Iranian Journal of Soil and Water Research ISNN: 2423-7833
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

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

**Pouria Shahsavari[1] | Mohammad Amir Delavar[✉2] | Parviz Karami[3] | Kamal Nabiollahi[4]**

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 was71.16 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 reviwers.

**Ethical considerations**

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

**Conflict of interest**

The author declares no conflict of interest.

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۶، شماره ۴ شاپا: ۷۸۳۳-۲۴۲۳
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

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

**پوریا شهسواری[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**

**نوع مقاله:** مقالهٔ پژوهشی

**تاریخ دریافت:** ۱۴۰۱/۱۲/۱۰
**تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۲/۴/۱۸
**تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۲/۴/۲۷
**تاریخ انتشار:** تیر ۱۴۰۴

**واژه‌های کلیدی:**
*ترسیب کربن،*
*سناریوهای مدیریتی،*
*مدل‌سازی،*
*مالی‌سول،*
*کربن آلی خاک.*

**چکیده**

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 به‌منظور تجزیه‌وتحلیل 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 کاهش‌یافته 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.

استناد: شهسواری، 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 به‌واسطه تقاضای جمعیت رو به رشد بشری و افزایش سطح زیر کشت برای تولید غذا باعث خروج بیشتر گاز دی‌اکسید 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 دی‌اکسید کربن در سال شده است (Pachauri *et al*., 2014). ازاین‌رو 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).

مراتع 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 دی‌اکسید 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)، ازاین‌رو اکوسیستم-های مرتعی و چمنزارها توانایی بالایی در ذخیره کربن و ترسیب کربن دی‌اکسید 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 تحت‌فشار جدی هستند و تغییر کاربری‌های عمده‌ای در آن‌ها ایجادشده است. برآوردها حاکی از آن است که در طول قرن گذشته، به‌واسطه فعالیت‌هایی همچون تغییر کاربری اراضی و عملیات کشت و کار ۴۲ تا ۷۸ گیگا تن کربن از خاک به اتمسفر آزادشده است (Paustian *et al*., 2016). نتایج تحقیقات پژوهشگران در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک، 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 به‌کارگیری طرح‌های موفق برای حفظ ذخایر کربن آلی در خاک، جلوگیری از رهاسازی آن‌ها و ترسیب بیشتر کربن در خاک و افزایش محتوای کربن خاک‌ها را به‌عنوان 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 محیط‌زیست طی می‌کند، چرخه کربن[1] نامیده می‌شود. مقدار کربن در این شرایط ثابت بوده و از شکلی به شکل دیگر تبدیل می‌شود (Kane and Solutions, 2015). معدنی شدن[2] و تثبیت شدن[3] کربن دو فرآیند اساسی این چرخه است، در فرآیند اول تغییر و تبدیل کردن به اشکال غیرآلی و در فرآیند دوم کربن برای ساخت و تولید سلول‌های میکروبی و سایر موجودات زنده استفاده می‌شود. هرگونه تغییر جزئی در کربن خاک می‌تواند به‌شدت کربن موجود در اتمسفر را تحت تأثیر قرار داده به‌طوری‌که با تجزیه حدود ۰/۱ گیگا تن کربن از ذخایر کربن در خاک‌های جهان، سالانه حدود ۰/۴۷ قسمت در میلیون کربن دی‌اکسید 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 انجام‌شده اما بااین‌حال 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).

## پیشینهٔ پژوهش

محاسبه و تخمین خروجی گازهای گلخانه‌ای ناشی از چرخه کربن و تأثیر آن‌ها بر گرمایش کره زمین نیازمند انجام مطالعات طولانی‌مدت 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[1] 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 Pasqual, 1999; Cerri *et al*., 2003) و مناطق نیمه گرمسیری (Bortolon *et al*., 2009; Lopes *et al*., 2008; Tornquist *et al*., 2009) 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.

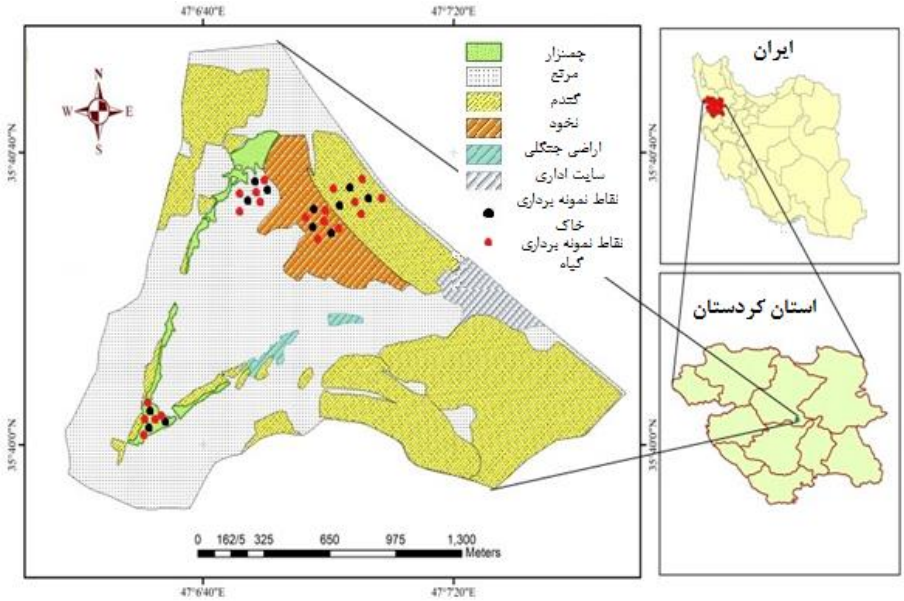
## روش‌شناسی پژوهش

### منطقه موردمطالعه

این مطالعه در ایستگاه تحقیقاتی سارال که در مرکز منطقه سارال استان کردستان و محدوده جغرافیایی ′۳۲ °۳۵ تا ′۵۳ °۳۵ عرض شمالی و ′۳۴ °۴۸ تا ′۵۸ °۴۸ 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 داده‌های بلندمدت ایستگاه هواشناسی درون ایستگاه، متوسط بارندگی سالانه ۳۳۰ میلی‌متر، میانگین حداکثر درجه حرارت

