



Simulating soil carbon and nitrogen dynamics in various managements through CENTURY model at Saral area in West Iran

Pouria Shahsavari¹ | Mohammad Amir Delavar² | Parviz Karami³ |
Kamal Nabiollahi⁴

1. Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

Email: porya3720@gmail.com.

2. Corresponding Author, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran. Email: amir-delavar@znu.ac.ir.

3. Department of Rangeland Science, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.

Email: pkaram2002@gmail.com.

4. Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.

Email: k.nabiollahi@uok.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: March. 1, 2023

Revised: July. 9, 2023

Accepted: July. 18, 2023

Published online: June. 2025

Keywords:

**Carbon Sequestration,
Management Scenarios,
Modeling,
Mollisols,
Soil Organic Carbon.**

ABSTRACT

Nowadays grasslands and pastures transmission to agricultural lands reduces soil qualities and wastes carbon and nitrogen of soil. The aim of this study is to calibrate and validate the Century model to assess soil organic carbon and nitrogen sources from 1900 (native vegetation conditions before land use and management change) to 2020 (current situation) and predict management scenarios until 2100 for grasslands, pastures, and cropland of Saral region of Kurdistan province. The results have showed that organic carbon input has been decreased after the land use change from the pasture to pease and grassland to wheat from 1963 to 2009, it has been decreased 0.96 and 1.05 mg/ha/y, respectively. The maximum amount of soil organic carbon and nitrogen in Scenario 3 (minimum grazing with fertilization in addition to management of crop rotation, no-tillage and fertilization) from 2020 to 2100 in grassland were 71.16 and 4.01 mg/ha, and the lowest soil organic carbon and nitrogen stocks between the 1978 and 2009 were have been estimated in wheat 27.75 mg/ha and pease 2.29 mg/ha, respectively. The results confirm that minimal grazing management along with the use of urea fertilizer in pastures and grasslands and observance of wheat-pease and wheat-safflower crop rotation and no-tillage and direct cultivation with urea fertilizer, superphosphate and animal manure are the best solutions and scenarios for compensating soil organic carbon and nitrogen sources and achieving sustainable production in wheat and peas cultivation in Saral region of Kurdistan.

Cite this article: Shahsavari, P., Delavar, M.A., Karami, P., & Nabiollahi, K. (2025). Simulating soil carbon and nitrogen dynamics in various managements through CENTURY model at Saral area in West Iran, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 56 (4), 1059-1083. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.356044.669461>

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.356044.669461>



EXTENDED ABSTRACT

Background:

Simulation models are critical instruments for the long-term estimation of carbon and nitrogen dynamics. These models present proper methods for reducing carbon and greenhouse gas emissions into the atmosphere and soil conservation and vegetation. The Century model is one of the most successful models used to simulate the consequence of environmental changes and management actions on natural ecosystems under management scenarios on local, regional, and global scales. Pastures and grasslands, as part of the natural ecosystem, play a vital role in regulating the global carbon cycle, carbon sequestration, and climate change. Recently transforming pastures to agriculture is one of the biggest challenges that cause to reduction of soil qualities and the amount of carbon. Moreover, it might lead to a long-term decrease in land productivity and ecological destruction. On the other side, the performance of appropriate agricultural management affects soil organic carbon and nitrogen and can improve soil quality, increase biodiversity and protect the environment.

Objective:

This study aimed to calibrate and validate the Century model to assess soil organic carbon and nitrogen sources from 1900 (native vegetation conditions before land use change and management change) to 2020 (current situation) and predict management scenarios until 2100 for grasslands, pastures, and cropland of Saral region of Kurdistan province.

Material and Methods:

The model was parameterized using measured data through soil and plant samples and local climate data. The model was calibrated by matching the simulated data with a set of observed soil organic carbon data.

Results:

The statistical analysis of the measured and simulated data in the validation steps showed that the Century model could predict changes in soil carbon and total nitrogen stocks in different land-uses and managements, including pasture, crop rotation, other tillage methods, and fertilization. The calculated root means square of error (RMSE) for the soil organic carbon and nitrogen data was 7.39% and 1.49%, respectively, with 95% confidence. The model performance results for different time series and scenarios in each land use showed that land-use change caused irreversible damage to soil organic carbon storages. Organic carbon input decreased after the land-use change (0.96 and 1.05 mg/ha/y, respectively, for the pasture to pease and grassland to wheat from the year 1963 to the year 2009). Based on the model results, the maximum amount of soil organic carbon and nitrogen in Scenario 3 from 2020 to 2100 was 71.16 mg/ha and 4.01 mg/ha, respectively. Between the 1978 and 2009 (course II), the lowest soil organic carbon and nitrogen stocks were estimated in wheat and pease land-use (27.75 mg/ha and 2.29 mg/ha, respectively). The best scenario for the increase of soil organic carbon and total nitrogen stocks and sustainable production of wheat and pease was identified using the century model in the sacral region of Kurdistan. This scenario includes least grazing management with urea fertilizer application in pasture and grassland, observance of wheat- pease and wheat-safflower crop rotation, no-tillage, direct cultivation with urea fertilizer, superphosphate, and manure.

Conclusion:

The century model could be applied to enhance the understanding of the conditions of the soil and ecosystem of this region and other similar areas. This model also shows a crucial role in predicting soil organic carbon and nitrogen stocks by concentrating on agricultural potential and systematic management of grasslands and pastures to reduce the harmful effects of global climate change and in particular, greenhouse gas emissions.

Author Contributions

Conceptualization, Pouria Shahsavari and Mohammad Amir Delavar; Methodology, Pouria Shahsavari and Kamal Nabiollahi; Software, Pouria Shahsavari and Parviz Karami; writing—original draft preparation, Pouria Shahsavari; writing—review and editing, Pouria Shahsavari and Mohammad Amir Delavar.

Data Availability Statement

Data is available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank the University of Zanjan, Zanjan, Iran for the financial support of this research and would like to thank all reviewers.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

شبیه‌سازی ذخایر کربن و نیتروژن آلی خاک در مدیریت‌های مختلف منطقه سارال غرب ایران با استفاده از مدل CENTURY

پوریا شهسوار^۱، محمد امیر دلاور^۲✉، پرویز کرمی^۳، کمال نبی‌الهی^۴

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: porya3720@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: amir-delavar@znu.ac.ir

۳. گروه مرتع‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران. رایانامه: pkaram2002@gmail.com

۴. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران. رایانامه: k.nabiollahi@uok.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	امروزه تغییر کاربری مراتع و چمنزارها و تبدیل آن‌ها به زمین‌های زراعی موجب تضعیف خصوصیات خاک و هدررفت کربن و نیتروژن خاک می‌شود. هدف این پژوهش واسنجی و اعتبارسنجی مدل سنچری به منظور تجزیه و تحلیل منابع کربن و نیتروژن آلی خاک از سال ۱۹۰۰ (پوشش گیاهی بومی قبل از تغییر کاربری و مدیریت) تا سال ۲۰۲۰ (وضعیت کنونی) و تعریف سناریوهای مدیریتی تا سال ۲۱۰۰ برای چمنزارها، مراتع و مزارع منطقه سارال استان کردستان است. نتایج نشان داد ورودی کربن آلی به خاک طی سال‌های ۱۹۶۳ تا ۲۰۰۹ پس از تغییر کاربری‌های مرتع به مزارع نخود و چمنزار به مزارع گندم به ترتیب ۰/۹۶ و ۱/۰۵ مگاگرم در هکتار در سال کاهش یافته است. بیشترین مقادیر ذخایر کربن و نیتروژن آلی در اثر اعمال سناریو ۳ (چرای حداقل دام با کوددهی بعلاوه مدیریت تناوب زراعی، بی‌خاکورزی و کوددهی) از سال ۲۰۲۰ لغایت ۲۱۰۰ در کاربری چمنزار به ترتیب با ۷۱/۱۶ و ۴/۰۱ مگاگرم در هکتار و کمترین مقادیر ذخایر کربن و نیتروژن آلی از سال ۱۹۷۸ لغایت ۲۰۰۹ به ترتیب در کاربری گندم با ۲۷/۷۵ و کاربری نخود با ۲/۲۹ مگاگرم در هکتار برآورد شد. نتایج مؤید آن است مدیریت چرای حداقل همراه با مصرف کود اوره در مراتع و چمنزارها و رعایت تناوب زراعی گندم - نخود - گندم - گل‌رنگ و بی‌خاکورزی و کشت مستقیم همراه با کوددهی با کود اوره، سوپر فسفات و کود حیوانی بهترین راهکارها و سناریوهای تعریف‌شده در جبران ذخایر کربن و نیتروژن آلی خاک و دستیابی به تولید پایدار در زراعت گندم و نخود در منطقه سارال کردستان است.
واژه‌های کلیدی: ترسیب کربن، سناریوهای مدیریتی، مدل‌سازی، مالی‌سول، کربن آلی خاک.	

استناد: شهسوار، پوریا؛ دلاور، محمد امیر؛ کرمی، پرویز؛ نبی‌الهی، کمال (۱۴۰۴). شبیه‌سازی ذخایر کربن و نیتروژن آلی خاک در مدیریت‌های مختلف منطقه سارال کردستان با استفاده از مدل CENTURY. *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۶ (۴)، ۱۰۸۳-۱۰۵۹.



<https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.356044.669461>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.356044.669461>

مقدمه

تغییر کاربری اراضی به واسطه تقاضای جمعیت رو به رشد بشری و افزایش سطح زیر کشت برای تولید غذا باعث خروج بیشتر گاز دی اکسید کربن به اتمسفر شده است. در کنار این افزایش تقاضا، سوء مدیریت باعث خروج بیشتر این عنصر از خاک شده است. خروج این گاز گلخانه‌ای باعث افزایش دمای سطح کره زمین به میزان دو درجه سلسیوس شده (UNFCCC, 2015) که این مسئله از مهم‌ترین چالش‌های پیشروی جوامع بشری است. مدیریت‌های کشاورزی و سایر استفاده‌ها باعث خروج بیش از ۲۵ درصد از گازهای گلخانه‌ای معادل ۹ تا ۱۲ گیگا تن دی اکسید کربن در سال شده است (Pachauri et al., 2014). از این رو نوع کاربری اراضی و شیوه‌های مختلف مدیریتی نقش مهمی در تثبیت و یا کاهش کربن اتمسفر ایفا می‌کنند (Lal, 2001; Bayer et al., 2006; Falloon et al., 2007).

مراعات در حدود ۵۰ درصد از سطح خشکی‌های کره زمین را پوشانده و توانایی ذخیره ۳۰ درصد از کربن آلی خاک‌های جهان را دارند و در مقیاس جهانی سالانه حدود ۵۰۰ میلیارد تن دی اکسید کربن اتمسفر را ترسیب می‌کنند (Derner and Schuman, 2007). چمنزارها نیز نقش مهمی در ترسیب کربن دارند و در حدود ۲۰۰ تا ۴۲۰ میلیارد تن کربن را در کره زمین ذخیره می‌کنند. مقدار کربن موجود در چمنزارها تقریباً معادل کربن موجود در جنگل‌ها است و در حدود ۷۰ تن در هکتار است (Trumbmore et al., 1995). از این رو اکوسیستم‌های مرتعی و چمنزارها توانایی بالایی در ذخیره کربن و ترسیب کربن دی اکسید اتمسفر در خاک و کاهش اثرات گرمایش جهانی دارند (Cui et al., 2005; Derner and Schuman, 2007; Mcsherry and Ritchie, 2013; Waters et al., 2016). اراضی مرتعی و چمنزارها به دلیل افزایش تقاضا برای تولید غذا و فعالیت‌های انسانی و عملیات کشاورزی تحت فشار جدی هستند و تغییر کاربری‌های عمده‌ای در آن‌ها ایجاد شده است. برآوردها حاکی از آن است که در طول قرن گذشته، به واسطه فعالیت‌هایی همچون تغییر کاربری اراضی و عملیات کشت و کار ۴۲ تا ۷۸ گیگا تن کربن از خاک به اتمسفر آزاد شده است (Paustian et al., 2016). نتایج تحقیقات پژوهشگران در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک، هدر رفت کربن آلی خاک را پس از گذشت سه تا پنج سال بین ۳۵ تا ۵۶ درصد نشان می‌دهد (Zech et al., 2006). فائو در تازه‌ترین همایش جهانی کربن آلی خاک با تأکید بر به کارگیری طرح‌های موفق برای حفظ ذخایر کربن آلی در خاک، جلوگیری از راه‌سازی آن‌ها و ترسیب بیشتر کربن در خاک و افزایش محتوای کربن خاک‌ها را به عنوان راه‌حلی برای کنترل چالش گرمایش زمین، تغییرات اقلیمی، افزایش امنیت غذایی، کاهش فقر و مقاوم‌سازی در برابر رویدادهای ناگهانی بیان کرده است (Lefèvre et al., 2017).

مسیری که کربن در محیط زیست طی می‌کند، چرخه کربن نامیده می‌شود. مقدار کربن در این شرایط ثابت بوده و از شکلی به شکل دیگر تبدیل می‌شود (Kane and Solutions, 2015). معدنی شدن^۱ و تثبیت شدن^۲ کربن دو فرآیند اساسی این چرخه است، در فرآیند اول تغییر و تبدیل کردن به اشکال غیر آلی و در فرآیند دوم کربن برای ساخت و تولید سلول‌های میکروبی و سایر موجودات زنده استفاده می‌شود. هرگونه تغییر جزئی در کربن خاک می‌تواند به شدت کربن موجود در اتمسفر را تحت تأثیر قرار داده به طوری که با تجزیه حدود ۰/۱ گیگا تن کربن از ذخایر کربن در خاک‌های جهان، سالانه حدود ۰/۴۷ قسمت در میلیون کربن دی اکسید وارد اتمسفر می‌شود (Jagadamma and Lal, 2010). مطالعات متعددی در خصوص تغییرات زمانی پویایی و چرخه کربن آلی خاک، تحت تأثیر کاربری‌ها و مدیریت‌های مختلف انجام شده اما با این حال اکثر مطالعه‌ها در بازه‌های زمانی کوتاه و در زمینه مقایسه استفاده از خاک‌های مختلف جهت کشاورزی و تولید محصول در سراسر جهان متمرکز بوده است (Bortolon et al., 2011).

پیشینه پژوهش

محاسبه و تخمین خروجی گازهای گلخانه‌ای ناشی از چرخه کربن و تأثیر آن‌ها بر گرمایش کره زمین نیازمند انجام مطالعات طولانی مدت است که استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی کربن از جمله راهکارهای با اهمیت برای درک این فرآیندها است (Gupta and Kumar, 2017). شبیه‌سازی واکنش‌های خاک در پاسخ به تغییرات محیطی، بررسی دینامیک و مقدار ماده آلی خاک و پتانسیل ذخیره آن در اکوسیستم‌های مختلف در مقیاس جهانی، منجر به طراحی مدل‌هایی برای کربن آلی خاک شده است تا بتوان سال‌ها قبل از وقوع تغییرات، آن‌ها را

1 Carbon cycle

2 Mineralization

3 Immobilization

شناسایی و رویکرد مدیریتی مناسب را اتخاذ نمود (Kaczynski *et al.*, 2017). مدل‌های شبیه‌سازی ابزارهای بسیار کارآمدی هستند که مکانیسم‌های کنترل‌کننده پویایی کربن آلی و نیتروژن را در خاک فراهم می‌سازند. با استفاده از این مدل‌ها درک بهتری از ارتباط و اثرات متقابل بین اعمال مدیریت‌های مختلف و تأثیر آن‌ها بر روی تغییرات کربن آلی به دست می‌آید. مدل سنچری^۱ یکی از پرکاربردترین مدل‌ها برای این هدف است. این مدل برای مطالعه تجزیه و تحرک مواد آلی در شرایط آب و هوایی مختلف کاربرد داشته و عمدتاً با استفاده از داده‌های بلندمدت، قابلیت مدل‌سازی دینامیک کربن آلی را با توجه به شرایط محلی و عملیات مدیریتی و اطلاعات کاربری‌های قدیمی فراهم می‌سازد. کاربرد این مدل‌ها تأثیر اقلیم، مدیریت‌های کشاورزی و ویژگی‌های خاکی را بر پویایی کربن و نیتروژن در یک سیستم خاک - گیاه فراهم می‌سازد (Parton *et al.*, 1993; Gilmanov *et al.*, 1997; Bhattacharyya *et al.*, 2007; Musinguzi *et al.*, 2014). مدل سنچری به دلیل توانایی شبیه‌سازی مدیریت‌ها و فعالیت‌های مختلف مانند چرای دام، خاک‌ورزی، آتش‌سوزی، کوددهی، آبیاری، قطع درختان، تغییر کاربری، فرسایش در سطح محلی، منطقه‌ای و جهانی، دارای ارجحیت نسبت به سایر مدل‌ها است (Tornquist *et al.*, 2009; Chen *et al.*, 2012; Ouyang *et al.*, 2014). استفاده از این مدل می‌تواند به‌عنوان ابزار مهمی برای شبیه‌سازی چرخه‌های بیوژئوشیمیایی در مدیریت‌های مختلف استفاده شود و برای تصمیم‌گیری‌های سریع و کمک به برنامه‌ریزان برای بهره‌برداری مناسب از پوشش‌های گیاهی مختلف کاربرد دارد. مطالعات متعددی برای کاربرد و انطباق مدل سنچری در مناطق گرمسیری (Silva and Bortolon *et al.*, 2009; Lopes *et al.*, 2008; Tornquist *et al.*, 2009) و مناطق نیمه گرمسیری (Pasqual, 1999; Cerri *et al.*, 2003) در دنیا انجام شده است. این مطالعات تا حد زیادی موفق به شبیه‌سازی مخازن کربن آلی در انواع مختلف خاک شده و با استفاده از گزارش‌های تاریخی استفاده از زمین و تغییرات مدیریت خاک، وضعیت حاصلخیزی این خاک‌ها را موردبررسی و مقایسه قرار داده است.

