی ۲۱۰۰	تبدیل چمنزار به کشت یونجه	سناریوی ۵
از سال ۲۰۱۴ الی ۲۱۰۰	تبدیل چمنزار به کشت گندم	سناریوی ۶

نتایج

نتایج ارزیابی مدل

در شکل ۲ مقادیر شبیه‌سازی شده مؤلفه‌های خاک توسط مدل CENTURY و اندازه‌گیری شده با یکدیگر مقایسه شده‌اند. همچنین در این شکل خط ۱:۱، خط رگرسیون مؤلفه‌های شبیه‌سازی شده روی مؤلفه‌های خاکی اندازه‌گیری شده و حدود اطمینان خط رگرسیون آورده شده‌اند.

بررسی شکل ۲ نشان می‌دهد که خط رگرسیون در محدوده اطمینان خط۱:۱ قرار گرفته است و تقریباً تمام نقاط در محدوده حدود اطمینان خط ۱:۱ قرار گرفته‌اند. مقدار R^2 (ضریب تبیین) ۸۴ درصد است.



شکل ۲- مؤلفه‌های خاکی شبیه‌سازی شده توسط مدل CENTURY در مقابل مقادیر اندازه‌گیری شده آن‌ها، خط پر معادله رگرسیون، خط‌چین وسط، خط ۱:۱ و خطوط نقطه چین، حدود اطمینان خط رگرسیون هستند.

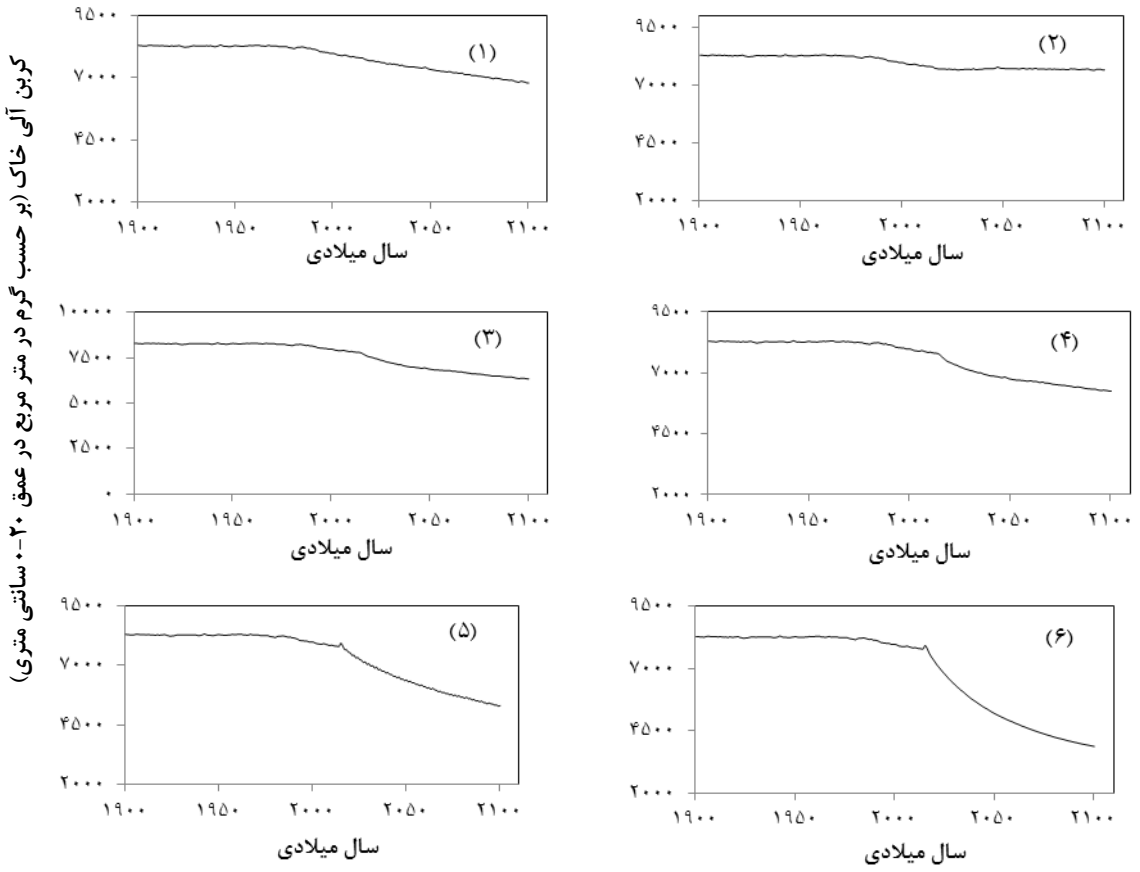
[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1395.10.4.6.2]