1 CENTURY

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 فلونتیک اندواکوالز[1]؛ تیپیک کلسیزرولز[2] و تیپیک هاپلوزرولز[3] 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.* ،*thyrsoideum 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 آزکان، عادل و منصوری است و شش هکتار نیز چمنزار با گونه‌های *Carex orbicularis* ،*Carex stenophylla* ،*Eleocharis uniglumis* ،*Juncus gerardii* ،*Ranunculus sericeus* ،*Menta longifolia* ،*Dactylorhiza fuchsia* ،*Trifolium repens* ،*Graminas* ،*Lotus* ،*corniculatus* ،*Agropyron trichophorum* و *Agropyron intermedium* 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 قرارگرفته، شخم زده‌شده و زیر کشت محصولات زراعی قرارگرفته 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 نماینده 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 موردمطالعه (ایستگاه تحقیقاتی سارال)**

1 Fluvaquentic Endoaquolls
2 Typic Calcixerolls
3 Typic Haploxerolls

**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 جداشده 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 هرکدام 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 خشک‌شده و بقایای گیاهی شامل ریشه گیاهان و سایر بقایای قابل‌مشاهده از نمونه‌ها حذف شدند. نمونه‌ها از الک دو میلی‌متری عبور داده‌شده و برای انجام آزمایش‌های بعدی به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌برداری از گیاه و بقایای گیاهی در چهار نوع کاربری انتخاب‌شده 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 به‌صورت 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 بریده‌شده به دو قسمت سرپای زنده و سرپای مرده تفکیک شدند. بقایای گیاهی سطح خاک به‌صورت دستی جمع‌آوری‌شده و ریشه گیاهان با جداکردن خاک اطراف آن‌ها و شستن ریشه تفکیک شد. در مجموع تعداد ۱۶۰ نمونه گیاهی در دو سال متوالی جمع‌آوری شد. نمونه‌های گیاهی برداشت‌شده به آزمایشگاه منتقل‌شده و برای انجام تجزیه‌های آزمایشگاهی در آون دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت خشک‌شده 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 قابل‌دسترس خاک با روش اولسن (Page, 1992) و فسفر گیاه با روش رنگ‌سنجی (Murphy and Riley, 1962)، نیتروژن کل با روش کجلدال (Bremner and Mulvancey, 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 ون‌سویست و همکاران (Van Soest *et al*., 1991) با مخلوط کردن پنج گرم نمونه خردشده با مواد شوینده اسیدی، خشک‌کردن 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:

$$\text{SOC Stocks} = \%OC \times H \times B.D \quad \text{رابطه ۱)}$$

$$\text{TSN Stocks} = \%N \times H \times B.D \quad \text{رابطه ۲)}$$

در این روابط ذخایر کربن آلی خاک[1](تن در هکتار)، ذخایر نیتروژن کل خاک[2](تن در هکتار)، H عمق خاک (سانتی‌متر) و B.D جرم مخصوص خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب) است.

**اولیه‌سازی[3] 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 جمع‌آوری‌شده 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 شبیه‌سازی‌شده 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[1] یا چرخش[2] 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 موردمطالعه 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. ازآنجایی‌که برای کالیبراسیون مدل‌های سنچری حداقل به یک اندازه‌گیری تاریخی ذخیره کربن آلی خاک نیاز است (Parton *et al*., 1987) ازاین‌رو 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 موردبررسی قرار دادند و برای کاربری‌های زراعت گندم و نخود از داده‌های جمع‌آوری‌شده 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 ذکرشده پارامتر پتانسیل تولید ماهانه بالای سطح زمین PRDX(1) 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 CLTEFF(2) 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 (۱۹۰۰-۱۹۶۳) | 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) | مدیریت | دوره و سناریو (سال) |
| ۱ | چمنزار با چرای سبک | (۱۹۰۰-۱۹۶۲) I | ۱ | مرتع با چرای سبک | (۱۹۰۰-۱۹۶۲) I |
| ۱ | تغییر کاربری به گندم و شخم با گاوآهن | (۱۹۶۳) | ۱ | تغییر کاربری و شخم با گاوآهن | (۱۹۶۳) |
| ۲ | تناوب کاشت گندم - آیش (دوساله)، شخم با گاوآهن، | II (۱۹۶۴-۱۹۷۷) | ۲ | تناوب کاشت نخود - آیش (دوساله)، شخم با گاوآهن، برداشت دستی | II (۱۹۶۴-۲۰۱۰) |
| ۲ | تناوب کاشت گندم - آیش (دوساله)، شخم با گاوآهن، برداشت با کمباین و کود اوره ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در پاییز هر دو سال یک‌بار | (۱۹۷۸-۲۰۰۹) III | ۲ | | |
| ۴ | تناوب کاشت گندم - آیش، شخم با چندکاره و پنجه غازی، 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 | (۲۰۱۰-۲۰۱۹) IV | ۴ | تناوب کاشت نخود - گندم، در سال کشت گندم شخم با چندکاره و پنجه غازی، 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 | (۲۰۱۰-۲۰۱۹) III |
| ۴ | تناوب کاشت گندم - آیش، شخم با چندکاره و پنجه غازی، 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 (۲۱۰۰-۲۰۲۰) -حفظ وضعیت کنونی | ۴ | تناوب کاشت نخود -گندم، در سال کشت گندم شخم با چندکاره و پنجه غازی، 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 | سناریو ۱ (۲۱۰۰-۲۰۲۰) -حفظ وضعیت کنونی |
| ۴ | تناوب گندم- نخود - گندم – آیش، شخم با چندکاره و پنجه غازی، در سال آیش برگرداندن علف‌های هرز، برداشت با کمباین و کوددهی با کود حیوانی سه تن در هکتار هر چهار سال یک‌بار | سناریو ۲ (۲۱۰۰-۲۰۲۰)- کود حیوانی | ۴ | تناوب کاشت نخود - گندم، بی خاک‌ورزی و کشت مستقیم، برداشت با کمباین و کوددهی با کود حیوانی سه تن در هکتار هر چهار سال یک‌بار | سناریو ۲ (۲۱۰۰-۲۰۲۰) -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 (۲۱۰۰-۲۰۲۰) – مدیریت اصولی تناوب زراعی، بی‌خاکورزی و کوددهی | ۴ | تناوب نخود – گندم–گلرنگ – گندم، بی‌خاک‌ورزی 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 (۲۱۰۰-۲۰۲۰) – مدیریت اصولی تناوب زراعی، بی–خاکورزی و کوددهی |