مدل‌سازی ذخیره کربن آلی و نیتروژن خاک در پوشش‌های مختلف گیاهی و شاخص‌های تنوع زیستی برای مدیریت بهینه تغییرات مخازن کربن آلی و نیتروژن خاک در رابطه با روند پایداری، حاصلخیزی، چرخه کربن و برنامه‌ریزی برای رویارویی با تغییرات آب و هوایی در سطح محلی یا منطقه‌ای، از جمله راهکارهای مناسب در مطالعات دینامیک کربن آلی و نیتروژن در خاک به شمار می‌آید (Bortolon *et al.*, 2009; Lopes *et al.*, 2008; Tornquist *et al.*, 2009). بر اساس آمار منتشره توسط سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور حدود ۵۲ درصد از اراضی کشور ایران را مراتع و چمنزارها تشکیل می‌دهند که به‌صورت چرای مستقیم و برداشت علوفه مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند و در سالیان اخیر نیز بخش قابل‌توجهی از آن‌ها تغییر کاربری داده و به اراضی زراعی و یا باغی تبدیل شده‌اند. شبیه‌سازی کربن آلی و نیتروژن کل خاک در منطقه سارال کردستان با استفاده از مدل سنچری در مدیریت‌های چمنزار و مراتع نه‌تنها برای تصمیم‌گیرندگان و برنامه‌ریزان در مقیاس محلی حائز اهمیت است، بلکه می‌تواند به‌عنوان مطالعه پویایی کربن آلی و نیتروژن کل در این منطقه شاخصی برای سایر مناطق مشابه در کشور نیز موردتوجه قرار گیرد. بر این اساس اهداف این تحقیق به شرح ذیل است. پارامتریابی مدل سنچری در منطقه سارال استان کردستان بر اساس اطلاعات و داده‌های موجود و اعتبارسنجی مدل با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده.

ارزیابی مدل سنچری برای مطالعه تأثیر مدیریت‌های مختلف اراضی بر پویایی کربن آلی و نیتروژن کل خاک.

پیش‌بینی پویایی کربن آلی و نیتروژن کل خاک در طولانی‌مدت تحت تأثیر مدیریت‌های مختلف.

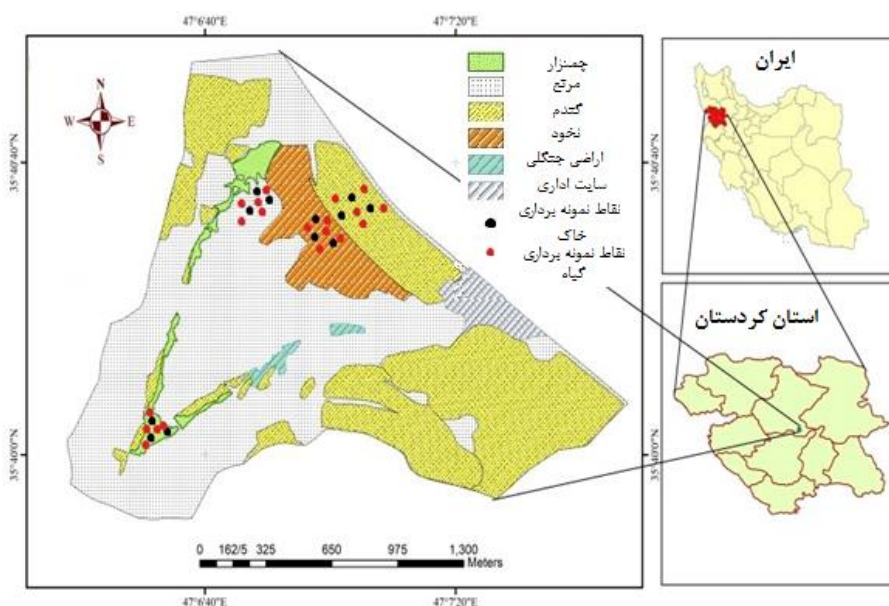
معرفی سناریوهای آینده تا سال ۲۱۰۰ برای اعمال مدیریت‌های مختلف و تأثیر آن بر ذخیره کربن آلی و نیتروژن کل خاک.

روش‌شناسی پژوهش

منطقه مورد مطالعه

این مطالعه در ایستگاه تحقیقاتی سارال که در مرکز منطقه سارال استان کردستان و محدوده جغرافیایی $35^{\circ} 33'$ تا $35^{\circ} 53'$ عرض شمالی و $48^{\circ} 34'$ تا $48^{\circ} 58'$ طول شرقی انجام شد (شکل ۱). این منطقه با مساحت ۲۳۲ هکتار از نظر آب و هوایی دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های معتدل است و بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی کوپن جزو مناطق نیمه‌استپی سرد محسوب می‌گردد. ارتفاع ایستگاه از سطح دریا ۲۱۰۰ متر بوده و بر اساس بلندمدت ایستگاه هواشناسی درون ایستگاه، متوسط بارندگی سالانه ۳۳۰ میلی‌متر، میانگین حداکثر درجه حرارت

سالانه ۲۸/۹ درجه سلسیوس در مرداد ماه و میانگین حداقل درجه حرارت ۶/۳- درجه سلسیوس در بهمن ماه و میانگین درجه حرارت سالیانه ۱۰/۷ درجه سلسیوس گزارش شده است (نبی‌اللهی، ۱۳۸۴). بر اساس اطلاعات نقشه خاک با مقیاس ۱:۵۰۰۰ خاک‌های غالب ایستگاه شامل رده‌های مالی‌سول با گسترش ۷۰ درصد، اینسپتی‌سول ۲۰ درصد و انتی‌سول ۱۰ درصد است (Amari and Keshmiri, 1990). در این مطالعه خاک‌های رده مالی‌سول که بر اساس سامانه رده‌بندی خاک آمریکایی در زیرگروه‌های فلونیتیک اندواکوالز، تیپیک کلسیزرولز و تیپیک هاپلوزرولز طبقه‌بندی و انتخاب شدند (Soil Survey Staff, 2022). کاربری‌های غالب منطقه سارال کردستان شامل مراتع با وسعت ۵۵ درصد، اراضی کشاورزی با مساحت بالغ بر ۴۲ درصد و چمنزارها با مساحت سه درصد هستند (Sharifzadegan, 2019). کشاورزی غالب در این منطقه عموماً به‌صورت دیم بوده و عمده محصولات کشت‌شده شامل گندم، جو، نخود، ماش، عدس و گل‌رنگ هستند. پوشش‌های گیاهی موجود در ایستگاه تحقیقاتی سارال شامل ۱۲۸ هکتار مراتع است که عمدتاً شامل گونه‌های *Cartamus*, *Poa bulbosa* L., *Eryngium*, *Papaver*. Sp, *Phlomis olivieri* Benth, *Bromus tomentellus* Boiss., *Festuca ovina* L., *oxycants*, *Prangos* و *Myosotis lithospermifolia* Hornem, *Ferula haussknechtii* Wolff ex Rech. F., *thyrsoidium* Boiss. *ferulacea* Lindl. (Karami., 2010) ۹۸ هکتار از اراضی کشاورزی شامل ۸۴ هکتار اراضی زراعی گندم است که طی سال‌های اخیر عمدتاً ارقام باران و اوحدی در آن‌ها کشت‌شده و ۱۴ هکتار اراضی زراعی نیز زیر کشت نخود است که طی چند سال اخیر عمدتاً شامل ارقام آژکان، عادل و منصوری است و شش هکتار نیز چمنزار با گونه‌های *Carex stenophylla*, *Carex orbicularis*, *Eleocharis uniglumis*, *Lotus*, *Graminas*, *Trifolium repens*, *Dactylorhiza fuchsia*, *Menta longifolia*, *Ranunculus sericeus*, *Juncus gerardii* و *Agropyron trichophorum* *corniculatus* است (Yazdanparast, 2008). اراضی منطقه سارال استان کردستان در ابتدا از مراتع گسترده و بخش‌های از آن دارای کاربری چمنزار بوده است (Amari and Keshmiri, 1990). بخش‌هایی از اراضی بومی منطقه در طول دوره‌های مختلف دستخوش تغییرات قرار گرفته، شخم زده‌شده و زیر کشت محصولات زراعی قرار گرفته است (Tabatabai and Ghasriani, 1992). اراضی موجود در ایستگاه تحقیقاتی سارال نیز از این تغییرات مستثنی نبوده و بر اساس اطلاعات موجود در ایستگاه، تفسیر عکس‌های هوایی گرفته‌شده از منطقه (سال‌های ۱۹۵۸ و ۱۹۷۱) و پرسش از افراد بومی منطقه، تغییر کاربری مراتع و چمنزار موجود در ایستگاه و تبدیل به اراضی زراعی از سال ۱۳۴۲ مصادف با اجرای قانون ملی شدن جنگل‌ها و مراتع در کشور ایران اتفاق افتاده و به‌مرور بیشتر و بیشتر شده است (Karami., 2010). دلایل انتخاب ایستگاه تحقیقاتی سارال برای انجام این پژوهش را می‌توان به نمایندگی بودن مناسب این منطقه از نظر نوع خاک و پوشش گیاهی برای گستره وسیعی از منطقه سارال استان کردستان، وجود اندازه‌گیری‌های دوره‌ای مختلف کربن آلی، نیتروژن و لیگنین همراه با تکرار برای بررسی تغییرات زمانی کربن و نیتروژن و تنوع بالایی از مدیریت‌های مختلف در این منطقه اشاره کرد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه (ایستگاه تحقیقاتی سارال)

نمونه‌برداری

نمونه‌برداری از خاک و گیاه در دو سال متوالی (تیر ماه سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸) با استفاده از روش نمونه‌برداری تصادفی انجام گرفت. محل‌های نمونه‌برداری بر اساس نتایج مطالعات خاکشناسی در مقیاس تفصیلی ایستگاه تحقیقاتی سارال (Amari and Keshmiri, 1990)؛ و مطابق با سری‌های جدا شده و نوع رده خاک (مالی‌سول)، در چهار نوع کاربری اراضی (چمنزار، مرتع، زراعت گندم و زراعت نخود) انتخاب شدند. نمونه‌برداری از خاک از دو عمق صفر تا ۲۰ و ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متری هر کدام در سه تکرار انجام و در مجموع تعداد ۴۸ نمونه خاک دست‌خورده و دست‌نخورده (با استفاده از سیلندر) در چهار ناحیه جمع‌آوری گردید. نمونه‌های خاک جمع‌آوری و هوا خشک شده و بقایای گیاهی شامل ریشه گیاهان و سایر بقایای قابل مشاهده از نمونه‌ها حذف شدند. نمونه‌ها از الک دو میلی‌متری عبور داده شده و برای انجام آزمایش‌های بعدی به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌برداری از گیاه و بقایای گیاهی در چهار نوع کاربری انتخاب شده طی دو سال متوالی شامل سرپای زنده (۴۰ نمونه)، سرپای مرده (۴۰ نمونه)، بقایای گیاهی روی سطح خاک (۴۰ نمونه) و ریشه (۴۰ نمونه) برداشت شد. نمونه‌برداری از گیاهان و بقایای گیاهی به صورت تصادفی و به روش کیل‌گیری توسط پلات‌های ۱۰۰ سانتی‌متر مربع در پنج تکرار انجام گرفت. برای این منظور پلات موردنظر را روی خاک قرار داده و با قیچی و مماس با سطح خاک اقدام به برش گیاهان نموده و سپس گیاهان بریده شده به دو قسمت سرپای زنده و سرپای مرده تفکیک شدند. بقایای گیاهی سطح خاک به صورت دستی جمع‌آوری شده و ریشه گیاهان با جدا کردن خاک اطراف آن‌ها و شستن ریشه تفکیک شد. در مجموع تعداد ۱۶۰ نمونه گیاهی در دو سال متوالی جمع‌آوری شد. نمونه‌های گیاهی برداشت شده به آزمایشگاه منتقل شده و برای انجام تجزیه‌های آزمایشگاهی در آون دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت خشک شده و سپس توزین و در آسیاب خرد شدند.

تجزیه‌های آزمایشگاهی

در نمونه‌های گیاهی و خاک کربن آلی با روش والکی و بلک (Walkley and Black, 1934)، فسفر قابل دسترس خاک با روش اولسن (Page, 1992) و فسفر گیاه با روش رنگ‌سنجی (Murphy and Riley, 1962)، نیتروژن کل با روش کج‌دال (Bremner and Mulvaney, 1982)، گوگرد با روش کدورت‌سنجی (Carter and Gregorich, 2008)، کربنات کلسیم معادل با روش تیتراسیون (Goh et al., 1993)، بافت خاک به روش هیدرومتری (Klute, 1986)، رطوبت ظرفیت زراعی و رطوبت نقطه پژمردگی با استفاده از دستگاه صفحات فشاری (Klute, 1986)، پ‌هاش خاک و قابلیت هدایت الکتریکی (Carter and Gregorich, 2008) و وزن مخصوص ظاهری با روش سیلندر (Black, 1986) اندازه‌گیری شدند. لیگنین گیاهی با روش ون‌سوئیست و همکاران (Van Soest et al., 1991) با مخلوط کردن پنج گرم نمونه خرد شده با مواد شوینده اسیدی، خشک کردن در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس، مخلوط کردن با اسیدسولفوریک و در نهایت با قرار دادن در کوره با دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس اندازه‌گیری شد. مقادیر ذخیره کربن آلی و نیتروژن کل خاک برای اعماق صفر تا ۲۰ سانتی‌متر و ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر با استفاده از روابط ۱ و ۲ محاسبه شد:

$$\text{SOC Stocks} = \%OC \times H \times B.D$$

(رابطه ۱)

$$\text{TSN Stocks} = \%N \times H \times B.D$$

(رابطه ۲)

در این روابط ذخایر کربن آلی خاک^۱ (تن در هکتار)، ذخایر نیتروژن کل خاک^۲ (تن در هکتار)، H عمق خاک (سانتی‌متر) و B.D جرم مخصوص خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب) است.