در جدول ۲ تفاوت بین مقدار کربن خاک شبیه‌سازی شده توسط مدل CEYNTUR و اندازه‌گیری شده و نتایج مقایسات آماری آن برای هر یک از سایت‌های مورد مطالعه به تفکیک آمده است. کمترین و بیشترین درصد اختلاف بین کربن شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده به ترتیب مربوط به سایت چمنزار ۲ و سایت چمنزار ۱ است. مدل مقدار کربن چمنزار ۲ را حدود ۷/۵۲ درصد و کربن سایت چمنزار ۱ را حدود ۱۵/۴۰ درصد کمتر از مقدار اندازه‌گیری شده، برآورد کرده است. با توجه به مقدار RMSE که کمتر از RMSE0.05 می‌باشد، از لحاظ آماری می‌توان نتیجه گرفت که بین مقادیر مؤلفه‌های خاکی شبیه‌سازی شده توسط مدل و اندازه‌گیری شده اختلاف معنی‌داری وجود ندارد و کارآیی مدل در برآورد مؤلفه‌های خاکی چمنزار رضایت‌بخش است.

جدول ۲ - درصد اختلاف بین مؤلفه خاکی شبیه‌سازی شده توسط مدل CENTURY و اندازه‌گیری شده

مؤلفه	سایت	شبیه‌سازی شده	اندازه‌گیری شده	درصد اختلاف
کربن (g/m^2)	چمنزار ۱	۷۸۰۲	۹۶۸۰	-۱۹/۴۰
کربن (g/m^2)	چمنزار ۲	۸۴۱۳	۹۰۹۷	-۷/۵۲
RMSE =۷/۷۱			RMSE0.05=۱۷/۷۳	

نتایج شبیه‌سازی‌ها: نتایج شبیه‌سازی کربن آلی خاک در چمنزار مورد مطالعه تحت سناریوهای تعریف شده برای دوره زمانی سال ۲۱۰۰- ۱۹۰۰ میلادی در شکل ۳ آورده شده است.



شکل ۳- کربن آلی خاک شبیه‌سازی شده توسط مدل CENTURY برای سایت چمنزار، اعداد داخل پرانتز شماره سناریوهای جدول ۱ می‌باشند.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1395.10.4.6.2]

بر اساس پیش‌بینی های مدل در شکل ۳، از سال ۱۹۰۰ تا ۱۹۶۳ تغییر محسوسی در مقدار کربن آلی خاک ملاحظه نمی‌شود (حدود ۰/۳ درصد). در اثر افزایش اندک چرای دام در سایت مورد مطالعه در فاصله زمانی سال ۱۹۶۴ الی ۱۹۷۹ میزان کربن آلی خاک حدود یک درصد کاهش نشان داده است. از سال ۱۹۸۰ تا سال ۲۰۱۳ در اثر درو و برداشت علوفه حدود ۶ درصد کربن آلی خاک کاهش یافته است. کربن آلی خاک در بازه زمانی ۲۰۱۴ الی ۲۱۰۰ تحت سناریوی ۱ (ادامه مدیریت قبلی یعنی درو علوفه) حدود ۱۵ درصد کاهش خواهد یافت. این کاهش کربن آلی خاک در سناریوی ۲ (چرای سبک) تنها در حدود ۲ درصد خواهد بود. کاهش مقادیر کربن آلی خاک تحت سناریوی ۳ (چرای متوسط)، ۴ (چرای سنگین)، ۵ (کشت یونجه) و ۶ (کشت گندم) بیشتر بوده بطوریکه به ترتیب ۲۳، ۲۵، ۴۷ و ۱۰۰ درصد خواهد بود.

بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه کارآیی مدل CENTURY برای برآورد و شبیه‌سازی کربن آلی خاک چمنزار بررسی شد. نتایج نشان داد که مدل CENTURY مقدار کربن آلی خاک را به‌درستی پیش‌بینی کرده است؛ به‌طوریکه ضریب تبیین خط رگرسیون مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل ۰/۸۴ بود (شکل ۲). این نتیجه با نتایج دیگر مطالعات مبنی بر رضایت‌بخش بودن پیش‌بینی‌های مدل CENTURY در خصوص کربن آلی خاک همخوانی دارد. مقدار ضریب تبیین خط رگرسیون در مطالعه گیلمانوف و همکاران (۱۹۹۷) در ۸ سایت علفزار در طیف وسیعی از گرادیان محیطی از استپ‌های مرطوب و انبوه با تولید بالا تا استپ‌های مرکز آسیا و علفزارهای یکساله خشک در آسیای میانه از ۰/۴۱ تا ۰/۹۸، در مطالعه ژانگ و همکاران (۲۰۰۷)، ۰/۸۵، در مطالعه باتاچاریا و همکاران (۲۰۰۷) ۰/۷۱، اولبرمن و ورونی[۷] (۲۰۱۱) ۰/۸۲ تا ۰/۹۴ و در مطالعه کرمی (۲۰۱۱) ۰/۷۵ تا ۰/۹۸ بوده است.

مواد آلی به علت اثرات سازنده‌ای که بر خصوصیات فیزیکی (پایداری خاکدانه‌ها)، شیمیایی (افزایش ظرفیت نگهداری عنصری) و بیولوژیکی (اکتیویته بیوماس میکروبی) دارد، به‌عنوان رکن باروری خاک شناخته شده است. مقامی مقیم و همکاران (۲۰۱۳) به نقل از دوران (۱۹۸۷) بیان می‌دارند که در کنار عوامل طبیعی، تغییر کاربری اراضی از حالت طبیعی مرتعی به کشاورزی معمولاً باعث افت مقدار کربن آلی خاک می‌شود. استفاده از سیستم‌های مختلف خاکورزی، پس از تغییر ناآگاهانه و غیرعلمی کاربری این اراضی، تأثیرات نامطلوبی را به دنبال دارد. برگرداندن و خرد کردن توده خاک توسط شخم و شیار، سبب تسریع در تجزیه ماده آلی خاک شده و سایر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی آن و لذا کیفیت پویای خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. آگولار و همکاران (۱۹۸۸) نیز مهم‌ترین عاملی که باعث کاهش مقدار ماده‌آلی در زمین زراعی می‌شود، کشت و کار است. زیرا طی عملیات شخم‌زدن، تجزیه مواد آلی خاک افزایش می‌یابد. معدنی‌شدن کربن و آزادسازی گاز کربن دی‌اکسید باعث می‌شود که کربن‌آلی از سولوم خاک خارج شود. تشدید فرسایش در مناطق زراعی، از دیگر عوامل کاهش ماده‌آلی خاک می‌باشد. در اثر تغییر کاربری اراضی، میزان فرسایش خاک زیاد شده و ماده آلی که درصد بالایی کربن دارد با خاک سطحی منتقل می‌شود. همچنین در طی عملیات خاک‌ورزی لایه‌های پایین خاک که درصد کربن‌آلی کمتری دارند با خاک سطحی که درصد بالاتری کربن دارد با هم مخلوط شده و در نتیجه کربن‌آلی خاک سطحی نسبت به حالت اولیه کاهش می‌یابد. در این مطالعه مدل CENTURY اثر تغییر کاربری بر مقدار کربن آلی خاک را به خوبی شبیه‌سازی نموده است و کاهش مقدار کربن آلی خاک در اثر تغییر کاربری چمنزار طبیعی به کشت گندم دیم و کشت یونجه را در سناریوهای ۵ و ۶ نشان داده است که با نتایج سایر مطالعات در این زمینه کاملاً منطبق است. لمینه و همکاران (۲۰۰۵)، آبرا و بلاچیو (۲۰۱۱) و همچنین مرینو و همکاران (۲۰۰۴) در مطالعه‌هایشان نشان دادند که تبدیل مراتع به زمین‌های کشاورزی، باعث کاهش چشمگیر ماده آلی خاک می‌شود. کربن به صورت مواد آلی در خاک ذخیره می‌شود اما این