جدول ۳- پارامترهای اصلاح‌شده در واسنجی مدل سنچری

| پارامترها | پیش‌فرض مدل | اصلاح‌شده |
|---|---|---|
| برنامه FIX.100 | | |
| VARAT1 (1.1) – حداکثر نسبت **C/N** برای مواد واردشده به منابع کربن آلی سریع تجزیه شونده | ۱۴ | ۱۶ |
| VARAT2 (1.1) – حداکثر نسبت **C/N** برای مواد واردشده به منابع کربن آلی کند تجزیه شونده | ۲۰ | ۳۰ |
| VARAT3 (1.1)– حداکثر نسبت **C/N** برای مواد واردشده به منابع کربن آلی غیرفعال | ۸ | ۲۰ |
| برنامه CROP.100 | | |
| PRDX (1)– تولید بالقوه ماهانه بالای زمین برای محصولات (گرم بر سانتی‌متر مربع) | | |
| چمنزار | ۲۵۰ | ۲۰۰ |
| مرتع | ۲۴۰ | ۱۹۰ |
| گندم | ۳۰۰ | ۱۱۰ |
| نخود | ۳۰۰ | ۱۲۰ |
| برنامه CULT.100 | | |
| **CLTEFF (2)**– فاکتور کشت برای منبع کربن آلی کند تجزیه شونده | | |
| چیزل[1] | ۱/۶ | ۱/۷ |
| چندکاره[2] | ۱/۳ | ۱/۴ |
| بی‌خاکورزی[3] | ۱/۱ | ۱/۱ |

## اعتبارسنجی مدل

برای اعتبارسنجی مدل، داده‌های خروجی مدل با مجموعه‌ای از داده‌های مستقل از داده‌های استفاده‌شده 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 به‌صورت جداگانه انجام گرفت. اعتبارسنجی برای داده‌های ذخایر کربن آلی خاک با مقایسه نتایج شبیه‌سازی‌شده 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 تجزیه‌وتحلیل آماری که از مطالعات (Amari and Keshmiri, 1990) و Nabiollahi, (2005) به‌دست‌آمده انجام شد. اعتبارسنجی مدل برای داده‌های ذخایر نیتروژن کل خاک با مقایسه نتایج شبیه‌سازی‌شده حاصل از مدل با داده‌های اندازه‌گیری شده در سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ صورت گرفت. برای اعتبار سنجی 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[4](رابطه ۳)، ضریب همبستگی پیرسون[5](رابطه ۴)، جذر میانگین مربعات خطا[6](رابطه ۵) و راندمان مدل‌سازی[7](رابطه ۶) و برای مقایسه انحراف مقادیر شبیه‌سازی‌شده از مشاهده‌شده از نتایج رگرسیون خطی و خط ۱:۱ استفاده شد.

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

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

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

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

در این روابط $O_i$ مقادیر مشاهده‌شده، $S_i$ مقادیر شبیه‌سازی‌شده، $\bar{O}$ میانگین مقادیر مشاهده‌شده و $\bar{S}$ میانگین مقادیر شبیه‌سازی‌شده 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 Rsquared correlation, R2
5 Correlation coefficient, r
6 Root mean square error, RMSE
7 Mean error, ME

و ۸ محاسبه گردید.

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

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

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 پژوهش

### 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 موردمطالعه 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.

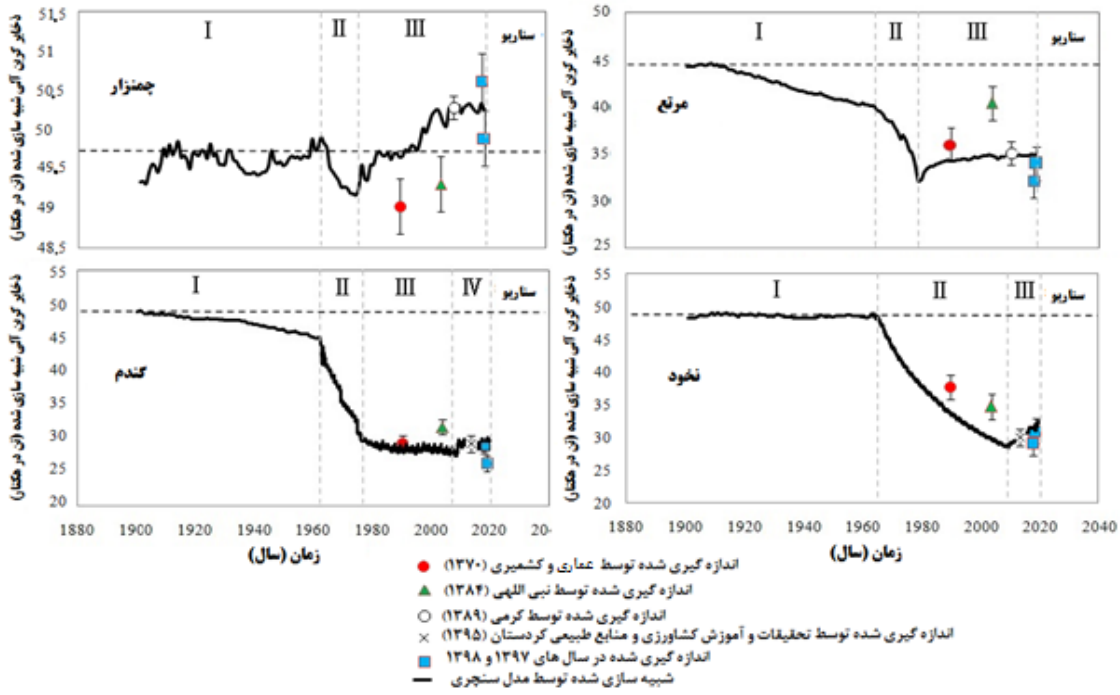
### پارامتریابی و واسنجی مدل

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) مجدد واسنجی شد (شکل ۲). مقادیر کربن آلی خاک در کاربری‌های اولیه (چمنزار و مرتع) در منطقه موردمطالعه 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 سنجری 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 موردمطالعه 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 زیست‌توده گیاهی با استفاده از مدل سنچری در چهار کاربری موردمطالعه.**