اولیه‌سازی^۳ و پارامتریابی مدل

برای واسنجی مدل از نرم‌افزار سنچری نسخه ۴ استفاده شد که توسط مجموعه توسعه‌دهندگان تحقیقاتی (NREL, 2009) تهیه شده است. مدل سنچری، مدلی چندبخشی است که در ابتدا برای شبیه‌سازی تغییرات درازمدت کربن، نیتروژن آلی خاک، چرخه عناصر و تولید گیاهی در اکوسیستم‌های علفزار دشت‌های بزرگ آمریکا تهیه شده است (Parton et al., 1987; 1988). این مدل کربن آلی خاک را در سه مخزن مفهومی شامل مخزن‌های غیرفعال، آهسته و فعال برای سرعت‌های آهسته، متوسط و سریع از انتقال کربن در خاک ارائه می‌دهد (Tornquist et al., 2009; Wilson et al., 2009). مدل سنچری شامل سه برنامه FILE100، EVENT100 و LIST100 است. برنامه FILE100 به کاربر در ایجاد و به‌روز کردن دوازده فایل ورود داده‌ها که در سنچری از آن‌ها استفاده می‌شود، کمک می‌کند. برنامه

1 Soil organic carbon (SOC) Stocks

2 Soil total nitrogen (STN) Stocks

3 Initialization

EVENT100 فایل برنامه زمانی یا جدول زمانی است که شامل جامعه‌های گیاهی و حوادث و اتفاقاتی است که در طول دوره شبیه‌سازی رخ می‌دهد را ایجاد می‌کند. برنامه LIST100 متغیرهای خروجی منتخب از فایل خروجی سنچری را استخراج و فهرست ASCII مقادیر متغیرها در فواصل انتخاب‌شده در فایل برنامه زمانی را ایجاد می‌کند. ورودی‌های سنچری شامل متغیرهای آب و هوایی ماهانه، خصوصیات مختلف فیزیکی و شیمیایی خاک، اطلاعات و متغیرهای اندازه‌گیری شده گیاهان و داده‌های مدیریتی است (Parton, 1987). داده‌های هواشناسی موردنیاز مدل سنچری با استفاده از آمار ۲۰ ساله (۱۹۹۸ تا ۲۰۲۰ میلادی) ایستگاه هواشناسی کلیماتولوژی مستقر در ایستگاه تحقیقاتی بهارستان جمع‌آوری شده است. اطلاعات اقلیمی ایستگاه شامل میانگین بارندگی ماهانه (بر حسب سانتی‌متر)، انحراف معیار بارندگی ماهانه، چولگی بارندگی ماهانه، میانگین دمای کمینه و بیشینه ماهانه (بر حسب درجه سلسیوس) محاسبه و از طریق برنامه SITE100 زیرمجموعه برنامه FILE100 وارد مدل گردید. سپس با واردکردن داده‌های مربوط به موقعیت منطقه و محاسبه و وارد نمودن پارامترهای مربوط به خاک، کنترل شبیه‌سازی، تعداد لایه‌های خاک، نوع زهکشی، ورودی عناصر غذایی به خاک و پارامترهای اولیه مواد آلی و عناصر موجود در گیاه و خاک با استفاده از نتایج اندازه‌گیری شده آزمایشگاهی این مطالعه (سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰)، برنامه SITE100 برای هر کدام از کاربری‌های مرتع، چمنزار، زراعت گندم و زراعت نخود تکمیل شد. پارامترهای فیزیولوژیکی و اکولوژیکی پوشش‌های گیاهی C3 با کمک دفترچه راهنمای مدل سنچری (Metherel et al., 1994) و از طریق برنامه CROP100 وارد مدل شد. اطلاعات و داده‌های مربوط به نحوه مدیریت اراضی و نوع پوشش گیاهی در طی سالیان گذشته برای تعریف سناریوهای مختلف مدیریتی و تعیین زمان تغییر کاربری پوشش مرتعی و چمنزار بومی در ایستگاه به اراضی کشاورزی و همچنین اقدامات مربوط به مدیریت کشاورزی شامل زمان کاشت و برداشت، نوع محصولات کشت‌شده، کوددهی و نوع شخم زمین از طریق برنامه EVENT100 وارد مدل گردید.

سناریوهای مدیریت خاک

سناریوهای مدیریت خاک بر اساس اطلاعات ثبت‌شده در ایستگاه تحقیقاتی سارال (از سال ۱۹۷۷ تاکنون)، اطلاعات به‌دست‌آمده از تفسیر عکس‌های هوایی گرفته‌شده از منطقه در مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ (سال‌های ۱۹۵۸ و ۱۹۷۱) و تاریخچه تغییرات کاربری و مدیریت اراضی توسط گفتگو با افراد بومی (از طریق گفتگو با افراد مسن اهالی روستای بهارستان با میانگین سنی بیشتر از ۸۰ سال) منطقه مشخص شد. مصرف کود در زراعت‌های گندم (دوره IV) و نخود (دوره III) بر اساس نتایج آزمون خاک و توصیه‌های کودی در اراضی دیم و مطالعات انجام‌شده در ایستگاه تحقیقاتی سارال (AREEO, 2016) انجام شد. جداول ۱ و ۲ به‌ترتیب سناریوهای موردنظر برای پوشش‌های چمنزار، مرتع و پوشش‌های زراعی گندم و نخود را نشان می‌دهد.

واسنجی مدل

واسنجی یکی از بخش‌های اساسی مطالعات مدل‌سازی است و هدف آن بهبود همبستگی بین داده‌های اندازه‌گیری شده و داده‌های شبیه‌سازی شده با تنظیم پارامترهای داخلی مدل است (Gomes and Varriale, 2004). در مدل سنچری داده‌های مخازن کربن آلی به‌صورت مستقیم وارد مدل نمی‌شوند و از شبیه‌سازی دوره تعادل^۱ یا چرخش^۲ چندین هزار سال تحت پوشش گیاهی بومی برای هر کلاس خاک محاسبه می‌شود (Metherel et al., 1994). دوره تعادل یک خط مبنا برای ارزیابی اثرات اقدامات مدیریتی و شرایط اقلیمی بر کربن آلی ایجاد می‌کند؛ بنابراین برای ایجاد تعادل در اکوسیستم مدل سنچری برای ۱۰۰۰۰ سال تحت پوشش گیاهان مورد مطالعه اجرا شد. برای واسنجی مدل سنچری از متغیر خروجی SOMTC مربوط به کربن آلی خاک برای مدیریت‌های مختلف چمنزار، مرتع، گندم و نخود استفاده شد. از آنجایی که برای کالیبراسیون مدل‌های سنچری حداقل به یک اندازه‌گیری تاریخی ذخیره کربن آلی خاک نیاز است (Parton et al., 1987) از این‌رو مدل برای کاربری‌های مرتع و چمنزار با استفاده از داده‌های مطالعات Karami et al (2010) که اثر مدیریت‌های مختلف چرا، درو و قرق بر اکوسیستم‌های مرتعی غرب کشور را مورد بررسی قرار دادند و برای کاربری‌های زراعت گندم و نخود از داده‌های جمع‌آوری شده در پروژه امنیت غذایی ایکاردا (مطالعه ارزیابی ژرم پلاسم گندم، جو، نخود، علوفه و دانه‌های روغنی و کشاورزی حفاظتی در ایستگاه تحقیقاتی سارال) (AREEO, 2016) برای واسنجی استفاده شد. برای دستیابی به مقادیر اندازه‌گیری شده در مطالعات ذکر شده پارامتر پتانسیل تولید ماهانه بالای سطح زمین (PRDX1) مطابق با اطلاعات ارائه‌شده در جدول ۳ اصلاح شد. همچنین با توجه به نتایج مطالعات انجام‌شده توسط Leite et al (2004)، Bortolon et al (2011) که اثر افزایشی خاک‌ورزی بر تجزیه ماده آلی خاک را مطالعه کردند جهت اعمال اثر نوع خاک‌ورزی بر منابع کند تجزیه شونده، پارامتر کشت (CLTEFF2) به‌منظور افزایش تصاعدی تجزیه منابع ماده آلی در ماه کشت محصول مطابق جدول ۳ اصلاح و ذخایر کربن آلی خاک با اعمال سناریوهای مختلف تا سال ۲۱۰۰ برآورد گردید.

1 Equilibrium

2 Spin Up

جدول ۱- سناریوهای موردنظر برای کاربری‌های چمنزار و مرتع

دوره و سناریو (سال)	نوع مدیریت	توالی (سال)
I (۱۹۶۳-۱۹۰۰)	چرای سبک	۱
II (۱۹۶۴-۱۹۷۹)	چرای متوسط تا سنگین	۱
III (۱۹۸۰-۲۰۱۹)	قرق	۱
سناریو ۱ (۲۰۲۰-۲۱۰۰) - حفظ وضعیت کنونی	قرق	۱
سناریو ۲ (۲۰۲۰-۲۱۰۰) - چرای متوسط دام	چرای دام با تأثیر متوسط بر تولید به مدت شش ماه	۱
سناریو ۳ (۲۰۲۰-۲۱۰۰) - چرای حداقل دام با کوددهی	چرای حداقل دام سه ماه با کوددهی ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در اردیبهشت ماه	۱

جدول ۲- سناریوهای در نظر گرفته‌شده برای کاربری زراعت گندم و نخود

گندم		نخود	
توالی (سال)	مدیریت	دوره و سناریو (سال)	توالی (سال)
۱	چمنزار با چرای سبک	I (۱۹۶۳-۱۹۰۰)	۱ مرتع با چرای سبک
۱	تغییر کاربری به گندم و شخم با گاواهن	(۱۹۶۳)	تغییر کاربری و شخم با گاواهن (۱۹۶۳)
۲	تناوب کاشت گندم - آیش (دوساله)، شخم با گاواهن،	II (۱۹۷۷-۱۹۶۴)	۲
۲	تناوب کاشت گندم - آیش (دوساله)، شخم با گاواهن، برداشت با کمباین و کود اوره ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در پاییز هر دو سال یکبار	III (۱۹۷۸-۲۰۰۹)	۲ تناوب کاشت نخود - آیش (دوساله)، شخم با گاواهن، برداشت دستی
۴	تناوب کاشت گندم - آیش، شخم با چندکاره و پنجه‌غازی، در سال آیش برگرداندن علف‌های هرز، برداشت با کمباین و کوددهی با کود اوره ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار در پاییز و بهار هر دو سال یکبار و کود سوپر فسفات ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار هر چهار سال یکبار	IV (۲۰۱۰-۲۰۱۹)	۴ تناوب کاشت نخود - گندم، در سال کشت شخم با چندکاره و پنجه‌غازی، در سال کشت نخود به‌صورت بی خاک‌ورزی، برداشت با کمباین و کوددهی با کود اوره ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار در پاییز و بهار هر دو سال یکبار و کود سوپر فسفات ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار هر چهار سال یکبار
۴	تناوب کاشت گندم - آیش، شخم با چندکاره و پنجه‌غازی، در سال آیش برگرداندن علف‌های هرز، برداشت با کمباین و کوددهی با کود اوره ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار در پاییز و بهار هر دو سال یکبار و کود سوپر فسفات ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار هر چهار سال یکبار	سناریو ۱ (۲۰۲۰-۲۱۰۰) - حفظ وضعیت کنونی	۴ سناریو ۱ (۲۰۲۰-۲۱۰۰) - حفظ وضعیت کنونی
۴	تناوب گندم - نخود - گندم - آیش، شخم با چندکاره و پنجه‌غازی، در سال آیش برگرداندن علف‌های هرز، برداشت با کمباین و کوددهی با کود حیوانی سه تن در هکتار هر چهار سال یکبار	سناریو ۲ (۲۰۲۰-۲۱۰۰) - کود حیوانی	۴ سناریو ۲ (۲۰۲۰-۲۱۰۰) - کود حیوانی
۴	تناوب گندم - نخود - گندم - گل‌رنگ، بی خاک‌ورزی و کشت مستقیم، برداشت با کمباین و مصرف کود اوره ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار در پاییز و بهار هر دو سال یکبار و کود حیوانی سه تن در هکتار و کود سوپر فسفات ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار هر چهار سال یکبار	سناریو ۳ (۲۰۲۰-۲۱۰۰) - مدیریت اصولی تناوب زراعی، بی-خاک‌ورزی و کوددهی	۴ سناریو ۳ (۲۰۲۰-۲۱۰۰) - مدیریت اصولی تناوب زراعی، بی-خاک‌ورزی و کوددهی



جدول ۳- پارامترهای اصلاح شده در واسنجی مدل سنچری

پارامترها	پیش فرض مدل	اصلاح شده
برنامه 100.FIX		
VARAT1 (1.1) - حداکثر نسبت C/N برای مواد وارد شده به منابع کربن آلی سریع تجزیه شوند	۱۴	۱۶
VARAT2 (1.1) - حداکثر نسبت C/N برای مواد وارد شده به منابع کربن آلی کند تجزیه شوند	۲۰	۳۰
VARAT3 (1.1) - حداکثر نسبت C/N برای مواد وارد شده به منابع کربن آلی غیرفعال	۸	۲۰
برنامه 100.CROP		
PRDX (1) - تولید بالقوه ماهانه بالای زمین برای محصولات (گرم بر سانتی متر مربع)		
چمنزار	۲۵۰	۲۰۰
مرتع	۲۴۰	۱۹۰
گندم	۳۰۰	۱۱۰
نخود	۳۰۰	۱۲۰
برنامه 100.CULT		
CLTEFF (2) - فاکتور کشت برای منبع کربن آلی کند تجزیه شوند		
چیزل ^۱	۱/۶	۱/۷
چندکاره ^۲	۱/۳	۱/۴
بی خاکورزی ^۳	۱/۱	۱/۱

اعتبارسنجی مدل

برای اعتبارسنجی مدل، داده‌های خروجی مدل با مجموعه‌ای از داده‌های مستقل از داده‌های استفاده شده در مرحله کالیبراسیون مدل، مقایسه می‌شود (Gomes and Varriale, 2004; Bortolon et al., 2011). برای داده‌های خروجی ذخایر کربن آلی و نیتروژن کل خاک اعتبارسنجی به صورت جداگانه انجام گرفت. اعتبارسنجی برای داده‌های ذخایر کربن آلی خاک با مقایسه نتایج شبیه‌سازی شده حاصل از مدل سنچری با مجموعه‌ای از داده‌های اندازه‌گیری شده در چهار نوع کاربری چمنزار، مرتع، گندم و نخود در سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ و همچنین تجزیه و تحلیل آماری که از مطالعات (Amari and Keshmiri, 1990) و (Nabiollahi, 2005) به دست آمده انجام شد. اعتبارسنجی مدل برای داده‌های ذخایر نیتروژن کل خاک با مقایسه نتایج شبیه‌سازی شده حاصل از مدل با داده‌های اندازه‌گیری شده در سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ صورت گرفت. برای اعتبارسنجی و ارزیابی عملکرد مدل از متغیرهای خروجی SOMTC مربوط به کربن آلی خاک و SOMTE(1) مربوط به نیتروژن کل خاک بهره‌گیری شد. برای مقایسه داده‌ها از شاخص‌های آماری ضریب تبیین^۴ (رابطه ۳)، ضریب همبستگی پیرسون^۵ (رابطه ۴)، جذر میانگین مربعات خطا^۵ (رابطه ۵) و راندمان مدل‌سازی^۶ (رابطه ۶) و برای مقایسه انحراف مقادیر شبیه‌سازی شده از مشاهده شده از نتایج رگرسیون خطی و خط ۱:۱ استفاده شد.

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{O})(O_i - \bar{O})]^2}{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2 \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad \text{رابطه ۳}$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{O})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2] \sqrt{[\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2]}}} \quad \text{رابطه ۴}$$

$$RMSE = \frac{100}{\bar{O}} * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{n}} \quad \text{رابطه ۵}$$

$$ME = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad \text{رابطه ۶}$$

در این روابط O_i مقادیر مشاهده شده، S_i مقادیر شبیه‌سازی شده، $\bar{O}$ میانگین مقادیر مشاهده شده و $\bar{S}$ میانگین مقادیر شبیه‌سازی شده است. در این مطالعه اثر اعمال سناریوهای مختلف بر مقادیر افزودنی‌های کربن آلی به خاک طی بازه‌های زمانی مختلف از طریق روابط ۷

1 Chisel

2 Rodweeder

3 No till -N

4 Squared correlation, R2

5 Correlation coefficient, r

6 Root mean square error, RMSE

7 Mean error, ME

و ۸ محاسبه گردید.

$$C \text{ addition (Grassland and Pasture)} = (AGLIVC + BGLIVC) - (SHREMA + SDREM) \quad (\text{رابطه ۷})$$

$$C \text{ addition (Wheat and Pease)} = (AGLIVC + BGLIVC) - (CGRAIN) \quad (\text{رابطه ۸})$$

در این روابط AGLIVC کربن بالای زمین در بیوماس گیاهی (تن در هکتار)، BGLIVC کربن زیرزمینی در بیوماس گیاهی (تن در هکتار)، SHREMA کربن حذف‌شده در اثر چرای دام در گیاه سرپای زنده (تن در هکتار)، SDREMA کربن حذف‌شده در اثر چرای دام در گیاه سرپای مرده (تن در هکتار) و CGRAIN کربن حذف‌شده در دانه برداشت‌شده (تن در هکتار) است.