[1]. Oelbermann and Voroney

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1395.10.4.6.2]

ذخایر توسط عملیات زراعی و کشت تحت تأثیر قرار می‌گیرد. وقتی زمین‌های مرتعی زیر کشت برده می‌شوند مقدار کربن‌آلی خاک شروع به کاهش می‌کند و این کاهش بستگی به عوامل اقلیمی، نوع کشت و شدت کشت و زرع دارد. با بررسی سناریوهای ۵ (کشت یونجه) و ۶ (کشت گندم) می‌توان نتیجه گرفت که تبدیل چمنزار به کشت یونجه در مقایسه با تبدیل به کشت گندم، کاهش کمتری در کربن‌آلی خاک را سبب خواهد شد. چنین پیش‌بینی و نتیجه‌ای با نتایج مقامی مقیم و همکاران (۲۰۱۳) مبنی بر تأثیر منفی کمتر تبدیل مرتع به کشت یونجه در مقایسه با کشت گندم، همخوانی دارد.

همان‌طورکه ذکر شد تبدیل مراتع به زمین‌های کشاورزی باعث کاهش کربن آلی خاک شده است. کاهش کربن آلی خاک باعث تنزل شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی دیگر خاک می‌شود. نتیجه کلی اینکه استفاده از این منابع بایستی با کلیه پدیده‌ها و قوانین طبیعت که برای حفظ و بقای آن‌ها است، هم‌خوانی داشته‌باشد. در صورت بی‌توجهی به چنین قوانین و پدیده‌هایی، پس از مدت کوتاهی نه تنها عملکرد کاهش می‌یابد، که در نهایت برای مدت‌های طولانی منابع طبیعی بهره‌دهی خود را برای بشر از دست خواهند داد.