| دوره یا سناریو (سال میلادی) | مقدار کربن آلی اضافه‌شده به خاک | | دوره یا سناریو (سال میلادی) | مقدار کربن آلی اضافه‌شده به خاک | |
|---|---|---|---|---|---|
| | کاربری چمنزار | کاربری مرتع | | زراعت گندم | زراعت نخود |
| | تن در هکتار در سال | | | تن در هکتار در سال | |
| (I) ۱۹۰۰-۱۹۶۳ | ۱/۵۶ | ۱/۴۵ | (I) ۱۹۰۰-۱۹۶۳ | ۱/۵۶ | ۱/۴۵ |
| (II) ۱۹۶۴-۱۹۷۹ | ۱/۲۷ | ۱/۲۱ | (II) ۱۹۶۴-۱۹۷۷ | ۰/۵۱ | ۰/۴۹ |
| (III) ۱۹۸۰-۲۰۱۹ | ۱/۷۶ | ۱/۵ | (III) ۱۹۷۸-۲۰۰۹ | ۰/۹۲ | |
| - | - | - | (IV) ۲۰۰۹-۲۰۱۹ | ۱/۸۹ | ۱/۵۷ |
| ۲۰۲۰-۲۱۰۰ (سناریو ۱) | ۱/۷۶ | ۱/۵ | ۲۰۲۰-۲۱۰۰ (سناریو ۱) | ۱/۸۹ | ۱/۵۷ |
| ۲۰۲۰-۲۱۰۰ (سناریو ۲) | ۱/۲۳ | ۱/۳۳ | ۲۰۲۰-۲۱۰۰ (سناریو ۲) | ۰/۵۱ | ۰/۵۶ |
| ۲۰۲۰-۲۱۰۰ (سناریو ۳) | ۳/۹۲ | ۴/۳ | ۲۰۲۰-۲۱۰۰ (سناریو ۳) | ۲/۴۸ | ۲/۵۰ |

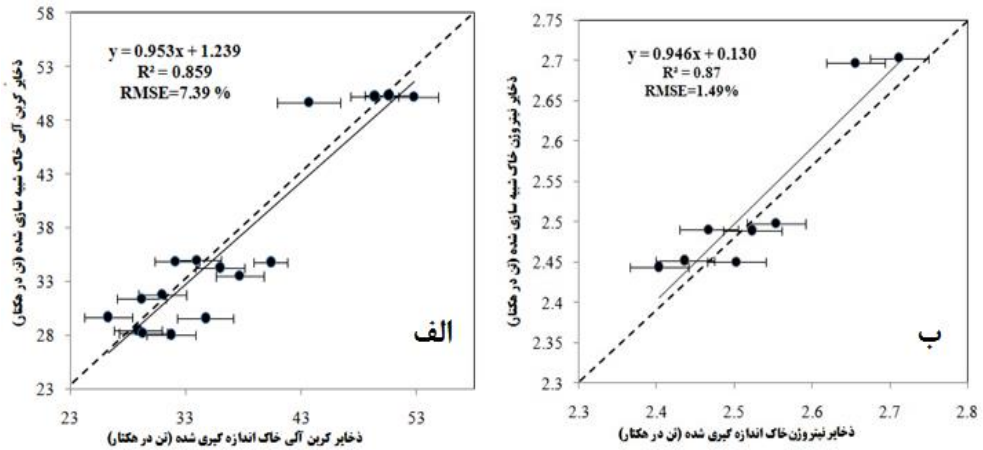
**اعتبارسنجی مدل**

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 ارائه‌شده است. حداکثر اختلاف بین داده‌های ذخایر کربن آلی خاک (شکل ۳ الف) مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده 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 شبیه‌سازی‌شده توسط مدل و داده‌های مشاهده‌شده در سال ۲۰۱۸ وجود داشت. اختلاف محاسبه‌شده در سایر کاربری‌ها از ۵/۵ مگاگرم در هکتار تجاوز نمی‌کرد. اختلاف بین داده‌های ذخایر نیتروژن خاک مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده در کاربری‌های مطالعه شده (شکل ۳ ب) از ۰/۰۵۷ تن در هکتار تجاوز نکرد بااین‌حال بیشترین اختلاف مربوط به کاربری چمنزار در داده‌های اندازه‌گیری شده و مشاهده‌شده سال ۲۰۱۹ بود. ضریب همبستگی برای ذخایر کربن آلی و نیتروژن خاک محاسبه‌شده توسط مدل سنچری بزرگ‌تر از صفر و برابر ۰/۹۳ بود که بیانگر درجه بالایی از ارتباط و همبستگی مثبت بین مقادیر شبیه‌سازی‌شده 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 شبیه‌سازی‌شده است (Smith *et al*., 1997). جذر میانگین مربعات خطا که نشان‌دهنده تفاوت بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی‌شده 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 انتخاب‌شده 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 شبیه‌سازی‌شده و مشاهده‌شده 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 شبیه‌سازی‌شده در سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۱۰۰ میلادی و تغییرات آن‌ها طی ۸۰ سال.**