یافته‌های پژوهشی

ویژگی‌های خاک

نتایج اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ در جدول ۴ نشان داده شده است. بر اساس این نتایج در سال ۲۰۱۸ جرم مخصوص ظاهری عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری کاربری چمنزار (۱/۰۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب) کمترین و کاربری زراعی گندم (۱/۲۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب) بیشترین مقدار را داشتند. جرم مخصوص ظاهری خاک در اعماق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری کاربری‌های چمنزار و مرتع در هر دو سال اختلاف اندکی باهم داشته و کمتر از کاربری‌های اراضی زراعی بودند. نتایج سال ۲۰۱۹ نشان داد در عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری خاک کاربری چمنزار (۱/۱۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب) کمترین و کاربری زراعت گندم و نخود (۱/۲۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب) بیشترین مقادیر را داشتند. بر اساس نتایج سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ عمق ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک، جرم مخصوص ظاهری اندازه‌گیری شده در کاربری مرتع (۱/۱۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب) کمترین و کاربری چمنزار (۱/۳۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب) بیشترین مقدار را داشتند. جرم مخصوص ظاهری در هر چهار کاربری اراضی طی دو سال از سطح به عمق خاک روند افزایشی داشته است که بیشترین آن مربوط به کاربری چمنزار با افزایش ۱۹ درصدی در سال ۲۰۱۸ و ۱۶ درصدی در سال ۲۰۱۹ و کمترین مقدار تغییرات آن در سال ۲۰۱۸ مربوط به کاربری زراعت گندم با افزایش ۱/۶ درصدی و در سال ۲۰۱۹ مربوط به کاربری زراعت نخود با افزایش ۰/۸ درصدی بود. بیشترین مقادیر مربوط به ذخایر کربن آلی خاک سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ در عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری کاربری چمنزار (به ترتیب ۵۰/۶۲ و ۴۹/۳۷ تن در هکتار) و کمترین آن در کاربری گندم (به ترتیب ۲۸/۸۷ و ۲۶/۲۹ تن در هکتار) اندازه‌گیری شد. این تغییرات در سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ برای عمق ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متری در کاربری چمنزار (به ترتیب ۱۵/۳۸ و ۱۴/۶۲ تن در هکتار) بیشترین و در کاربری زراعت گندم (به ترتیب ۹/۸۶ و ۹/۲۴ تن در هکتار) کمترین مقدار بود. میانگین مقادیر ذخایر کربن آلی خاک در کاربری‌های مورد مطالعه در سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ و اعماق صفر تا ۲۰ و ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متری از ترتیب چمنزار < مرتع < نخود < گندم تبعیت می‌کند. بیشترین تغییرات کاهشی ذخایر کربن آلی خاک در کاربری چمنزار بوده که در سال ۲۰۱۹ به میزان ۷۰/۳۸ درصد و در سال ۲۰۱۸ به میزان ۶۹/۶۱ درصد بود. بیشترین مقادیر ذخایر نیتروژن کل محاسبه‌شده در سال ۲۰۱۸ در عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری با ۲/۷۱ تن در هکتار مربوط به کاربری مرتع و کمترین آن با ۲/۴ تن در هکتار مربوط به کاربری اراضی زراعی گندم است. در سال ۲۰۱۹ و در عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری بیشترین و کمترین مقدار ذخایر نیتروژن کل خاک نیز به ترتیب در کاربری‌های مرتع (۲/۶۶ تن در هکتار) و گندم (۲/۴۴ تن در هکتار) محاسبه شد. برخلاف عمق سطحی در عمق ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک بیشترین مقدار ذخایر نیتروژن کل خاک در هر دو سال ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ در کاربری چمنزار به ترتیب با ۱/۰۴ و ۱/۱۰ تن در هکتار و کمترین مقدار آن در کاربری نخود به ترتیب با ۰/۸۱ و ۰/۸۱ تن در هکتار محاسبه گردید.

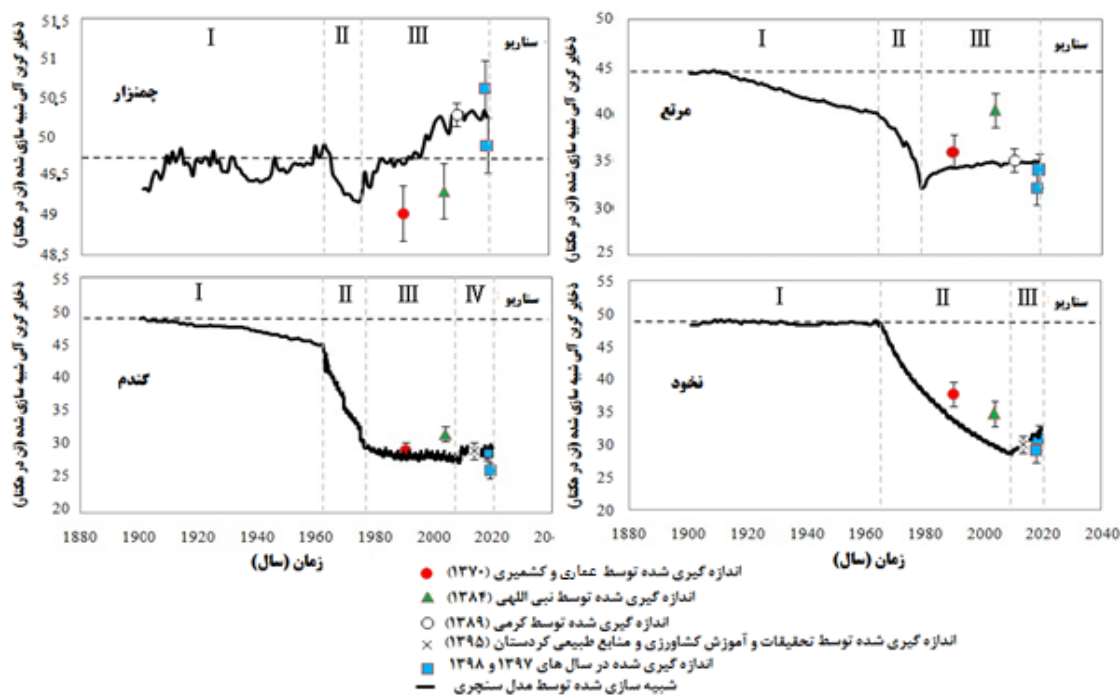
پارامتر بای و واسنجی مدل

پس از تعدیل ضرایب مدل (جدول ۳) در مرحله کالیبراسیون، اعمال دوره‌ها و سناریوهای مدیریت خاک برای کاربری‌های چمنزار، مرتع، کشاورزی شامل زراعت گندم و نخود (جداول ۱ و ۲)، ذخایر کربن آلی و نیتروژن کل خاک برای سال‌های ۱۹۰۰ تا ۲۱۰۰ اراضی منطقه سارال استان کردستان با مدل سنچری شبیه‌سازی شد. با توجه به تفاوت‌های کم مقادیر شبیه‌سازی‌شده نسبت به مقادیر مشاهده‌شده در کاربری‌های موجود، مدل برای شبیه‌سازی چرخه کربن و نیتروژن پس از اعمال مدیریت‌های مختلف (جداول ۱ و ۲) مجدداً واسنجی شد (شکل ۲). مقادیر کربن آلی خاک در کاربری‌های اولیه (چمنزار و مرتع) در منطقه مورد مطالعه سال ۱۹۰۰، توسط مدل بین ۴۵ تا ۵۰ تن در هکتار شبیه‌سازی شد. با گذشت زمان بر اثر اعمال مدیریت‌های مختلف این مقادیر تغییرات پیچیده‌ای داشته است. تشدید چرا در

کاربری‌های مرتع و چمنزار از سال ۱۹۶۳ به بعد هم‌زمان با اجرای قانون ملی شدن جنگل‌ها و مراتع کشور و افزایش صدور مجوزهای چرا تا سال ۱۹۷۹ موجب کاهش مقادیر کربن آلی از ۴۹/۵۰ تا ۴۹/۱۷ تن در هکتار به ترتیب در کاربری چمنزار و ۴۵ تا ۳۲/۱۲ تن در هکتار در کاربری مرتع شده است (شکل ۲).

جدول ۴- متوسط توزیع اندازه ذرات خاک، جرم مخصوص ظاهری و ذخایر کربن و نیتروژن کل خاک در کاربری‌های چمنزار، مرتع و اراضی زراعی.

نوع کاربری	سال مطالعه	عمق نمونه‌برداری (سانتی‌متر)	توزیع اندازه ذرات خاک (درصد)			جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	ذخایر کربن آلی خاک (تن در هکتار)	ذخایر نیتروژن کل خاک (تن در هکتار)
			شن	سیلت	رس			
چمنزار	۱۳۹۷	۰-۲۰	۵۶/۸	۲۴/۶	۱۸/۶	۱/۰۹	۵۰/۶۲	۲/۵۳
	(۲۰۱۸)	۲۰-۳۰	۵۳/۱	۲۴/۳	۲۲/۶	۱/۳۰	۱۵/۳۸	۱/۰۴
	۱۳۹۸	۰-۲۰	۵۵/۷	۲۵/۸	۱۸/۵	۱/۱۲	۴۹/۳۷	۲/۵۲
	(۲۰۱۹)	۲۰-۳۰	۵۱/۰	۲۶/۷	۲۲/۳	۱/۳۰	۱۴/۶۲	۱/۱۰
مرتع	۱۳۹۷	۰-۲۰	۱۸/۸	۲۶/۲	۵۵/۰	۱/۱۱	۳۲/۱۲	۲/۷۱
	(۲۰۱۸)	۲۰-۳۰	۴۵/۵	۲۷/۸	۲۶/۷	۱/۱۴	۱۱/۰۶	۰/۹۴
	۱۳۹۸	۰-۲۰	۱۹/۱	۲۵/۴	۵۵/۵	۱/۱۳	۳۳/۹۸	۲/۶۶
	(۲۰۱۹)	۲۰-۳۰	۴۷/۲	۲۶/۸	۲۶/۰	۱/۱۴	۱۱/۷۶	۰/۸۹
اراضی زراعی گندم	۱۳۹۷	۰-۲۰	۴۹/۳	۲۴/۲	۲۶/۵	۱/۲۵	۲۸/۸۷	۲/۴۰
	(۲۰۱۸)	۲۰-۳۰	۴۴/۴	۲۵/۳	۳۰/۳	۱/۲۷	۹/۸۶	۰/۸۸
	۱۳۹۸	۰-۲۰	۵۱/۳	۲۳/۷	۲۵/۰	۱/۲۲	۲۶/۲۹	۲/۴۴
	(۲۰۱۹)	۲۰-۳۰	۴۹/۰	۲۴/۹	۲۶/۱	۱/۲۶	۹/۲۴	۰/۸۷
اراضی زراعی نخود	۱۳۹۷	۰-۲۰	۴۶/۰	۳۰/۰	۲۴/۰	۱/۲۴	۲۹/۱۶	۲/۵۰
	(۲۰۱۸)	۲۰-۳۰	۳۸/۳	۳۳/۱	۲۸/۶	۱/۲۶	۱۰/۳۴	۰/۸۱
	۱۳۹۸	۰-۲۰	۴۷/۳	۲۵/۴	۲۷/۳	۱/۲۴	۳۰/۹۴	۲/۴۷
	(۲۰۱۹)	۲۰-۳۰	۴۲/۰	۲۹/۷	۲۸/۳	۱/۲۵	۹/۷۴	۰/۸۱



شکل ۲- ذخایر کربن آلی خاک شبیه‌سازی توسط مدل سنجر و واسنجی شده در کاربری چمنزار، مرتع، زراعت گندم و نخود با اعمال دوره‌های متوالی مدیریت خاک از سال ۱۹۰۰ تا ۲۰۲۰ میلادی. نقاط نشان‌دهنده ذخایر کربن آلی اندازه‌گیری شده و میله‌ها انحراف‌های استاندارد را نشان می‌دهند.

نتایج مقادیر کربن آلی بیوماس گیاهی اضافه‌شده به خاک با استفاده از مدل سنچری برای کاربری‌های مورد مطالعه در جدول ۵ ارائه شده است. مقدار کربن آلی اضافه‌شده به خاک با توجه به سناریوهای مدیریت خاک (جدول ۱ و ۲) متغیر بود. مقدار کربن آلی در دوره زمانی ۱۹۰۰ تا ۱۹۶۳ در کاربری‌های چمنزار و زراعت گندم (که قبل از تغییر کاربری دارای پوشش چمنزار بود) ۱/۵۶ تن در هکتار در سال و در کاربری‌های مرتع و زراعت نخود (که قبل از تغییر کاربری مرتع بود) ۱/۴۵ تن در هکتار در سال برآورد شد. بالا بودن مقادیر کربن آلی شبیه‌سازی‌شده در کاربری چمنزار (شکل ۲) احتمالاً به دلیل حفظ رطوبت خاک در ماه‌های کم بارش در اثر بالا بودن سطح ایستابی آب و همچنین قرارگیری در حریم رودخانه‌های موجود در منطقه است که موجب افزایش تراکم پوشش گیاهی و افزایش ورودی کربن آلی به خاک (جدول ۵) در این کاربری نسبت به کاربری مرتع و کاربری‌های زراعی گندم و نخود است. تغییر کاربری اراضی چمنزار و مرتع به زراعت گندم و نخود موجب افت ذخایر کربن آلی خاک در دوره ۱۹۷۷-۱۹۶۴ (II) در زراعت گندم (۱۱۷۵ گرم بر مترمربع) و در دوره II (۲۰۰۹-۱۹۶۴) در زراعت نخود (۱۹۹۴ گرم بر مترمربع) گردید.

جدول ۵- برآورد مقدار کربن آلی اضافه‌شده به خاک ناشی از زیست توده گیاهی با استفاده از مدل سنچری در چهار کاربری مورد مطالعه.

مقدار کربن آلی اضافه‌شده به خاک		دوره یا سناریو (سال میلادی)	مقدار کربن آلی اضافه‌شده به خاک		دوره یا سناریو (سال میلادی)
زراعت گندم	زراعت نخود		کاربری چمنزار	کاربری مرتع	
تن در هکتار در سال	تن در هکتار در سال	(سال میلادی)	تن در هکتار در سال	تن در هکتار در سال	(سال میلادی)
۱/۴۵	۱/۵۶	(I) ۱۹۰۰-۱۹۶۳	۱/۴۵	۱/۵۶	(I) ۱۹۰۰-۱۹۶۳
۰/۴۹	۰/۵۱	(II) ۱۹۶۴-۱۹۷۷	۱/۲۱	۱/۲۷	(II) ۱۹۶۴-۱۹۷۷
۰/۹۲	۰/۹۲	(III) ۱۹۷۸-۲۰۰۹	۱/۵	۱/۷۶	(III) ۱۹۸۰-۲۰۱۹
۱/۵۷	۱/۸۹	(IV) ۲۰۰۹-۲۰۱۹	-	-	-
۱/۵۷	۱/۸۹	۲۰۲۰-۲۱۰۰ (سناریو ۱)	۱/۵	۱/۷۶	۲۰۲۰-۲۱۰۰ (سناریو ۱)
۰/۵۶	۰/۵۱	۲۰۲۰-۲۱۰۰ (سناریو ۲)	۱/۳۳	۱/۲۳	۲۰۲۰-۲۱۰۰ (سناریو ۲)
۲/۵۰	۲/۴۸	۲۰۲۰-۲۱۰۰ (سناریو ۳)	۴/۳	۳/۹۲	۲۰۲۰-۲۱۰۰ (سناریو ۳)

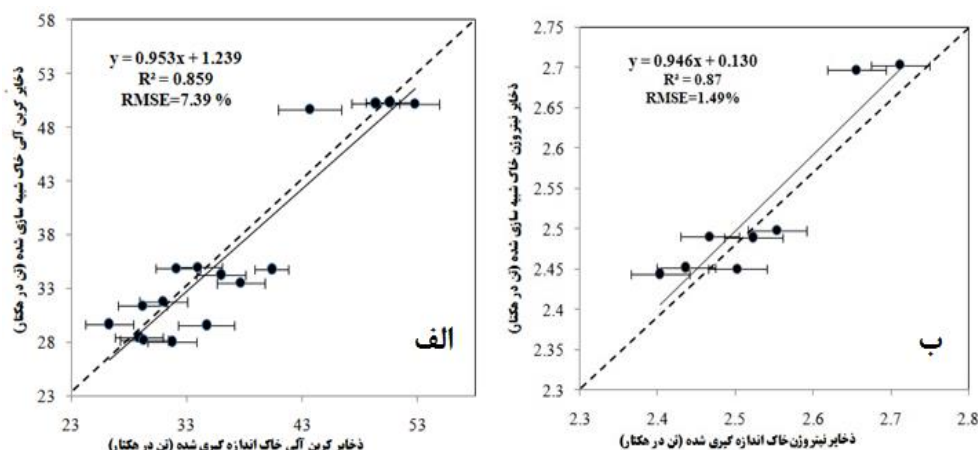
اعتبارسنجی مدل

نتایج اعتبارسنجی توسط تحلیل آماری و مقایسه خروجی‌های مدل با مجموعه‌ای از داده‌های اندازه‌گیری شده در کاربری‌های چمنزار، مرتع، زراعت گندم و نخود در شکل ۳ ارائه شده است. حداکثر اختلاف بین داده‌های ذخایر کربن آلی خاک (شکل ۳ الف) مشاهده شده و شبیه‌سازی شده با تغییرات ۵/۹۷ تن در هکتار (۱۲ درصد) در کاربری چمنزار و در داده‌های اندازه‌گیری شده توسط (Amari and Keshmiri, 1990) و کمترین اختلاف در همان کاربری به مقدار ۰/۲۹ تن در هکتار (۰/۵ درصد) بین داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل و داده‌های مشاهده شده در سال ۲۰۱۸ وجود داشت. اختلاف محاسبه شده در سایر کاربری‌ها از ۵/۵ مگاگرم در هکتار تجاوز نمی‌کرد. اختلاف بین داده‌های ذخایر نیتروژن خاک مشاهده شده و شبیه‌سازی شده در کاربری‌های مطالعه شده (شکل ۳ ب) از ۰/۰۵۷ تن در هکتار تجاوز نکرد با این حال بیشترین اختلاف مربوط به کاربری چمنزار در داده‌های اندازه‌گیری شده و مشاهده شده سال ۲۰۱۹ بود. ضریب همبستگی برای ذخایر کربن آلی و نیتروژن خاک محاسبه شده توسط مدل سنچری بزرگ‌تر از صفر و برابر ۰/۹۳ بود که بیانگر درجه بالایی از ارتباط و همبستگی مثبت بین مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده است. ضریب تعیین معیاری از نسبت واریانس کل است که برای ذخایر کربن آلی خاک ۰/۸۶ و برای ذخایر نیتروژن خاک ۰/۸۷ بود که نشان‌دهنده اختلاف متوسط بین واریانس مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده است (Smith et al., 1997). جذر میانگین مربعات خطا که نشان‌دهنده تفاوت بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده است در سطح اطمینان ۹۵ درصد برای ذخایر کربن آلی و نیتروژن خاک به ترتیب ۷/۳۹ و ۱/۴۹ درصد بود.