کرمی (۲۰۱۱) به نقل از سایر محققین (ریدر و شام[8]، ۲۰۰۲؛ ریدر و شام[9]، ۲۰۰۲؛ درنر[10] و همکاران، ۱۹۷۷؛ شومن[11] و همکاران، ۱۹۹۹؛ فرانک[12] و همکاران، ۱۹۹۵؛ جاستین[13] و همکاران، ۲۰۰۷) بیان داشت چرای دام یکی از استفاده‌های رایج در اکوسیستم‌های مرتعی دنیاست و پتانسیل تغییر قابل توجهی در ذخیره کربن این اکوسیستم‌ها دارد. هنوز اثرات چرا بر فرایندهای اکوسیستم که توزیع کربن و چرخه آنرا کنترل می‌کند به طور کافی مورد ارزیابی قرار نگرفته است (۲۴). مطالعات به‌طور واضح و روشن ارتباط بین مدیریت چرا و ترسیب کربن را روشن ننموده‌اند. تعدادی از این مطالعات عدم تأثیر چرا بر کربن آلی خاک را گزارش نموده‌اند (۴)، در حالیکه تعدادی دیگر افزایش ماده آلی خاک را گزارش کرده‌اند (۲۵) و تعدادی نیز کاهش آنرا گزارش داده‌اند (۶). در مطالعه حاضر مدل CENTURY، کاهش مقدار کربن آلی خاک را در اثر چرای دام، در اکوسیستم چمنزار را پیش‌بینی کرد؛ به‌طوری که این کاهش به شدت چرای دام بستگی داشته است. مدل CENTURY در سناریوی شماره ۲ (چرای سبک) کمترین اثر و سناریوی ۴ (چرای سنگین) بیشترین اثر را در کاهش مقدار کربن آلی خاک نشان داده است که با نتایج مطالعه (۶) مطابقت دارد. کاهش مقدار کربن آلی خاک در اثر چرای دام را می‌توان چنین تفسیر نموده که در اثر چرای دام، بخصوص وقتی که سنگین باشد، بخش اعظم ماده آلی گیاهی که در اصل ورودی ماده آلی به خاک محسوب می‌شود، برداشت شده و به خارج از چمنزار انتقال می یابد و ورودی ماده آلی به خاک کاهش یافته و در نتیجه در دراز مدت باعث افت کربن آلی خاک خواهد شد. اختلاف در عکس‌العمل کربن اکوسیستم به چرا در نتیجه اختلاف یا تفاوت در اقلیم، ویژگی‌های ذاتی خاک، موقعیت چشم‌انداز[14]، ترکیب جامعه گیاهی و شیوه‌های مدیریت چرا در مطالعات گزارش شده، می‌باشد (۹).

یکی دیگر از استفاده‌های رایج در اکوسیستم‌های چمنزار، برداشت علوفه یا درو می‌باشد که اثر آن بر کربن آلی خاک در سناریوی شماره ۱ شبیه‌سازی شد. همان طور که مشاهده گردید درو علوفه نیز با عث کاهش کربن آلی خاک خواهد. در مقایسه با اثر چرای دام، می‌توان بیان نمود که درو علوفه کربن آلی خاک را نسبت به چرای سبک بیشتر کاهش خواهد ولی اثر منفی آن بر کاهش کربن آلی خاک کمتر از چرای متوسط و سنگین است. چنین نتیجه‌ای را می‌توان این طور توجیه نمود که با درو علوفه و خروج آن از سیستم، مقدار ورودی بقایای مواد آلی گیاهی به خاک کمتر خواهد شد و در نتیجه در درازت مدت باعث کاهش کربن آلی خاک خواهد شد. به دلیل اینکه بعد از درو علوفه رشد مجدد گیاه و تولید ماده آلی گیاهی جدید که بعد از مرگ گیاه دوباره به خاک بر خواهد گشت، در مقایسه با چرای متوسط و سنگین کمتر باعث افت و کاهش کربن آلی خاک خواهد شد. چنین

[8]. Reeder and Schman
[9]. Reeder and Schman
[10]. Derner
[11]. Sshuman
[12]. Frank
[13]. Justin
[14]. Landscape

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1395.10.4.6.2]

نتیجه‌ای مبنی بر اثر برداشت مواد گیاهی بر کاهش کربن آلی خاک با نتایج تحقیق کرمی (۲۰۱۱) و کیان و همکاران (۲۰۰۳) مطابقت دارد.