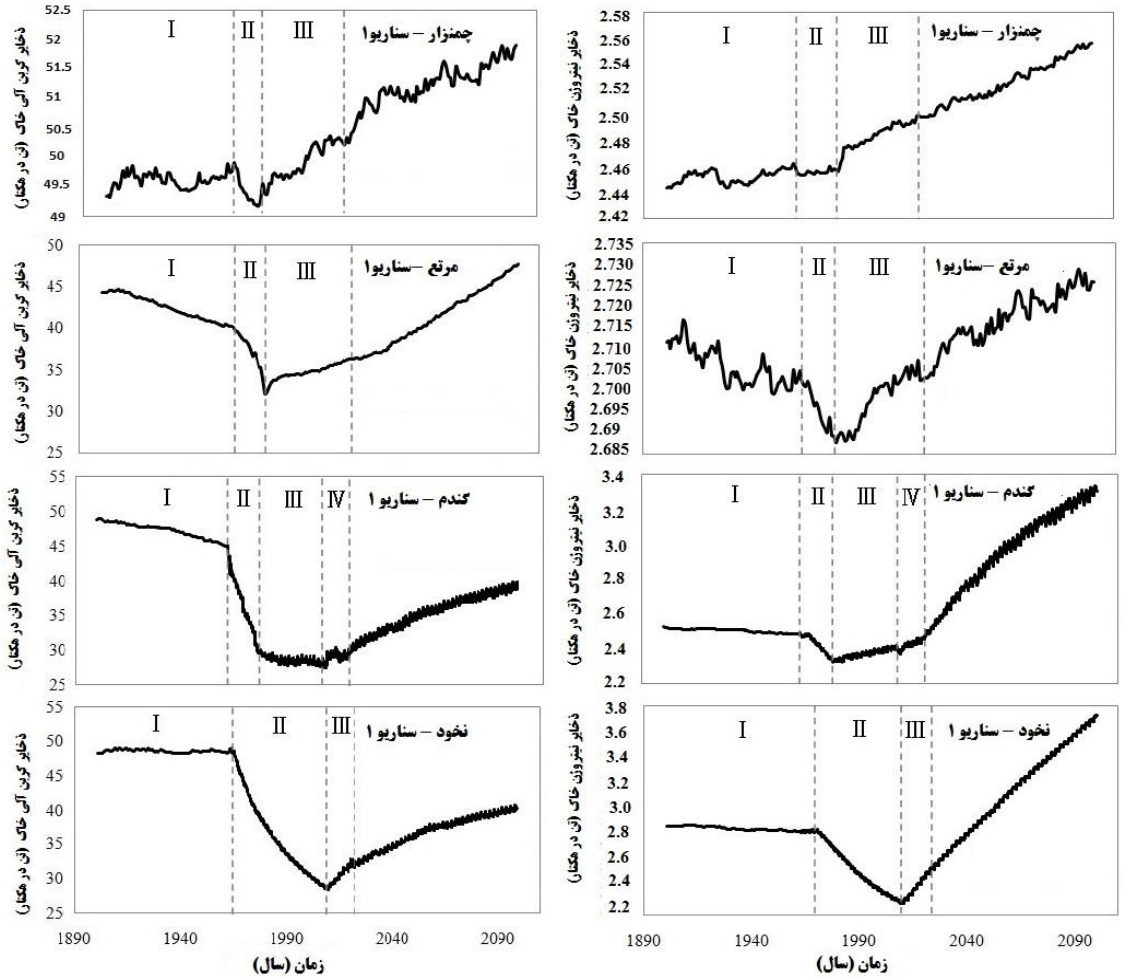
| ذخایر شبیه‌سازی‌شده (تن در هکتار) | سناریو | کاربری چمنزار | | | کاربری مرتع | | | زراعت گندم | | | زراعت نخود | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ۲۰۱۹ | ۲۱۰۰ | Δ | ۲۰۱۹ | ۲۱۰۰ | Δ | ۲۰۱۹ | ۲۱۰۰ | Δ | ۲۰۱۹ | ۲۱۰۰ | Δ |
| کربن آلی | ۱ | ۵۱/۸۹ | | ۱/۶۵ | ۴۷/۶۱ | | ۱۲/۶۹ | ۳۸/۵۴ | | ۹/۰۱ | ۴۰/۹۷ | | ۹/۲۵ |
| | ۲ | ۵۰/۲۴ | ۴۸/۹۳ | -۱/۳۱ | ۳۴/۹۲ | ۲۵/۷۲ | -۹/۲۰ | ۲۹/۵۳ | ۳۲/۹۰ | ۳/۳۷ | ۳۱/۷۲ | ۳۵/۷۹ | ۴/۰۷ |
| | ۳ | ۷۱/۱۶ | | ۲۰/۹۲ | ۵۳/۷۵ | | ۱۸/۸۳ | ۴۳/۱۱ | | ۱۳/۵۸ | ۴۵/۹۲ | | ۱۴/۲۰ |
| نیتروژن کل | ۱ | ۲/۵۵ | | ۰/۰۶ | ۲/۷۲ | | ۰/۰۲ | ۳/۳۱ | | ۰/۸۶ | ۳/۷۱ | | ۱/۲۳ |
| | ۲ | ۲/۴۹ | ۲/۳۷ | -۰/۱۲ | ۲/۷۰ | ۲/۶۹ | -۰/۰۱ | ۲/۴۵ | ۲/۶۵ | ۰/۲۰ | ۲/۴۸ | ۲/۶۸ | ۰/۲۰ |
| | ۳ | ۴/۰۱ | | ۱/۵۲ | ۲/۷۴ | | ۰/۰۴ | ۳/۳۵ | | ۰/۹۰ | ۴/۱۶ | | ۱/۶۸ |

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

**سناریو ۱ حفظ وضعیت کنونی**

نتایج مقادیر کربن آلی و نیتروژن کل خاک شبیه‌سازی‌شده 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 تعریف‌شده 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) بیان‌گر 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 موردنیاز 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 موردمطالعه 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.