اعمال سناریوهای مختلف مدیریت خاک

سناریوهای انتخاب شده برای سال‌های ۲۰۲۰ الی ۲۱۰۰ شامل حفظ وضعیت کنونی (سناریو ۱)، چرای متوسط دام - کود حیوانی (سناریو ۲) و چرای حداقل دام با کوددهی - مدیریت اصولی تناوب زراعی، بی‌خاک‌ورزی و کوددهی (سناریو ۳) هستند. این سناریوها بر اساس پیشینه تاریخی نحوه مدیریت اراضی در منطقه سارال و سیاست‌ها و برنامه‌های کلان وزارت جهاد کشاورزی در استان کردستان (Shamkhi, 2011; Bazargan et al., 2015) انتخاب و مطالعه شده‌اند. هدف از تعریف این سناریوها بررسی تأثیر ادامه روند کنونی

مدیریتی بر ذخایر کربن آلی و نیتروژن کل خاک، بررسی اثرات چرای متوسط دام در شش ماه از سال در کاربری‌های چمنزار و مرتع و مقایسه آن با مدیریت قرق، بررسی تأثیر اضافه کردن کودهای حیوانی بر ذخایر کربن آلی و نیتروژن کل خاک و مقایسه آن با استفاده از اضافه کردن کودهای شیمیایی، بهره‌برداری بهینه از مراتع و چمنزارها با مدیریت تلفیقی چرای دام در سه ماه از سال و کاربرد کود نیتروژنه و مقایسه آن با مدیریت قرق و چرای متوسط دام و در نهایت تأثیر اعمال مدیریت تلفیقی تناوب زراعی، بی‌خاک‌ورزی و کوددهی ترکیبی کودهای آلی - شیمیایی و مقایسه آن با وضعیت کنونی در اراضی زراعی است.



شکل ۳- اعتبارسنجی مدل سنچری با مقایسه داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده شده ذخایر کربن آلی (الف) و نیتروژن کل (ب) خاک در کاربری‌های چمنزار، مرتع، زراعت گندم و نخود در سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۵، ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹.

جدول ۶- ذخایر کربن آلی و نیتروژن کل خاک شبیه‌سازی شده در سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۱۰۰ میلادی و تغییرات آن‌ها طی ۸۰ سال.

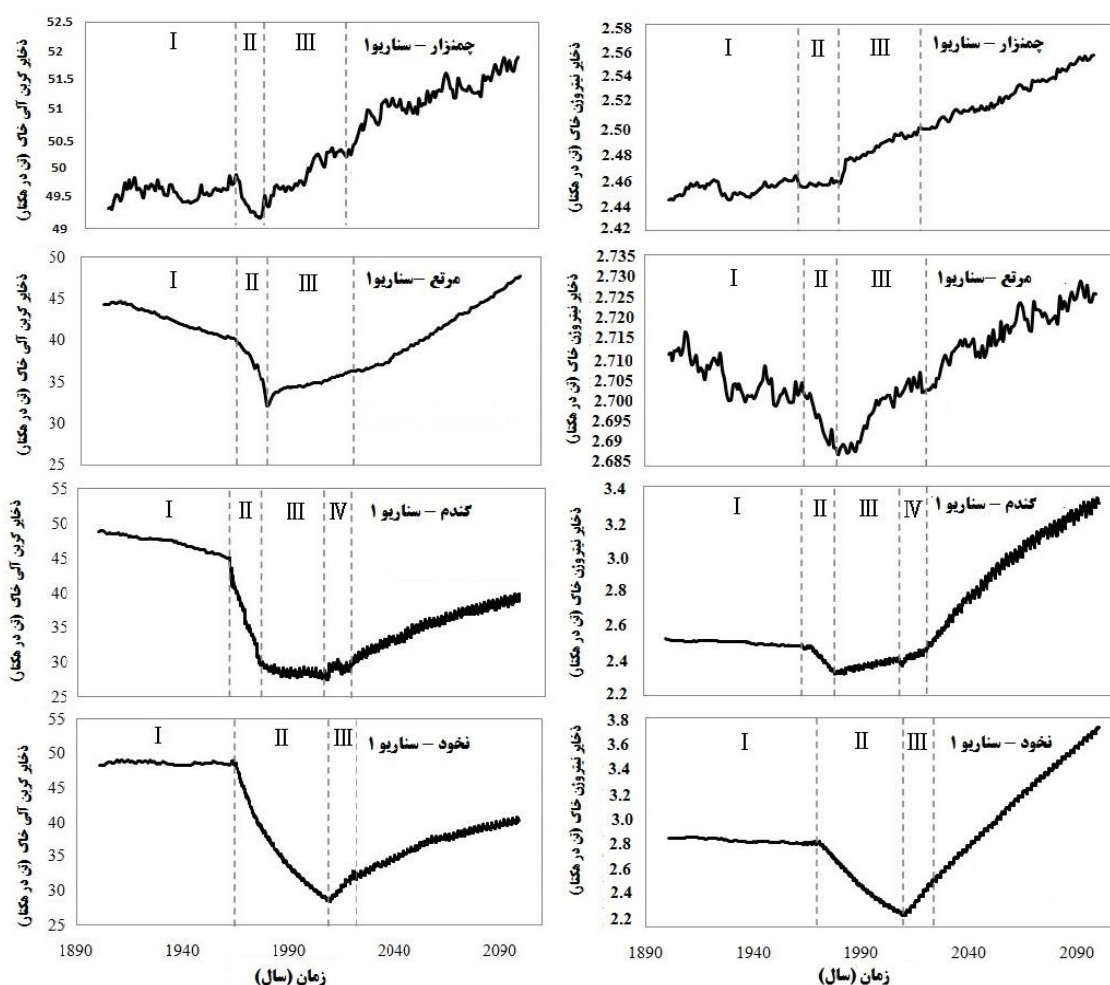
سناریو	ذخایر شبیه‌سازی شده (تن در هکتار)				کاربری چمنزار				کاربری مرتع				زراعت گندم				زراعت نخود			
	۲۱۰۰	۲۰۱۹	۲۱۰۰	۲۰۱۹	۲۱۰۰	۲۰۱۹	۲۱۰۰	۲۰۱۹	۲۱۰۰	۲۰۱۹	۲۱۰۰	۲۰۱۹	۲۱۰۰	۲۰۱۹	۲۱۰۰	۲۰۱۹	۲۱۰۰	۲۰۱۹	۲۱۰۰	۲۰۱۹
کربن آلی	۱	۵۱/۸۹	۱/۶۵	۴۷/۶۱	۱۲/۶۹	۳۸/۵۴	۹/۰۱	۴۰/۹۷	۹/۲۵	۴۰/۹۷	۱	۵۱/۸۹	۱/۶۵	۴۷/۶۱	۱۲/۶۹	۳۸/۵۴	۹/۰۱	۴۰/۹۷	۹/۲۵	۴۰/۹۷
	۲	۵۰/۲۴	۴۸/۹۳	۱۳/۳۱	۳۴/۹۲	۲۵/۷۲	۹/۲۰	۳۹/۵۳	۳/۳۷	۳۲/۹۰	۳۱/۷۲	۳۵/۷۹	۴/۰۷	۳۵/۷۹	۳۱/۷۲	۳۵/۷۹	۴/۰۷	۳۵/۷۹	۳۱/۷۲	۳۵/۷۹
	۳	۷۱/۱۶	۲۰/۹۲	۵۳/۷۵	۱۸/۸۳	۴۳/۱۱	۱۳/۵۸	۴۵/۹۲	۱۴/۲۰	۴۵/۹۲	۳	۷۱/۱۶	۲۰/۹۲	۵۳/۷۵	۱۸/۸۳	۴۳/۱۱	۱۳/۵۸	۴۵/۹۲	۱۴/۲۰	۴۵/۹۲
نیتروژن کل	۱	۲/۵۵	۰/۰۶	۲/۷۲	۰/۰۲	۳/۳۱	۰/۸۶	۳/۷۱	۱/۲۳	۳/۷۱	۱	۲/۵۵	۰/۰۶	۲/۷۲	۰/۰۲	۳/۳۱	۰/۸۶	۳/۷۱	۱/۲۳	۳/۷۱
	۲	۲/۴۹	۲/۳۷	۰/۱۲	۲/۷۰	۲/۶۹	۰/۰۱	۲/۴۵	۰/۲۰	۲/۶۵	۲/۴۸	۲/۶۸	۰/۲۰	۲/۶۸	۲/۴۸	۲/۶۵	۰/۲۰	۲/۶۸	۰/۲۰	۲/۶۸
	۳	۴/۰۱	۱/۵۲	۲/۷۴	۰/۰۴	۳/۳۵	۰/۹۰	۴/۱۶	۱/۶۸	۴/۱۶	۳	۴/۰۱	۱/۵۲	۲/۷۴	۰/۰۴	۳/۳۵	۰/۹۰	۴/۱۶	۱/۶۸	۴/۱۶

Δ: اختلاف مقادیر ذخایر کربن آلی سال ۲۱۰۰ و ۲۰۱۹.

سناریو ۱ حفظ وضعیت کنونی

نتایج مقادیر کربن آلی و نیتروژن کل خاک شبیه‌سازی شده توسط مدل سنچری پس از اعمال سناریوهای مختلف که در جداول ۲ و ۳ برای کاربری‌های چمنزار، مرتع، زراعت گندم و نخود از سال ۱۹۰۰ تا ۲۱۰۰ تعریف شده در اشکال ۴ و ۵ نشان داده شده است. نتایج داده‌های خروجی مدل برای کاربری‌های چمنزار و مرتع با سناریو ۱ که ادامه وضعیت حاضر و اعمال مدیریت عدم چرای دام است (جدول ۶) بیان گر روند افزایشی مقدار کربن آلی خاک بوده و در سال ۲۱۰۰ برای این دو کاربری به ترتیب ۳ و ۳۶ درصد افزایش نشان می‌دهد. افزایش ۳۶ درصدی مقادیر کربن آلی در کاربری مرتع احتمالاً به دلایل مقدار بالای بقایای گیاهی (Sicardi et al., 2004) و توسعه و توزیع ریشه گیاهانی با سرعت تجزیه متوسط و بالا است که می‌تواند منبع مهمی برای کربن مورد نیاز میکروارگانیسم‌های خاک و شرایط افزایش فعالیت میکروبی و میزان زیست‌توده میکروبی خاک شود (Ayoubi et al., 2014; Heidari et al., 2016). حفظ وضعیت کنونی (سناریو ۱) در کاربری زراعت گندم و نخود در دوره ۸۰ سال و تا سال ۲۱۰۰، موجب افزایش مقدار کربن آلی خاک به ترتیب به میزان ۳۰ و ۲۹ درصد خواهد شد (جدول ۶)، اما بر اساس داده‌های برآورد شده توسط مدل سنچری افزایش مقدار کربن آلی خاک در این دو مدیریت

به سطح مقدار اولیه قبل از تغییر کاربری خاک (قبل از ۱۹۶۳) و تخریب پوشش اولیه و بومی منطقه نخواهد رسید (شکل ۴). دلایل اصلی افزایش ذخایر کربن آلی خاک تا پایان قرن ۲۱ در زراعت گندم و نخود پس از اعمال این سناریو را می‌توان به استفاده از خاک‌ورزی‌های حفاظتی در کشت محصول و کوددهی با کود اوره و سوپر فسفات مرتبط دانست. استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی چندکاره (پوشش گندم) و بی‌خاک‌ورری (کاربری نخود) نقش مهمی در کاهش جابجایی ذرات خاک و جلوگیری از تخریب خاکدانه‌های خاک و حفظ حداقل ۳۰ درصد پوشش گیاهی در سطح خاک دارد (Lal, 1997). مقدار نیتروژن کل خاک با سناریو ۱ (شکل ۴) در کاربری‌های مورد مطالعه افزایش داشته و بیشتر از مقدار اولیه در سال ۱۹۰۰ (۱۱/۲ تن در هکتار در چمنزار، ۱/۵ تن در هکتار در مرتع، ۷۷/۵ تن در هکتار در زراعت گندم و ۸۴ تن در هکتار در زراعت نخود) توسط مدل سنچری برآورد شد. عدم چرای دام در کاربری‌های چمنزار و مرتع و نظام‌های خاک‌ورزی حفاظتی و کوددهی با کود اوره از اصلی‌ترین دلایل افزایش نیتروژن خاک است. در سناریو ۱ مقدار نیتروژن خاک در کاربری نخود (تناوب نخود - گندم) تا پایان قرن ۲۱ بیشتر از سایر کاربری‌ها (۳/۷۱ تن در هکتار) شبیه‌سازی شد (جدول ۶). این مقدار احتمالاً نشان از تأثیر مثبت تثبیت بیولوژیک نیتروژن توسط گیاه نخود همراه با عملیات کوددهی است.

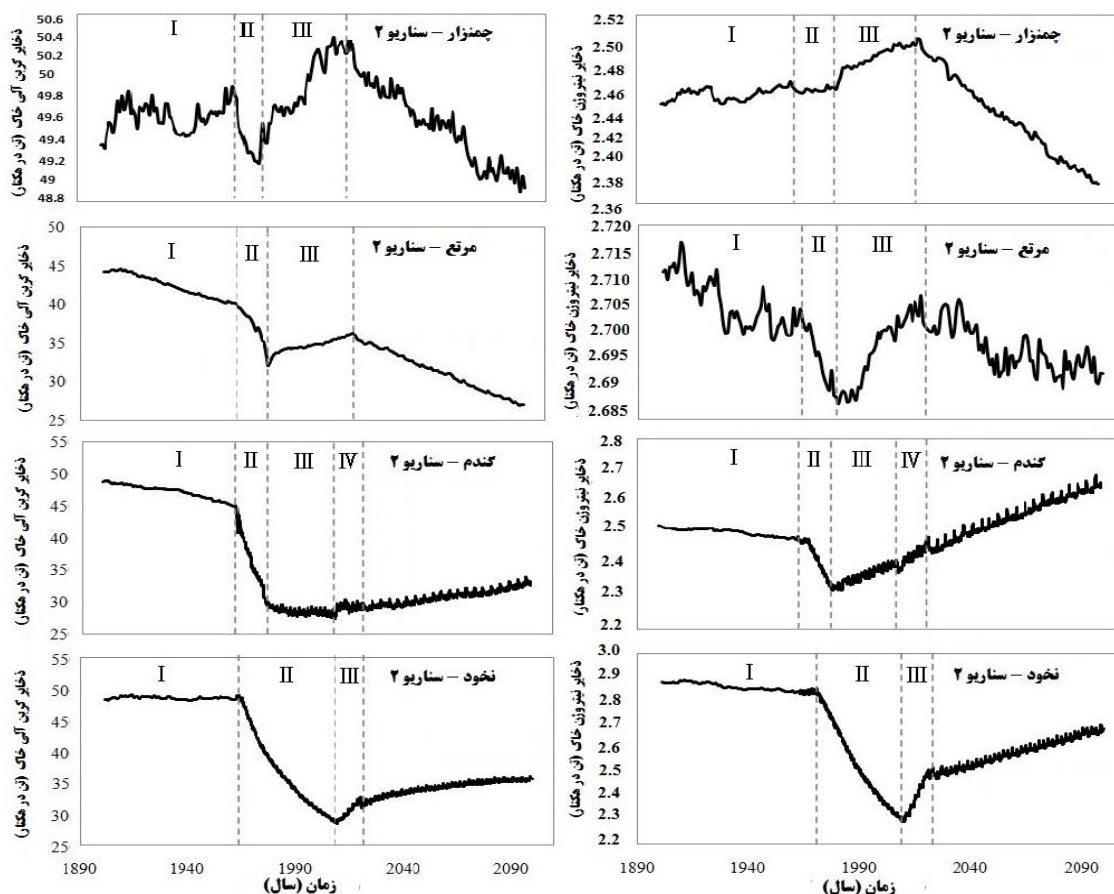


شکل ۴- شبیه‌سازی کربن آلی (تن در هکتار) و نیتروژن کل خاک (تن در هکتار) توسط مدل سنچری در دوره‌های I، II و III با سناریوی ۱ (حفظ وضعیت کنونی) از سال ۲۰۲۰ تا ۲۱۰۰ در کاربری‌های چمنزار، مرتع، زراعت گندم و نخود.