در جمع‌بندی نتایج این تحقیق می‌توان چنین بیان کرد که کاربری‌های مختلف اثرات متفاوتی بر پویایی کربن آلی خاک خواهد داشت. تغییر کاربری و تبدیل چمنزار به زراعت گندم دیم، تغییر کاربری و تبدیل چمنزار به زراعت یونجه، چرای سنگین، چرای متوسط، درو و برداشت علوفه به‌ترتیب بیشترین اثر منفی را بر کاهش کربن آلی خاک خواهد داشت. در دراز مدت چرای سبک اثر ناچیزی بر کاهش کربن آلی خاک دارد. بنابراین با توجه به اهمیت چمنزارها و نقش کربن آلی خاک که در مقدمه بیان شد، برای حفظ بهتر کربن آلی خاک و در نتیجه حفظ عملکرد این اکوسیستم‌ها، چرای سبک به عنوان مناسب‌ترین شیوه بهره‌برداری پیشنهاد می‌گردد.

References

1. Abera, Y., & T. Belachew, 2011. Effects of land use on soil organic carbon and Nitrogen in soils of bale, southeastern Ethiopia. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 14: 229 – 235.
2. Aguilar, R., & E.F. Kelly, 1998. Effects of cultivation of soils in northern Great Plains rangeland. Soil Sci.Soc.Am.J, 52:1081-1085.
3. Bhattacharyya, T., D.K. Pal., M. Easter., S. Williams., K. Paustian., E. Milne., P. Chandran., S.K. Ray., C. Mandal., K. Coleman., P. Falloon., D. Powlson. & K.S. Gajbhiye, 2007. Evaluating the Century C model using long-term fertilizer trials in the Indo-Gangetic Plains, India. Agriculture, Ecosystems and Environment, 122: 73–83.
4. Derner, J.D., D.D. Briske & T.W. Boutton, 1997. Does grazing mediated soil carbon and nitrogen accumulation beneath C4 perennial grasses along an environmental gradient? Plant Soil, 191: 147-156.
5. Doran, J.W., 1987. Microbial biomass and mineralizable nitrogen distribution in no-tillage and plowed soils. Biol. Fertile. Soil J. 5: 68-75
6. Frank, A.B., D.L. Tanaka., L. Hoffmann & R.F. Follett, 1995. Soil carbon and nitrogen of Northern Great Plains grasslands as influenced by long-term grazing. J. Range Manage, 48: 470-474.
7. Gilmanov, T.G., W.J. Parton, & D.S. Ojima, 1997. Testing the CENTURY ecosystem level model on data sets from eight grassland sites in the former USSR representing wide climatic/soil gradient. Ecological Modeling, 96: 191-210
8. Hammer, G.L., & R.C. Muchow, 1994. Assessing climatic risk to sorghum production in water limited subtropical environment: I. Development and testing of assimilation model. Field Crops Res, 36: 221-234.
9. Justin, D.D., W.B. Thomas & D.B. David, 2006. Grazing and ecosystem carbon storage in the North American Great Plains. Plant and Soil, 280: 77-90.
10. Karami. P., 2011. Simulation of rangeland ecosystems of west Iran using the CENTURY model (Case study: Saral region of Kurdistan). Ph.D. theses, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. 104 p (In Persian).
11. Kelly, R.H., W.J. Parton., G.J. Crocker, P.R. Grace., M. Kschens., P.R. Poulton & D.D. Richter, 1997. Simulating trends in soil organic carbon in long-term experiments using the Century model. Geoderma, 81:75-90.
12. Lal, R., J.M. Kimble, R.F. Follett & C.V. Cole, 1998. The Potential of U.S. cropland to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. Ann Arbor Press, Chelsea, MI.
13. Lal, R., R.F. Follett., J.M. Kimble & C.V. Cole, 1999. Management of U.S. cropland to sequester carbon in soil. J. Soil Water Conserv, 54:374–381.
14. Lemenih, M., E. Karltun & M. Olsson, 2005. Assessing soil chemical and physical property responses to deforestation and subsequent cultivation in smallholders farming system in Ethiopia. Ecosystems and environment, 105: 373-386.
15. Maghami Moghim, F., A. Karimi., G.H. Haghniya & A. Dourandish, 2013. The Possibility of Using Soil Organic Carbon as an Index of Decision Making for Land Use Change. J. Sci. & Technol. Agric. & Natur. Resour., Water and Soil Sci, 17(65):77-87. (In Persian).
16. Mesdaghi, M., 1998. Rage management in Iran. Astane ghods publications, 259 p. (In Persian).
17. Metherell, A.K., L.A. Harding., C.V. Cole & W.J. Parton, 1993. CENTURY soil organic matter model environment, technical documentation, agroecosystem version 4. Technical report No. 4, United States Department of Agriculture, Agricultiral Research Service, Great Plains System Research Unit. 250 p.
18. Oelbermann, M., & R.P. Voroney, 2011. An evaluation of the century model to predict soil organic carbon: examples from Costa Rica and Canada, Agroforest Syst, 82:37–50