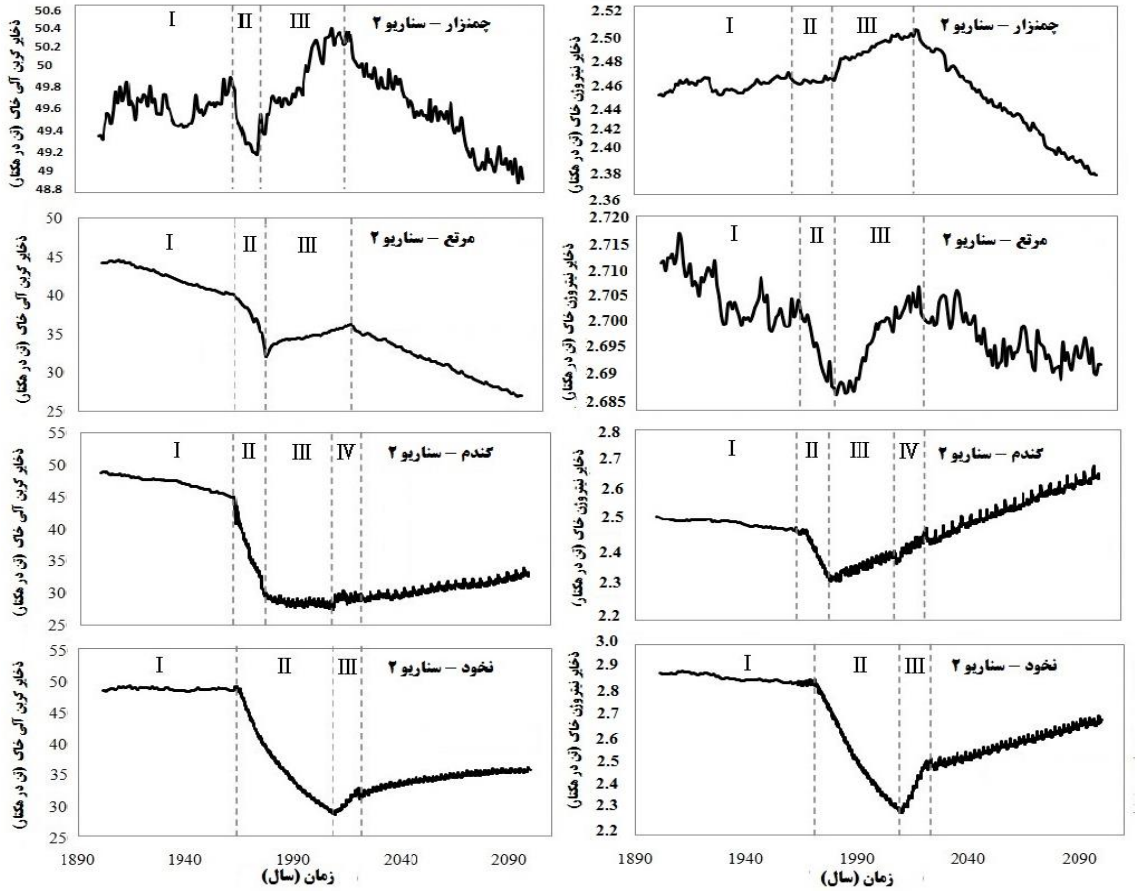



**شکل ۴- شبیه‌سازی کربن آلی (تن در هکتار) و نیتروژن کل خاک (تن در هکتار) توسط مدل سنچری در دوره‌های I، II و III با سناریوی ۱ (حفظ وضعیت کنونی) از سال ۲۰۲۰ تا ۲۱۰۰ در کاربری‌های چمنزار، مرتع، زراعت گندم و نخود.**

### سناریو ۲ چرای متوسط دام بعلاوه کاربرد کود حیوانی

داده‌های شبیه‌سازی‌شده 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 به‌جای 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) به‌صورت چهار سال یک‌بار و قبل از کشت گندم و نخود استفاده شد. همان‌طور که در شکل ۵ نشان داده‌شده 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.