سناریو ۲ چرای متوسط دام بعلاوه کاربرد کود حیوانی

داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل نشان می‌دهد که چرای متوسط دام در شش ماه از سال در سناریو ۲ در کاربری‌های چمنزار و مرتع باعث کاهش مجدد کربن آلی و نیتروژن کل خاک شده و طی ۸۰ سال آینده به ترتیب موجب کاهش ۲/۷ و ۲۶ درصدی کربن آلی خاک نسبت به میزان کربن آلی خاک در مقایسه با وضعیت کنونی خواهد شد (شکل ۵). هدف از تعریف سناریو ۲ برای کاربری‌های زراعت گندم و نخود بررسی نقش استفاده از کود حیوانی به جای کاربرد کود شیمیایی و مقایسه تأثیر هر کدام از آن‌ها بر میزان ذخیره کربن آلی و نیتروژن

کل خاک بود. در این سناریو از میان کودهای حیوانی (آلی) کود پوسیده دام سبک و سنگین که استفاده از آن در میان کشاورزان منطقه رایج بود، استفاده شد. در زراعت گندم از کود دامی (سه تن در هکتار) به صورت چهار سال یکبار و قبل از کشت گندم و نخود استفاده شد. همان طور که در شکل ۵ نشان داده شده است مقدار کربن آلی و نیتروژن کل خاک در سال ۲۱۰۰ به ترتیب ۱۰ و هشت درصد نسبت به وضعیت کنونی افزایش نشان داده است.

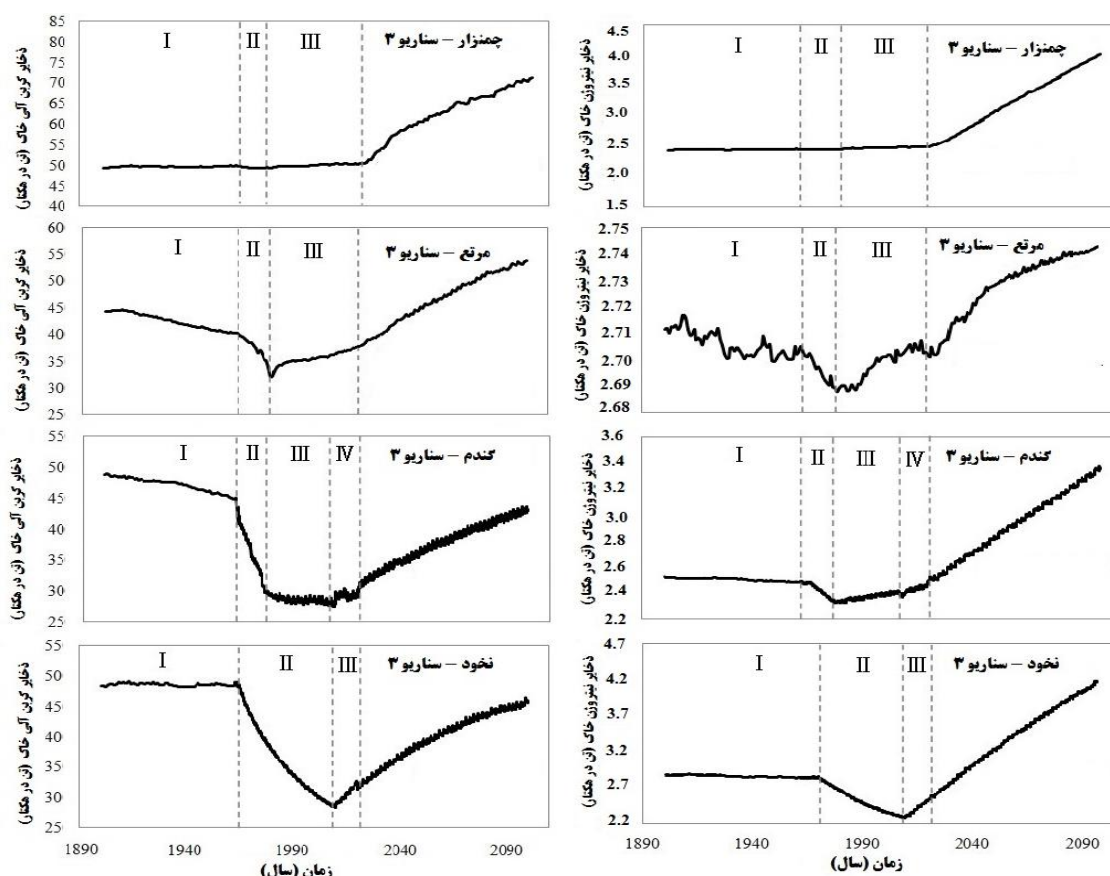


شکل ۵- شبیه سازی کربن آلی (تن در هکتار) و نیتروژن کل خاک (تن در هکتار) توسط مدل سنچری در دوره های I، II و III با سناریوی ۲ (چرای متوسط دام و کاربرد کود حیوانی) از سال ۲۰۲۰ تا ۲۱۰۰ در کاربری های چمنزار، مرتع، زراعت گندم و نخود.

سناریو ۳ (چرای حداقل دام با کود دهی بعلاوه مدیریت اصولی تناوب زراعی، بی خاکورزی و کود دهی)

هدف از تعریف سناریو ۳ برای کاربری های چمنزار و مرتع، بررسی امکان استفاده بهینه از این کاربری ها برای چرای دام با مدت زمان محدود، همراه با اجرای راهکار اصلاحی استفاده از کود نیتروژن است. با تعریف این سناریو به چشم اندازی از تغییرات بلندمدت نسبت به وضعیت کنونی با مدیریت حفظ ذخایر کربن آلی و نیتروژن کل خاک خواهیم رسید. داده های خروجی مدل برای دو کاربری چمنزار و مرتع در سناریو ۳ (جدول ۲) به ترتیب در سال ۲۱۰۰ بیان گر افزایش ۴۲ و ۵۴ درصدی کربن آلی خاک نسبت به سال ۲۰۱۹ است (جدول ۶) و با محاسبه مقادیر سالانه کربن ورودی به خاک (۳/۹۲ تن در هکتار در سال در کاربری چمنزار و ۴/۳ تن در هکتار در سال در کاربری مرتع) (جدول ۵) تأثیر مثبت کوددهی و چرای مدیریت شده به مدت سه ماه بر افزایش بیوماس گیاهی و ذخیره کربن آلی در خاک نشان داده می شود. با اعمال سناریو ۳ مقدار ذخایر کربن آلی شبیه سازی شده در سال ۲۱۰۰ در کاربری های چمنزار و مرتع با افزایش به ترتیب ۱۹/۲۷ و ۶/۱۴ تن در هکتار نسبت به اعمال سناریو ۱ روبرو خواهد شد و این مقدار افزایش نشان دهنده امکان استفاده همزمان چرای دام و منبعی برای ذخیره کربن و نیتروژن در خاک است. طبق مطالعات Schuman et al. (1999) چرای اصولی و تعداد دام مناسب در مرتع موجب افزایش مقدار ماده آلی خاک خواهد شد. با توجه به تعریف سناریو ۳ در کاربری های مرتع و چمنزار ضمن بهره برداری از پوشش گیاهی برای تغلیف دامها (چرای دام) می توان با کوددهی اصولی، مقدار ذخیره و ترسیب کربن در خاک را افزایش و از میزان انتشار گاز کربن دی اکسید به اتمسفر جلوگیری کرد. مقدار نیتروژن خاک شبیه سازی شده در سناریو ۳ (شکل ۶) در کاربری چمنزار بسیار بیشتر از سایر

کاربری‌ها افزایش یافته و در سال ۲۱۰۰ به ۴۰۱ گرم در متر مربع رسیده است که ۱۴۶ تن در هکتار بیشتر از نیتروژن کل شبیه‌سازی شده در سال ۲۱۰۰ نسبت به سناریو ۱ است. این اختلاف زیاد در کاربری چمنزار احتمالاً به دلیل رشد و توسعه زیاد گیاهان علفی یک‌ساله و چندساله و همچنین تجزیه سریع آن‌ها توسط میکروارگانیسم‌های خاک است (Paul et al., 2002). تعیین تناوب زراعی گندم - نخود - گندم - گل‌رنگ، مدیریت کاشت محصول به صورت بی‌خاکورزی و کشت مستقیم، برداشت با کمباین و کوددهی اصولی (جدول ۳) برای دو کاربری زراعت گندم و نخود در سال ۲۱۰۰ باعث افزایش به ترتیب ۴۵/۹ و ۴۴/۷ درصد ذخیره کربن آلی و ۳۶/۷ و ۶۸/۲ درصد ذخیره نیتروژن خاک بیشتر نسبت به وضعیت کنونی سناریوی ۱ شد. در سناریو ۳ برای کاربری‌های زراعت گندم و نخود کشت گیاهانی مانند گل‌رنگ و نخود در تناوب با گندم باعث افزایش بقایای گیاهی، لاش برگ و اجزای سبک ماده آلی خاک شده و با مدیریت کشت بی‌خاکورزی و کاهش تخریب خاکدانه‌ها از سرعت معدنی شدن اجزای کربن کاسته شده و با کود دهی با کودهای شیمیایی و حیوانی باعث افزایش تولید محصول و در نتیجه بالا رفتن کربن ورودی سطحی و زیرزمینی خاک خواهد شد (Paustian et al., 1992; Bayer et al., 2006). داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل سنچری (شکل ۶) نشان داد که در هر چهار نوع کاربری مورد مطالعه و پس از سناریوهای مختلف در سال‌های ۲۰۲۰ الی ۲۱۰۰ بین مقادیر کربن آلی خاک و نیتروژن کل خاک رابطه مستقیمی وجود دارد به طوری که با توجه به نوع کاربری و مدیریت‌های کشاورزی و بهره‌برداری از اراضی، شیب افزایشی و یا کاهشی مقادیر برآورد شده متفاوت بوده که این نتایج با مطالعات Wang et al. (2013)، Althoff et al. (2018) و Karami et al. (2010) مطابقت دارد.



شکل ۶- شبیه‌سازی کربن آلی (تن در هکتار) و نیتروژن کل خاک (تن در هکتار) توسط مدل سنچری در دوره‌های I، II و III با سناریوی ۳ (چرای حداقل دام با کوددهی بعلاوه مدیریت اصولی تناوب زراعی، بی‌خاکورزی و کوددهی) از سال ۲۰۲۰ تا ۲۱۰۰ در کاربری‌های چمنزار، مرتع، زراعت گندم و نخود.

بحث

ویژگی‌های خاک

ذخایر کربن آلی خاک یکی از شاخص‌های اصلی کیفیت خاک و سلامت محیط‌زیست شناخته شده است که دارای حساسیت زیادی نسبت

به تغییر کاربری اراضی، عملیات خاک‌ورزی، تناوب زراعی، عملیات کود دهی و سایر عوامل اثرگذار بر مواد آلی خاک هست (Poeplau et al., 2018; Hobley et al., 2017; Chen et al., 2018; al., 2011). همسو با یافته‌های این پژوهش محققین زیادی کاهش ذخایر کربن آلی خاک را در اثر به زیر کشت بردن اراضی مرتعی و چمنزار گزارش کردند (Liu et al., 2018; Qiu et al., 2017; Van Leeuwen et al., 2017; al., 2019; You et al., 2021).

در هماهنگی با یافته‌های این پژوهش یافته‌های کاهش ذخایر نیتروژن کل خاک در اراضی زراعی و زیر کشت بردن زمین‌های بکر به‌وسیله بسیاری از محققان گزارش شده است (Assis et al., 2010; Geraei et al., 2016; Singh et al., 2016; Liu et al., 2018). نیز میزان کمتر کربن آلی و نیتروژن کل در خاک‌های زراعی را به سوء مدیریت خاک از جمله استفاده نکردن از کودهای آلی، خروج بقایای محصولات از مزرعه، عدم جایگزینی عناصر مغذی و خاک‌ورزی ارتباط داده‌اند. در مقابل در مراتع و چمنزارهای بکر مقدار قابل توجهی مواد آلی از طریق بازگشت ریشه‌ها و لاش برگ‌ها به خاک، منجر به افزایش کربن و نیتروژن آلی در این کاربری‌ها می‌شود (Guan et al., 2018).

پارامتریابی، واسنجی و اعتبارسنجی مدل

چرای دام به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم با برداشت و جابجایی گیاهان، برگشت مواد آلی به خاک از طریق فضولات حیوانی، لگدکوبی و فشار مکانیکی بر خاک بر میزان تولید، تنوع و ثبات پوشش گیاهی مراتع و چمنزارها اثرگذار بوده است (Hickman and Hartnett, 2002). چرای دام در کاربری‌های چمنزار و مرتع از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۹ ممنوع شد و این کاربری‌ها در شرایط مدیریت قرق قرار گرفتند. عدم چرای دام باعث افزایش کربن آلی خاک به میزان دو درصد در کاربری چمنزار و نه درصد در کاربری مرتع نسبت به سال ۱۹۶۳ شده است. Azad and Afzali (۲۰۲۰) در تحقیقی در مراتع منطقه باجگاه شهر شیراز مشابه با نتایج این تحقیق گزارش کردند؛ که قرق مراتع موجب افزایش میران کربن آلی در خاک شده است.

Holechek et al (1989) بیان نمودند در مناطقی که بارندگی سالانه کمتر از ۵۰۰ میلی‌متر باشد سطح ایستابی آب زیرزمینی و رطوبت خاک عامل تعیین‌کننده در تولید بیوماس گیاهی است. تغییر کاربری اراضی و برگرداندن خاک با گاوآهن از سال ۱۹۶۳ تا ۱۹۷۹ به بعد باعث کاهش ورودی کربن آلی به خاک شده به‌طوری‌که میزان آن ۱/۰۵ تن در هکتار در سال در اثر تبدیل کاربری چمنزار به گندم و ۰/۹۶ تن در هکتار در سال در اثر تبدیل مرتع به کشت نخود بوده است. به‌واسطه این تغییر کاربری و از بین رفتن پوشش گیاهی بومی منطقه، فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک و متعاقباً تجزیه مواد آلی خاک افزایش یافته که در نهایت میزان ورودی دی‌اکسید کربن به اتمسفر افزایش یافته است (Leiber-Sauheitl et al., 2013). برخلاف داده‌های شبیه‌سازی شده پس از اعمال سناریو ۱، افزایش مقادیر کربن ورودی خاک پس از اعمال سناریو ۳ (۲/۴۸ تن در هکتار در سال) در کاربری زراعی گندم و کاربری زراعی نخود (۲/۵ تن در هکتار در سال) ناشی از اعمال مدیریت‌های مختلف بی‌خاک‌ورزی و کوددهی با کودهای شیمیایی و کود حیوانی (به‌صورت سه تن در هکتار) و رعایت تناوب گندم با نخود و گل‌رنگ به‌جای آیش بوده که موجب افزایش تثبیت بیولوژیکی نیتروژن در خاک و دسترسی میکروارگانیسم‌های خاک به این عنصر شده و امکان استفاده مجدد توسط گیاهان و افزایش تنوع زیستی را فراهم ساخته است (Siddique et al., 2008). این فرآیند همچنین به بازیافت خاک و تثبیت ماده آلی خاک کمک می‌کند (Nardoto et al., 2008; Althoff et al., 2018).

Golchin and Asgari (2008) در سال‌های اول پس از تغییر کاربری اراضی از مرتع به اراضی زراعی در خاک‌های مناطق شمالی و غربی کشور ۳۰ تا ۷۰ درصد ذخایر کربن آلی و نیتروژن خاک کاهش می‌یابد. تغییر کاربری از مهم‌ترین عوامل تخریب اراضی است که کیفیت و کمیت کربن آلی خاک را تحت تأثیر قرار داده (Murty et al., 2002) و پس از احتراق سوخت‌های فسیلی مهم‌ترین عامل در انتشار کربن به اتمسفر است (Parras-Alcántara et al., 2013). کمپلکس‌های آلی - معدنی خاک عمدتاً بین مواد آلی خاک و اجزا اندازه رس و سیلت هستند که می‌تواند دسترسی میکروبی به کربن گیاهی در داخل خاکدانه‌های خاک را محدود سازند (Six et al., 2006; Bayer et al., 2002b). بیشترین تلفات کربن آلی با مدیریت زراعت می‌تواند به کاهش ورودی بقایای گیاهان، افزایش میزان معدنی شدن بقایای گیاهان بازگردانده شده و اثرات خاک‌ورزی که باعث کاهش میزان حفاظت فیزیکی کربن آلی خاک در خاکدانه شود، نسبت داده شود (Six et al., 2002a, 2002b; Martens et al., 2003) در دوره III در هر دو کاربری زراعت گندم و نخود با اصلاح نوع خاک‌ورزی و کوددهی توسط کودهای نیتروژن و فسفر ذخایر کربن آلی خاک مجدد روند صعودی پیدا کرده است و این افزایش توسط گزارش AREO (2016) در داده‌های جمع‌آوری شده پروژه امنیت غذایی ایکاردا نیز تأیید شده است.