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1395.10.4.6.2]

19. Parton, B., D. Ojima., D.S. Grosso & C. Keough, 2000. CENTURY tutorial, supplement to CENTURY user's manual. United States Department of Agriculture, Agricultiral Research Service, Great Plains System Research Unit. 140p.
20. Parton, W. J., J.M.O. Scurlock., D.S. Ojima., T.G. Gilmanov., R.J. Scholes., D.S. Schimel., T. Kirchner., J.C. Menaut., T. Seastedt., E. Garcia Moya., A. Kamnalrut & J.L. Kinyamario, 1993. Observations and modeling of biomass and soil organic matter dynamics for the grassland biome worldwide. Global Biogeochemical Cycles, 7:785-809.
21. Parton, W.J., & P.E. Rasmussen, 1994. Long-term effects of crop management in wheat/fallow: II. CENTURY model simulations. SSSAJ, 58:530-536.
22. Parton, W.J., D.S. Schimel, C.V. Cole & D.S. Ojima, 1987. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains grasslands. Soil Science Society of America Journal, 51:1173-1179
23. Qian, Y.L., W. Bandaranayake., W.J. Parton., B. Mecham., M.A. Harivandi., & A.R. Mosier, 2003. Long-term effects of clipping and nitrogen management in turfgrass on soil organic carbon and nitrogen dynamics: The CENTURY model simulation. J. Environ. Qual, 32:1694–1700.
24. Reeder, J.D & G.E Schuman, 2002. Influence of livestock grazing on C sequestration in semi-arid mixed-grass and short-grass rangelands. Envir. Poll, 116: 457-463.
25. Schuman, G.E, J.D. Reeder., J.T. Manley., R.H. Hart & W.A., Manley, 1999. Impact of grazing management on the carbon and nitrogen balance of a mixed-grass rangeland. Ecol. Appl, 9: 65-71.
26. Smith, J.U., P. Smith., & T. Addiccott, 1996. Quantitative methods to evaluate and compare soil organic matter (SOM) models. In: Poweson, D. S., Smith, P., J. U, (Eds), Evalaution of soil organic matter models using long-term datasets. NATO ASI Series I, vol. 38:181-200.
27. Soltani, A., M. Gholipoor & A. Hajizadeh, 2005. SBEET: A simple model for simulation and modeling the growth and yield of sugar beed. J. of Agric. Sci. & Tech., 19: 11-26.
28. Tao, Li., Li. Xiaomei & Y. Feng, 2012. Comparing predictions of long-term soil carbon dynamics under various cropping management systems using K-model and CENTURY. Int J Agric & Biol Eng.
29. Trumbmore, S.E., E.A. Davidson., P. Barbosa de Camargo., D.D. Nepstad & L.A. Martinelli, 1995. Belowground cycling of carbon in forests and pastures of eastern Amazonia. Global Biogeochemical Cycles, 9: 515- 528.
30. Zhang, Y.Q., Y.H. Tang., J. Jiang & Y.H. Yang, 2007. Charactreizng the d`ynamics of soil organic carbon in grasslans on the Qinghai-Tibetan Plateau. Sci Ser D-Erth Sci, 50(1):113-120.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1395.10.4.6.2]