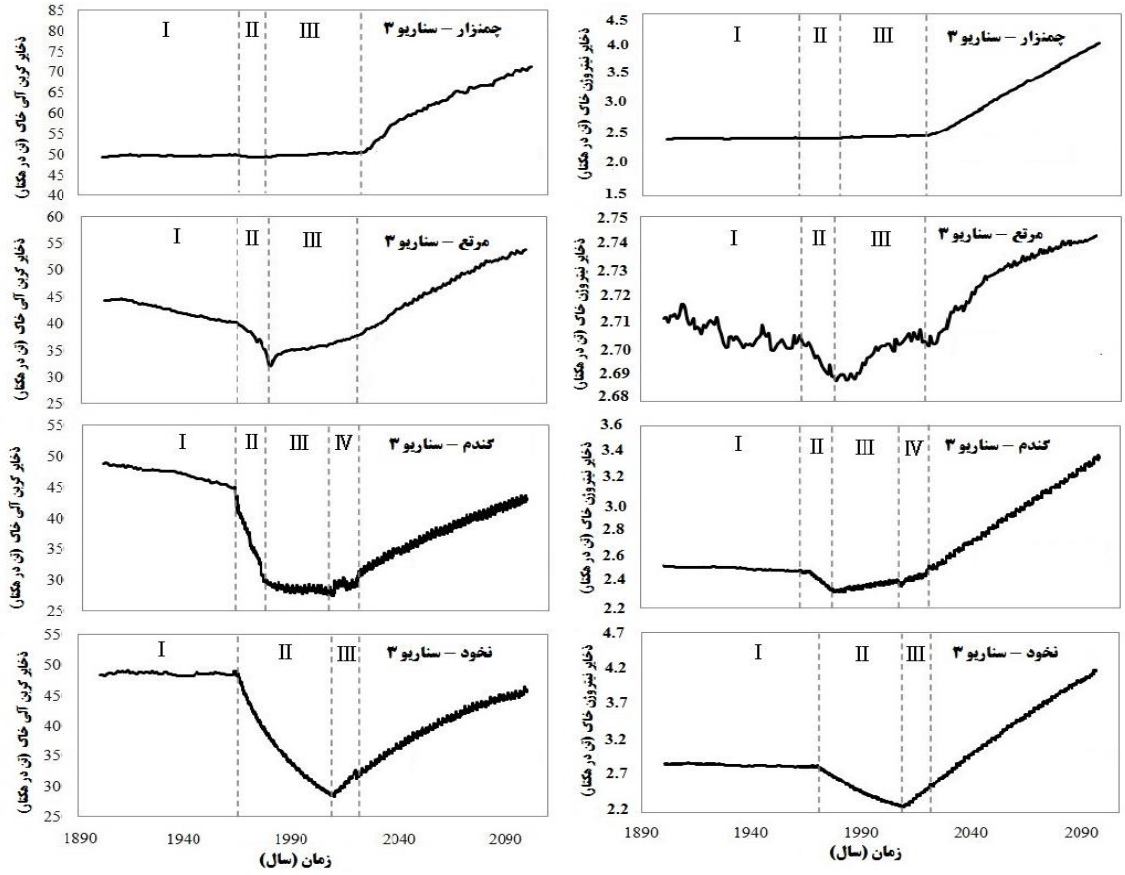



**شکل ۵- شبیه‌سازی کربن آلی (تن در هکتار) و نیتروژن کل خاک (تن در هکتار) توسط مدل سنچری در دوره‌های I، II و III با سناریوی ۲ (چرای متوسط دام و کاربرد کود حیوانی) از سال ۲۰۲۰ تا ۲۱۰۰ در کاربری‌های چمنزار، مرتع، زراعت گندم و نخود.**

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

هدف از تعریف سناریو ۳ برای کاربری‌های چمنزار و مرتع، بررسی امکان استفاده بهینه از این کاربری‌ها برای چرای دام با مدت‌زمان محدود، همراه با اجرای راهکار اصلاحی استفاده از کود نیتروژن است. با تعریف این سناریو به چشم‌اندازی از تغییرات بلندمدت نسبت به وضعیت کنونی با مدیریت حفظ ذخایر کربن آلی و نیتروژن کل خاک خواهیم رسید. داده‌های خروجی مدل برای دو کاربری چمنزار و مرتع در سناریو ۳ (جدول ۲) به ترتیب در سال ۲۱۰۰ بیان‌گر 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 مدیریت‌شده به مدت سه ماه بر افزایش بیوماس گیاهی و ذخیره کربن آلی در خاک نشان داده می‌شود. با اعمال سناریو ۳ مقدار ذخایر کربن آلی شبیه‌سازی‌شده در سال ۲۱۰۰ در کاربری‌های 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 نشان‌دهنده 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 کاربری‌های مرتع و چمنزار ضمن بهره‌برداری از پوشش گیاهی برای تعلیف دام‌ها (چرای دام) می‌توان با کوددهی اصولی، مقدار ذخیره و ترسیب کربن در خاک را افزایش و از میزان انتشار گاز کربن دی‌اکسید به اتمسفر جلوگیری کرد. مقدار نیتروژن خاک شبیه‌سازی‌شده در سناریو ۳ (شکل ۶) در کاربری چمنزار بسیار بیشتر از سایر

کاربری‌ها افزایش‌یافته و در سال ۲۱۰۰ به ۴۰۱ گرم در متر مربع رسیده است که ۱۴۶ تن در هکتار بیشتر از نیتروژن کل شبیه‌سازی‌شده 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 به‌صورت 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، لاش‌برگ 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 شبیه‌سازی‌شده توسط مدل سنچری (شکل ۶) نشان داد که در هر چهار نوع کاربری موردمطالعه و پس از سناریوهای مختلف در سال‌های ۲۰۲۰ الی ۲۱۰۰ بین مقادیر کربن آلی خاک و نیتروژن کل خاک رابطه مستقیمی وجود دارد به‌طوری‌که 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 شناخته‌شده 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*., 2011; Hobley *et al*., 2017; Chen *et al*., 2018). 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 (Van Leeuwen *et al*., 2017; Liu *et al*., 2018; Qiu *et 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 گزارش‌شده است (Geraei *et al*., 2016; Singh *et al*., 2016; Liu *et al*., 2018). Assis *et al* (2010) نیز میزان کمتر کربن آلی و نیتروژن کل در خاک‌های زراعی را به سوء مدیریت خاک ازجمله 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 قابل‌توجهی 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 میزان 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 افزایش‌یافته که در نهایت میزان ورودی دی‌اکسید کربن به اتمسفر افزایش‌یافته است (Leiber-Sauheitl *et al*., 2013). برخلاف داده‌های شبیه‌سازی‌شده 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*., 2002b; Bayer *et al*., 2006). 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 AREEO (2016) در داده‌های جمع‌آوری‌شده پروژه امنیت غذایی ایکاردا نیز تائید شده است.

Falloon and Smith (2002) از جذر میانگین مربعات خطا به‌عنوان اساسی‌ترین عامل در ارزیابی مدل سنچری استفاده کردند. راندمان مدل‌سازی برای ذخایر کربن آلی و نیتروژن خاک برابر ۰/۸۸ و ۰/۸۶ 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 به‌خوبی روند تغییرات ذخایر کربن آلی و نیتروژن کل خاک را در کاربری‌های موردمطالعه 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 قابل‌دسترس را افزایش (Khurshid *et al*., 2006) و طبق نتایج Chen *et al*. (2009) در عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری با مدیریت خاک‌ورزی حفاظتی به‌طور میانگین ۷/۳ درصد کربن آلی و ۷/۹ درصد نیتروژن کل خاک بیشتر نسبت به سیستم شخم با گاوآهن ذخیره خواهد شد. Fontes *et al*. (2009) با استفاده از مدل سنچری و یک آزمایش طولانی‌مدت در شمال اسپانیا نشان دادند که مقادیر ذخیره کربن آلی خاک در سیستم کشت بدون خاک‌ورزی بیشتر از کم خاک‌ورزی و خاک‌ورزی معمولی شبیه‌سازی‌شده است. این نتایج با داده‌های شبیه‌سازی‌شده 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 به‌عنوان 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 به‌جای نخود – آیش باعث افزایش کربن آلی خاک (شکل ۴) سریع‌تر از کاربری گندم است، به‌طوری‌که مقدار افزایش کربن آلی خاک از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ (دوره III) در کاربری‌های نخود و گندم به ترتیب ۲/۶۹ و ۰/۵۲ 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 موردنیاز میکروارگانیسم‌های خاک فراهم‌شده 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 به‌ویژه در تناوب‌های غلات – لگوم اشاره کردند. نتایج داده‌های شبیه‌سازی‌شده مطالعه حاضر با نتایج تحقیقات (Bhattacharyya *et al*., 2007; Tornquist *et al*., 2009; Bortolon *et al*, 2011) مؤید آن بود که مدل سنچری به‌صورت 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 این‌که بخش اصلی نیتروژن تثبیت‌شده به مصرف گیاه می‌رسد، خاک نیز از لحاظ نیتروژن تقویت می‌شود. پس از کاربری زراعت نخود، کاربری زراعت گندم با ۳/۳۱ تن در هکتار دارای بیشترین مقدار نیتروژن کل خاک بود که احتمالاً یکی از اصلی‌ترین دلایل آن استفاده از کودهای نیتروژن است.