Falloon and Smith (2002) از جذر میانگین مربعات خطا به عنوان اساسی‌ترین عامل در ارزیابی مدل سنچری استفاده کردند. راندمان مدل‌سازی برای ذخایر کربن آلی و نیتروژن خاک برابر $0/88$ و $0/86$ و مثبت بود که نشان می‌دهد مدل شبیه‌سازی ذخایر کربن آلی و نیتروژن کل خاک را بهتر از میانگین حسابی بیان می‌کند (Vereecken et al., 1991). نتایج آماری نشان داد که خروجی‌های مدل سنچری به خوبی روند تغییرات ذخایر کربن آلی و نیتروژن کل خاک را در کاربری‌های مورد مطالعه توصیف و همخوانی مناسبی با هم دارند.

سناریوهای مختلف مدیریت خاک

استفاده از روش‌های کشاورزی حفاظتی بر اساس مدیریت‌های کاهش شخم یا بی‌خاک‌ورزی و نظام‌های برداشت اصولی باعث افزایش تولید زیست‌توده می‌شود که معمولاً به بهبود و افزایش ذخایر کربن آلی خاک می‌شود (Karlen et al., 1998; Mielniczuk et al., 2003; Bortolon et al., 2011). اعمال مدیریت‌های خاک‌ورزی حفاظتی تخلخل خاک و ظرفیت آب قابل دسترس را افزایش (Khurshid et al., 2006) و طبق نتایج Chen et al. (2009) در عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری با مدیریت خاک‌ورزی حفاظتی به طور میانگین $7/3$ درصد کربن آلی و $7/9$ درصد نیتروژن کل خاک بیشتر نسبت به سیستم شخم با گاوآهن ذخیره خواهد شد. (2009) Fontes et al. استفاده از مدل سنچری و یک آزمایش طولانی مدت در شمال اسپانیا نشان دادند که مقادیر ذخیره کربن آلی خاک در سیستم کشت بدون خاک‌ورزی بیشتر از کم خاک‌ورزی و خاک‌ورزی معمولی شبیه‌سازی شده است. این نتایج با داده‌های شبیه‌سازی شده تحقیق حاضر نیز منطبق است. تداوم تناوب دوساله آیش با کشت گندم تأثیر منفی بر افزایش ذخیره کربن آلی خاک داشت، نتایج تحقیقات Upendra et al. (2008) نشان داد که کاهش مدت زمان آیش خاک در تناوب زراعی می‌تواند موجب افزایش ترسیب کربن و نیتروژن خاک شود. برگرداندن علف‌های هرز در سال آیش می‌تواند به عنوان کود زیستی عمل کرده و باعث افزایش کربن زیست‌توده و افزایش فعالیت میکروبی خاک شود (Cherr et al., 2006). زراعت نخود با جایگزینی تناوب نخود - گندم به جای نخود - آیش باعث افزایش کربن آلی خاک (شکل ۴) سریع‌تر از کاربری گندم است، به طوری که مقدار افزایش کربن آلی خاک از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ (دوره III) در کاربری‌های نخود و گندم به ترتیب $2/69$ و $0/52$ تن در هکتار است این شرایط در مورد نیتروژن کل خاک (شکل ۵) نیز برقرار است. Halvorson et al. (2002) گزارش کردند با حذف آیش در تناوب زراعی، کربن آلی خاک افزایش می‌یابد. کوددهی با کود اوره ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در فصل پاییز و ۶۰ کیلوگرم در هکتار در فصل بهار هر دو سال یکبار و کود فسفر ۱۲۵ کیلوگرم در هر هکتار چهار سال یکبار (جدول ۳) نقش بسزایی بر رشد رویشی و افزایش بیوماس گیاهی خواهد داشت و نیتروژن مورد نیاز میکروارگانیزم‌های خاک فراهم شده و موجب افزایش بیوماس میکروبی و رشد این موجودات خواهند شد. Saied et al. (2016) به تأثیر مثبت استفاده از کودهای نیتروژن و فسفر در رشد محصولات زراعی به ویژه در تناوب‌های غلات - لگوم اشاره کردند. نتایج داده‌های شبیه‌سازی شده مطالعه حاضر با نتایج تحقیقات (Bhattacharyya et al., 2007; Tornquist et al., 2009; Bortolon et al., 2011) مؤید آن بود که مدل سنچری به صورت موفقیت‌آمیزی اثر عوامل اصلاح مدیریت از جمله کوددهی را بر مقدار ماده آلی و نیتروژن کل خاک نشان می‌دهد.

Bordeleau and Prevost (1994) بیان کردند که تثبیت نیتروژن به روش همزیستی در گیاه نخود علاوه بر این که بخش اصلی نیتروژن تثبیت شده به مصرف گیاه می‌رسد، خاک نیز از لحاظ نیتروژن تقویت می‌شود. پس از کاربری زراعت نخود، کاربری زراعت گندم با $3/31$ تن در هکتار دارای بیشترین مقدار نیتروژن کل خاک بود که احتمالاً یکی از اصلی‌ترین دلایل آن استفاده از کودهای نیتروژن است. کود دامی به عنوان جایگزین طبیعی کودهای شیمیایی، نقش مثبت و غیرقابل انکاری در مدیریت پایدار خاک و در نهایت پایداری کل سیستم دارد (Kennedy et al., 2004) و علاوه بر اثرات مثبت بیولوژیکی و اصلاح خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک این نوع کاربرد کود به دلیل آزاد شدن آهسته عناصر غذایی موجود در آن در محیط زیست نیز آلودگی کمتری ایجاد می‌کند (Taghdisi Heydari et al., 2019). کوددهی با کودهای نیتروژنه و فسفره در مراتع در صورت وجود بارش باران با پراکندگی مناسب در طول سال ضمن افزایش تولید بیوماس گیاهی (Lakhani et al., 1985) باعث رشد بیشتر گونه‌های علفی گندمی می‌شود که سرعت تجزیه بیشتری نسبت به سایر گونه‌های مرتعی خواهند داشت (Owensby et al., 1970) و مقدار کربن آلی و نیتروژن خاک را افزایش خواهد داد. Bandaranayake et al. (2003) با استفاده از داده‌های شبیه‌سازی توسط مدل سنچری در کاربری چمنزار و مرتع بیان کردند که کوددهی با کود نیتروژن (۷۵ کیلوگرم در هکتار در سال) در این کاربری‌ها می‌تواند ذخایر کربن آلی و نیتروژن خاک را طی یک دوره زمانی ۱۵ ساله به ترتیب ۴۸ و ۶۴ درصد افزایش دهد.

Dimasi et al. (2018) نشان داد که حذف آیش از مدیریت کشاورزی و اعمال سناریوهای تناوب حبوبات و دانه‌های روغنی با گندم موجب افزایش ورودی کربن آلی به خاک در داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل سنچری خواهد شد. دینامیک کربن آلی خاک تابعی از

بقایای گیاهی افزوده شده به خاک، مقدار لاش برگ، اجزا کربن محلول و غیرمحللول، نسبت معدنی شدن اجزاء کربن، کربن ورودی سطح زمین، ورودی های زیرزمینی و درجه تخریب خاکدانه های خاک است (Post and Kwon, 2000). Abdolahi et al. (2015) با بررسی اثرات تناوب های زراعی مختلف گندم بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک و عملکرد محصول مشاهده کردند که بعد از تناوب ماشک - گندم تناوب های زراعی گل رنگ - گندم، نخود - گندم و گندم - گندم به ترتیب بیشترین تأثیر را بر ذخیره کربن آلی خاک در جایگزین با تناوب گندم - آیش داشته است. بررسی منابع نشان داد که مقدار کربن آلی خاک تحت مدیریت های اصولی کشاورزی، مرتع و چمنزار در درازمدت می تواند از مقدار کربن آلی خاک در شرایط اولیه بومی فراتر رود (Ouyang et al., 2014). با این حال، برخی از مطالعات دیگر حاکی از وجود یک سطح اشباع کربن آلی بر اساس فرآیندهای فیزیکوشیمیایی در طولانی مدت است که ترکیبات آلی را در خاک تثبیت یا محافظت می کند (Six et al., 2002b). نتایج داده های شبیه سازی شده توسط مدل سنچری در این مطالعه در محصولات زراعی گندم و نخود سال ۲۱۰۰ نشان از کم شدن شیب نمودار افزایش کربن آلی خاک و رسیدن به یک حالت تعادل دارد. سایر آزمایش های میدانی از رابطه طولانی مدت مستقیم بین ورودی کربن آلی خاک و ذخایر خاک آلی خاک را بین تیمارها نشان می دهند (Paustian et al., 1992; Bayer et al., 2006).

نتیجه گیری و پیشنهادها

نتایج داده های خروجی توسط مدل سنچری نشان داد که کاربری های چمنزار، مرتع، زراعت گندم و نخود با مدیریت های متنوع خاک اثرات متفاوت و پیچیده ای بر ذخایر کربن آلی و نیتروژن کل خاک خواهند داشت. تغییر کاربری و مدیریت خاک در طی یک دوره طولانی کشاورزی و تناوب زراعی محصول - آیش باعث افت ذخایر کربن آلی و نیتروژن کل خاک شد. جلوگیری از چرای بی رویه و شدید در کاربری های چمنزار و مرتع تأثیر بسزایی بر جبران ذخیره کربن آلی و نیتروژن در خاک داشت و مدل سنچری کالیبره شده به خوبی اثرات این تغییرات را شبیه سازی کرده است. شبیه سازی خاک ورزی حفاظتی و بی خاک ورزی که از سال ۲۰۱۰ به ترتیب در کاربری های گندم و نخود شروع شده و حذف مدیریت آیش در کاربری زراعی نخود از همان سال و ادامه آن تا سال ۲۱۰۰، افزایش میزان کربن ورودی به خاک و بازیافت قابل توجهی از ذخایر کربن آلی را نشان داد. مدیریت چرای حداقل همراه با مصرف کود اوره در کاربری های مرتع و چمنزار و رعایت تناوب زراعی گندم - نخود - گندم - گل رنگ و بی خاک ورزی به همراه کشت مستقیم همراه با کوددهی با کود اوره، سوپر فسفات و کود حیوانی به عنوان بهترین سناریو (سناریو ۳) در ذخایر کربن آلی و نیتروژن کل خاک و همچنین تولید پایدار در زراعت گندم و نخود در منطقه سارال کردستان شناسایی شد. با این حال ذخایر کربن آلی شبیه سازی شده در کاربری های زراعی گندم و نخود هنوز هم پایین تر از ذخایر تخمین زده شده در کاربری های بومی قبل از تبدیل به کشاورزی است. ارزیابی نتایج نشان داد مدل سنچری جزو مدل های کارآمد برای پیشنهاد سناریوهای جایگزین که شامل بهترین شیوه های مدیریتی جهت افزایش تولید محصولات کشاورزی و کیفیت خاک در مناطق مختلف همچون منطقه سارال است.

هیچگونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد.

منابع

- تقدیسی حیدریان، سیده زهره؛ خراسانی، رضا؛ امامی، حجت. (۱۳۹۷). تأثیر زئولیت و کود گاوی بر برخی ویژگی های فیزیکی خاک، مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک ۲۵(۵)، ۱۶۶-۱۴۹.
- حیدری، پریسا؛ حجتی، سعید؛ عنایتی ضمیر، نعیمه؛ رعیت پیشه، امیر. (۱۳۹۶). تأثیر تغییر کاربری اراضی بر ذخیره کربن آلی و برخی ویژگی های بیولوژیکی خاک در بخشی از حوزه ی آبخیز رکمت در استان خوزستان. تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۳۴(۱)، ۱۸۱-۱۹۲.
- عبدالهی، عبدالوهاب؛ نعمتی، عادل؛ ولیزاده، غلامرضا. (۱۳۹۳). بررسی اثرات تناوب های زراعی مختلف گندم در خصوصیات فیزیکو-شیمیایی خاک و عملکرد اقتصادی در شرایط دیم کرمانشاه. زراعت دیم ایران، ۳(۲)، ۱۷۱-۱۶۱.
- عماری، پرویز؛ کشمیری، فخرالدین. (۱۳۷۰). مطالعات تفصیلی دقیق خاکشناسی و طبقه بندی اراضی برای آبیاری و دیم کاری ایستگاه تحقیقاتی خرکه (سارال) استان کردستان، موسسه تحقیقات خاک و آب، نشریه شماره ۸۳۷: ۱۳۱.
- نبی الهی، کمال. (۱۳۸۴). تحول کانی های رسی و ارتباط آن ها با شکل های مختلف پتاسیم در خاک های ایستگاه تحقیقاتی خرکه، استان کردستان. پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

یزدان‌پرست، پریسا. (۱۳۸۶). بررسی ارتباط فاکتورهای پوشش گیاهی و خصوصیات رویشگاهی (ادافیک و فیزیوگرافیک)، مطالعه موردی ایستگاه تحقیقاتی سارال در استان کردستان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مرتع‌داری دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات.

REFERENCES

- Abdolahi, A., Nemati, A., & Valizadeh, G.R. (2015). Study on effects of different crop rotations based on wheat on soil physicochemical properties and economical performance in dryland condition of Kermanshah. *Iranian Journal of Rainfed Agriculture*. 2(2), 161-202. (In Persian)
- Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO). (2016). *Enhancing food security in Iran*.
- Althoff, T.D., Menezes, R.S.C., de Siqueira Pinto, A., Pareyn, F.G.C., de Carvalho, A.L., Martins, J.C.R., de Carvalho, E.X., da Silva, A.S.A., Dutra, E.D., & Sampaio, E.V.D.S.B. (2018). Adaptation of the century model to simulate C and N dynamics of Caatinga dry forest before and after deforestation. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 254, 26-34.
- Amari, P., & Keshmiri, F. (1990). Soil studies and land classification for irrigation and taming of Saral Research Station in Kurdistan Province. *Soil and Water Research Institute. Technical Journal* No. 837. (In Persian)
- Assis, C.P., de Oliveira T.S., da Nóbrega Dantas J. d. A., & de Sá Mendonça E. (2010). Organic matter and phosphorus fractions in irrigated agroecosystems in a semi-arid region of Northeastern Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 138(1-2), 74-82.
- Ayoubi, S., Emami, N., Ghaffari, N., Honarjoo, N., & Sahrawat, K. L. (2014). Pasture degradation effects on soil quality indicators at different hillslope positions in a semiarid region of western Iran. *Environmental Earth Sciences*. 71, 375-381.
- Azad, B., & Afzali, S.F. (2020). 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. *Soil Management and Sustainable Production*. 9(4), 69-78.
- Bayer, C., Martin-Neto, L., Mielniczuk, J., Diekow, J., & Amado, T.J.C. (2006). C and N stocks and the role of molecular recalcitrance and organomineral interaction in stabilizing soil organic matter in a subtropical Acrisol managed under no-tillage. *Geoderma*. 133, 258-268.
- Bhattacharyya, T., Pal, K., Easter, M., Williams, S., Paustian, K., Milne, E., & Chandran P. (2007). Evaluating the Century C model using long-term fertilizer trials in the Indo-Gangetic Plains, India. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 122 (1), 73-83.
- Black, A.L. (1986). Bulk density. In: Editor Methods of soil analysis. Part 1. *Physical and Mineralogical Method*. SSSA/ASA. Agronomy Monograph 9(4), 374-380.
- Bordeleau, I.M., & Prevost, D. (1994). Nodulation and nitrogen fixation in extreme environment. *Plant and Soil*. 161, 115-125.
- Bortolon, E., Mielniczuk, J., Tornquist C., Lopes, F., & Fernandes, F. (2009). Simulação da dinâmica do carbono e nitrogênio em um Argissolo do Rio Grande do Sul usando o modelo Century. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 33(6), 1635-1646.
- Bortolon, E.S.O., Mielniczuk, J., Tornquist, C.G., Lopes, F., & Bergamaschi, H. (2011). Validation of the Century model to estimate the impact of agriculture on soil organic carbon in Southern Brazil. *Geoderma*. 168, 156-166.
- Bremner, J.M., & Mulvaney, C.S. (1982). Nitrogen-total. In: Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties*, second ed. *American Society of Agronomy, Madison*. WI, pp. 595-624.
- Carter, M., Gregorich, E., Acosta-Mercado, S., Anderson, D., & Lynn, T. (2008). Methods in soil protozoa. In: *Soil Sampling and Methods of Analysis classification in semiarid mountainous environments*. *Geoderma*. 193, 13-21.
- Cerri, C.E.P., Coleman, K., Jenkinson, D.S., Bernoux, M., Victoria, R., & Cerri, C.C. (2003). Modeling soil carbon from forest and pasture ecosystems of Amazon, Brazil. *Soil Science Society of America Journal*. 67(6), 1879-1887.
- Chen, H. Q., Marhan, S., Billen N., & Stahr, K. (2009). Soil organic carbon and total nitrogen stocks as affected by different land uses in Baden-Wurttemberg, southwest Germany. *Journal Plant. Nutrition Soil Science*. 172, 32-42.
- Chen, S., Wang, W., Xu, W., Wang, Y., Wan, H., Chen, D., Tang, Z., Tang, X., Zhou, G., Xie, Z., Zhou, D.,