کود دامی به‌عنوان جایگزین طبیعی کودهای شیمیایی، نقش مثبت و غیرقابل‌انکاری 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 محیط‌زیست نیز آلودگی کمتری ایجاد می‌کنند (Taghdisi Heydarian *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 شبیه‌سازی‌شده توسط مدل سنچری خواهد شد. دینامیک کربن آلی خاک تابعی از

بقایای گیاهی افزوده‌شده به خاک، مقدار لاش‌برگ[1] اجزا کربن محلول و غیرمحلول، نسبت معدنی شدن اجزاء کربن، کربن ورودی سطح زمین، ورودی‌های زیرزمینی و درجه تخریب خاکدانه‌های خاک است (Post and Kwon, 2000). Abdolahi *et al.* (2015) با بررسی اثرات تناوب‌های زراعی مختلف گندم بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک و عملکرد محصول مشاهده کردند که بعد از تناوب ماشک – گندم تناوب‌های زراعی گل‌رنگ – 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 مدیریت‌های اصولی کشاورزی، مرتع و چمنزار در درازمدت می‌تواند از مقدار کربن آلی خاک در شرایط اولیه بومی فراتر رود (Ouyang *et al.*, 2014). بااین‌حال، برخی از مطالعات دیگر حاکی از وجود یک سطح اشباع کربن آلی بر اساس فرآیندهای فیزیکوشیمیایی در طولانی‌مدت است که ترکیبات آلی را در خاک تثبیت یا محافظت می‌کند (Six *et al.*, 2002b). نتایج داده‌های شبیه‌سازی‌شده 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 آزمایش‌های میدانی از رابطه طولانی‌مدت مستقیم بین ورودی کربن آلی خاک و ذخایر خاک آلی خاک را بین تیمارها نشان می‌دهند (Paustian *et al.*, 1992; Bayer *et al.*, 2006).

## نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج داده‌های خروجی توسط مدل سنچری نشان داد که کاربری‌های چمنزار، مرتع، زراعت گندم و نخود با مدیریت‌های متنوع خاک اثرات متفاوت و پیچیده‌ای 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 بی‌رویه و شدید در کاربری‌های چمنزار و مرتع تأثیر بسزایی بر جبران ذخیره کربن آلی و نیتروژن در خاک داشت و مدل سنچری کالیبره شده به‌خوبی اثرات این تغییرات را شبیه‌سازی کرده است. شبیه‌سازی شیوه‌های خاک‌ورزی حفاظتی و بی‌خاکورزی که از سال ۲۰۱۰ به ترتیب در کاربری‌های گندم و نخود شروع‌شده 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 قابل‌توجهی از ذخایر کربن آلی را نشان داد. مدیریت چرای حداقل همراه با مصرف کود اوره در کاربری‌های مرتع و چمنزار و رعایت تناوب زراعی گندم – نخود – گندم – گل‌رنگ و بی‌خاکورزی به همراه کشت مستقیم همراه با کوددهی با کود اوره، سوپر فسفات و کود حیوانی به‌عنوان 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. بااین‌حال ذخایر کربن آلی شبیه‌سازی‌شده در کاربری‌های زراعی گندم و نخود هنوز هم پایین‌تر از ذخایر تخمین زده‌شده در کاربری‌های بومی قبل از تبدیل به کشاورزی است. ارزیابی نتایج نشان داد مدل سنچری جزو مدل‌های کارآمد برای پیشنهاد سناریوهای جایگزین که شامل بهترین شیوه‌های 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 ویژگی‌های فیزیکی خاک، مجله پژوهش‌های 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 ویژگی‌های بیولوژیکی خاک در بخشی از حوزه‌ی آبخیز رکعت در استان خوزستان. تحقیقات مرتع و بیابان ایران،۲۴(۱)، ۱۸۱-۱۹۲.

عبدالهی، عبدالوهاب؛ نعمتی، عادل؛ ولیزاده، غلامرضا. (۱۳۹۳). بررسی اثرات تناوب‌های 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 طبقه‌بندی اراضی برای آبیاری و دیم‌کاری ایستگاه تحقیقاتی خرکه (سارال) استان کردستان، موسسه تحقیقات خاک و آب، نشریه شماره ۸۳۷: ۱۳۱.

نبی‌اللهی، کمال. (۱۳۸۴). تحول کانی‌های رسی و ارتباط آن‌ها با شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک‌های ایستگاه تحقیقاتی خرکه، استان کردستان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.


1 Litter

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 nitrogênioem um Argissolo do Rio Grande do Sulusandomodelo 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: umaintrodução. *UFSM, 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. *Agronmy 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, *Gorgon 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 histicgleysol along soil carbon and drainage gradients. *Biogeosciences*. 10, 11283–11317
Leite, L.F.C., Mendonça, E.S., & Machado, P.L.O.A. (2004). Simulaçãopelomodelo Century da dinâmica da matériaorgânica 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 numamicrobacia rural pelomodelo 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 suarelação com osestoques de carbono e nitrogênio do solo. *Tópicosem 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., Ehlerringer, 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 Ypserle, 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.
Upendra, 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)