- Shangguan, Z., Huang, J., He, J.S., Wang, Y., Sheng, J., Tang, L., Li, X., Dong, M., Wu, Y., Wang, Q., Wang, Z., Wu, J., Chapin, F.S., & Bai, Y. (2018). Plant diversity enhances productivity and soil carbon storage. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 115 (16), 4027–4032.
- Chen, Y., Li, Y., Zhao, X., Awada, T., Shang, W., & 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.
- Cui, X., Wang, Y., Niu, H., Wu, J., Wang, S., Schnug, E., Rogasik, J., Fleckenstein, J., & Tang, Y. (2005). Effect of long-term grazing on soil organic carbon content in semiarid steppes in Inner Mongolia. *Ecological Research*. 20, 519-527.
- Derner, J., & Schuman, G. (2007). Carbon sequestration and rangelands: a synthesis of land management and precipitation effects. *Journal of Soil and Water Conservation*. 62, 77-85.
- Falloon, P., & Smith, P. (2002). Simulating SOC changes in long-term experiments with RothC and CENTURY: model evaluation for a regional scale application. *Soil Use and Management*. 18(2), 101–111.
- Falloon, P., Jones, C.J., Cerri, C.E., Al-Adamat, R., Kamoni, P., Bhattacharyya, T., Easter, M., Paustian, K., Killian, K., Coleman, K., & 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.
- Geraei, D.S., Hojati, S., Landi, A., & Cano, A.F. (2016). Total and labile forms of soil organic carbon as affected by land use change in southwestern Iran. *Geoderma Regional*. 7(1), 29-37.
- Gilmanov, T.G., Parton, W.J., & Ojima, D.S. (1997). Testing the 'CENTURY' ecosystem level model on data sets from eight grassland sites in the former USSR representing a wide climatic/soil gradient. *Ecological Modelling*. 96 (1-3), 191-210.
- Goh, T.B., Arnaud, R.J., & Mermut, A.R. (1993). Aggregate stability to water. In: Carter, M.R. (ed). *Soil Sampling and Methods of Analysis*. Canadian Society of Soil Science. Lewis Publishers, Boca Raton. 177-180.
- Golchin, A., & Asgari, H. (2008). Land use effects on soil quality indicators in northeastern Iran. *Australian Journal of Soil Research*. 46, 27–36.
- Gomes, A.G., & Varriale, M.C. (2004). Modelagem de ecossistemas: uma introdução. *UFMS, Santa Maria*, 2nd ed. 503 p. (In Portuguese)
- Guan, Z.H., Li X.G., Wang L., Mou X.M., & Kuzyakov Y. (2018). Conversion of Tibetan grasslands to croplands decreases accumulation of microbially synthesized compounds in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 123: 10-20.
- Gupta, S., & Kumar, S. (2017). Simulating climate change impact on soil carbon sequestration in agro-ecosystem of mid-Himalayan landscape using CENTURY model. *Environment Earth Science*. 76, 394.
- Halvorson, A.D., Peterson, G.A., & Reule, C.R. (2002). Tillage system and crop rotation effects on dryland crop yields and soil carbon in the central Great Plains. *Agronomy Journal*. 94, 1429–1436.
- Heidari, P., Hojati, S., Enayatizamir, N., & Rayatpisheh, A. (2016). Effects of land use change on C stock and some biological characteristics of soils in parts of Rakaat watershed, east of Khuzestan province. *Iranian Journal of Range and Desert Research*. 24, 819-835. (In Persian)
- Hickman, K. R., & Hartnett, D. C. (2002). Effects of grazing intensity on growth, reproduction, and abundance of three palatable forbs in Kansans tallgrass prairie. *Plant Ecology*. 159, 23-24.
- Hobley, E., Baldock, J., Hua, Q., & Wilson, B. (2017). Land-use contrasts reveal instability of subsoil organic carbon. *Global Change Biology*. 23 (2), 955–965.
- Holechek, J. L. Pipe r, R.D., & Carlton, H.H. (1989) *Range Management: Principles and Practices*. Third edition. Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Jagadamma, S., & Lal, R. (2010). Distribution of organic carbon in physical fractions of soils as affected by agricultural management. *Biology and Fertility of Soils*, 46(6), 543-554.
- Kaczynski, R., Siebielec, G., & Hanegraaf, C. (2017). Modelling soil carbon trends for agriculture development scenarios at regional level. *Geoderma*. 286, 104-115.
- Kane, D., & Solutions, L.L.C. (2015). Carbon sequestration potential on agricultural lands: a review of current science and available practices. In *Natl. Sustain. Agric. Coalit. Wash. DC USA*.
- Karami, P. (2010). Simulation of rangeland ecosystems performance in west of Iran using CENTURY model (Case study: Saral region of Kurdistan). Ph.D Thesis in Rangeland Science, *Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources*.
- Karlen, D.L., Kumar, A., Kanwar, R.S., Cambardella, C.A., & Colvin, T.S. (1998). Tillage system effects on 15-year carbon-based and simulated N budgets in a tile-drained Iowa field. *Soil Tillage Research*. 48,

155-165.

- Kennedy, I. R., Choudhury, A. T. M. A., Kecskes, M. L., Roughley R. J., & Hien, N. T. (2004). Non symbiotic bacterial diazotrophs in crop-farming systems: can their potential for plant growth promotion be better exploited? *Soil Biology & Biochemistry*. 36(8), 1229-1244.
- Klute, A. (1986). Water retention: Laboratory methods. In: Klute, A. (ed). *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. 2nd ed. Agron. Monog. 9. ASA/SSSA, Madison. 635-662.
- Lakhani, D. B. N. K., Brown, M. C., & Park, D. G. (1985). Early seral communities in ulimestone quarry: and experimental study of treatment effects on cover and richness of vegetation. *Journal of Applied Ecology*. 22, 90-473.
- Lal, R. (2001). Potential of desertification control to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. *Climate Change*. 51, 35-72.
- Lefèvre, C., Rekik, F., Alcantara, V., & Wiese, L. (2017). Soil organic carbon: the hidden potential. *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*.
- Leiber-Sauheitl, K., Fuß, R., & Freibauer. M. (2013). High greenhouse gas fluxes from grassland on histic gleysol along soil carbon and drainage gradients. *Biogeosciences*. 10, 11283-11317
- Leite, L.F.C., Mendonça, E.S., & Machado, P.L.O.A. (2004). Simulação pelo modelo Century da dinâmica da matéria orgânica de um argissolo sob adubação mineral e orgânica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 28, 347-358 (In Portuguese).
- Liu, D., Huang Y., An, S., Sun H., Bhople P., & Chen Z. (2018). Soil physicochemical and microbial characteristics of contrasting land-use types along soil depth gradients. *Catena*. 162: 345-353.
- Lopes, F., Merten, G.H., Mielniczuk, J., Tornquist, C.G., & Oliveira, E.S. (2008). Simulação da dinâmica do carbono do solo num microbacia rural pelo modelo Century. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 43(6), 745-753.
- Martens, D.A., Reedy, T.E., & Lewis, D.T. (2003). Soil organic carbon content and composition of 130-year crop, pasture and forest land-use managements. *Global Change Biology*. 10, 65-78.
- Mcsherry, M.E., & Ritchie, M.E. (2013). Effects of grazing on grassland soil carbon: a global review. *Global Change Biology*. 19, 1347-1357.
- Metherel, A.K., Harving, L.A., Cole, C.V., & Parton, W.J. (1994). Century: soil organic matter model environment. *Technical Documentation Agrosystem Version 4.0*. USDAARS, Fort Collins.
- Mielniczuk, J., Bayer, C., Vezzani, F.M., Lovato, T., Fernandes, F.F., & Debarba, L. (2003). Manejo de solo e culturas e sua relação com o estoque de carbono e nitrogênio do solo. *Tópico em Ciência do Solo*. 3, 209-241 (In Portuguese)
- Musinguzi, P., Ebanyat, P., Tenywa, J.S., Mwanjalolo, M., Basamba, T.A., Tenywa, M.M., & Porter, C. (2014). Using DSSAT-CENTURY model to simulate soil organic carbon dynamics under a low-input maize cropping system. *Global Biogeochemical Cycles*. 8, 105-123.
- Nabiollahi, K. (2005). Evolution of clay minerals and their relationship with different forms of potassium in the soils of Kharkeh research station in Kurdistan province. M.Sc. *Thesis in Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources*. (In Persian).
- Nardoto, G.B., Ometto, J.P.H.B., Ehleringer, J.R., Bastamante, M.M.C., & Martinelli, L.A. (2008). Understanding the influences of spatial patterns on N availability within the Brazilian Amazon Forest. *Ecosystems*. 11, 1234-1246.
- NREL. Natural Resource Ecology Laboratory. Century 4. Available at: www.nrel.colostate.edu/projects/century (Verified in 5 December 2009).
- Ouyang, W., Shan, Y., Hao, F., & Lin, C. (2014). Differences in soil organic carbon dynamics in paddy fields and drylands in northeast China using the CENTURY model. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 194, 38-47.
- Owensby, C.E., Myde, R.M., & Anderson, K.L. (1970). Effects of clipping and supplemental nitrogen and water on loamy upland bluestem range. *Journal of Range Management*. 23, 6-341.
- Pachauri, R. K., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., & van Ypersele, J. P. (2014). Climate change 2014: synthesis report. *Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (p. 151). IPCC.
- Page, A.L., Miller, R.H., & Keeney, D.R. (1992). (ed.). *Methods of soil analysis. Part. II*. 2nd. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI. 1159.
- Parras-Alcántara, L., Martín-Carrillo, M., & Lozano- García, B. (2013). Impacts of land use change in soil carbon and nitrogen in a Mediterranean agricultural area (Southern Spain). *Solid Earth*. 4, 167-177.
- Parton, W.J., Schimel, D.S., Cole, C.V., & Ojima, D.S. (1987). Analysis of factors controlling soil organic



- matter levels in Great Plains Grasslands 1. *Soil Science Society of America Journal*. 51 (5), 1173-1179.
- Parton, W.J., Scurlock, J.M.O., Ojima, D.S., Gilmanov, T.G., Scholes, R.J., Schimel, D.S., Kirchner, T., Menaut, J.C., Seastedt, T., Garcia Moya, E., & Kamnalrut, A. (1993). Observations and modeling of biomass and soil organic matter dynamics for the grassland biome worldwide. *Global biogeochemical cycles*. 7 (4), 785-809.
- Parton, W.J., Stewart, J.W., & Cole, C.V. (1988). Dynamics of C, N, P and S in grassland soils: a model. *Biogeochemistry*. 5 (1), 109-131.
- Paustian, K., Lehmann, J., Ogle, S., Reay, D., Robertson, G.P., & Smith, P. (2016). Climate-smart soils. *Nature*. 532 (7597), 49-67.
- Paustian, K., Parton, W.J., & Persson, J. (1992). Modeling soil organic matter in organic amended and nitrogen-fertilized long-term plots. *Soil Science Society of America Journal*. 56, 476-488.
- Poeplau, C., Don, A., Vesterdal, L., Leifeld, J., Van Wesemael, B., Schumacher, J., & Gensior, A. (2011). Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone-carbon response functions as a model approach. *Global Change Biology*. 17, 2415-2427.
- Qiu, X., Peng, D., Wang, H., Wang, Z., & Cheng, S. (2019). Minimum data set for evaluation of stand density effects on soil quality in *Larix principis-rupprechtii* plantations in North China. *Ecological Indicators*. 103, 236-247.
- Saied, M. S., Ghanbari, A., Ramroudi, M., & Khezri, A. (2016). Effects of Green Manure Management and Fertilization Treatments on the Chemical and Physical Properties and Fertility of Soil. *Water and Soil Science*. 21, 37-49.
- Schuman, G. E., Reeder, J. D., Manley, J.T, Hart, R. H., & Manley, W. A. (1999). Impact of grazing management on the carbon and nitrogen balance of a mixed – grass rangeland. *Ecological Applications*. 9, 65-71.
- Sharifzadegan, M.H. (2019). Reviewing and preparing the planning document of Kurdistan province. *Shahid Beheshti University. Tehran*.
- Sicardi, M., Garcia-Prechac F., & Frioni L. (2004). Soil microbial indicators sensitive to land use conversion from pastures to commercial *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) plantations in Uruguay. *Applied Soil Ecology*. 27, 125-133.
- Siddique, I., Engel, V.L., Parrotta, J.A., Lamb, D., Nardoto, G.B., Ometto, J.P.H.B., Martinelli, L.A., & Schmidt, S. (2008). Dominance of legumes trees alters nutrient relations in mixed species forest restoration plantings within seven years. *Biogeochemistry*. 88, 89-101.
- Singh, A.K., Rai A., & Singh N. (2016). Effect of long term land use systems on fractions of glomalin and soil organic carbon in the Indo-Gangetic plain. *Geoderma*. 277, 41-50.
- Six, J., Conant, R.T., Paul, E.A., & Paustian, K. (2002a). Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. *Plant and Soil*. 241, 155-176.
- Six, J., Feller, C., Denef, K., Ogle, S.M., Sá, J.C.M., & Albrecht, A. (2002b). Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils - effects of no-tillage. *Agronomy*. 22, 755-775.
- Soil Survey Staff. (2014). Keys to Soil Taxonomy, 12th ed. *USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC*.
- Taghdisi Heydarian, Z., Khorasani, R., & Emami, H. (2019). Effect of zeolite and cow manure on some physical properties of soil. *Iranian Journal of Water and Soil Conservation*. 25(5), 149-166. (In Persian)
- Tornquist, C.G., Mielniczuk, J., & 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.
- Trumbmore, S.E., Davidson, E.A., Barbosa, P., Nepstad, D.D. & Martinelli, L.A. (1995). Belowground cycling of carbon in forests and pastures of eastern Amazonia. *Global Biogeochemical Cycles*. 9, 515-528.
- UNFCCC. (2015). Decision 1/CP.21: Adoption of the Paris Agreement. Paris Climate Change Conference; 2015 Nov 30-Dec 11; Paris, France.
- Uppendra, M.S., Zachary, N.S., Ermson, Z.N., Irenus, A.T., & Reddy, K.C. (2008). Soil carbon and nitrogen sequestration as affected by long-term tillage, cropping systems, and nitrogen fertilizer sources. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 127, 234-240.
- Van Leeuwen, J.P., Djukic, I., Bloem, J., Lehtinen, T., Hemerik, L., de Ruiter, P.C., & Lair G.J. (2017). Effects of land use on soil microbial biomass, activity and community structure at different soil depths in the Danube floodplain. *European Journal of Soil Biology*. 79, 14-20.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B., & Lewis, B.A. (1991). Methods of dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharide in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*. 74, 3583-3597.
- Vereecken, H., Jansen, EJ, Hack-ten Broeke, M.J.D., Swerts, M., Engelke, R., Fabrewitz, S., & Hansen, S.

- (1991). Comparison of simulation results of five nitrogen models using different datasets. Commission of European Communities Soil and Groundwater Research, Report II Nitrate in Soils Luxembourg. *Commission of the European Communities*. 321-338.
- Walkley, A., & Black, I.A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*. 37 (1), 29-38.
- Waters, C.M., Orgill, S.E., Melville, G.J., Toole, I.D., & Smith, W.J. (2016). Management of grazing intensity in the semi-arid rangelands of southern Australia—effects on soil and biodiversity. *Land Degradation and Development*. 28(4), 1363-1375.
- Wilson, C., Papanicolaou, A., & 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.
- Yazdanparast, P. (2008). Investigating the relationship between vegetation factors and habitat characteristics (Edaphic and Physiographic) case study of Saral Research Station area in Kurdistan Province, M.Sc. *Thesis Islamic Azad University, Science and Research Branch*. 88-87. (In Persian)