

Research Article

Agricultural Engineering., 45(4) (2023) 339-355
DOI: 10.22055/AGEN.2023.42568.1650

ISSN (P): 2588-526X
ISSN (E): 2588-5944

The effect of climate change on soil organic carbon storage using the Roth C model in the agricultural lands of Golestan province

M. Sebti¹, F. Khormali^{2*}, A. Soltani³, K. Eftekhari⁴, A. Ghanghermeh⁵ and E. dordipour⁶

1. PhD Student, Department of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
2. Professor of Soil Science, Department of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
3. Professor, Department of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
4. Research Assistant Prof., Soil and Water Research Institute, Agriculture Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
5. Associate Professor of Climatology, Department of Geography, Golestan University, Gorgan, Iran.
6. Associate Professor Soil Science, Department of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

Received: 19 December 2022

Accepted: 1 March 2023

Abstract

Introduction: Increasing concerns about global warming and climate change have led to special attention to soil and its capability in carbon sequestration in recent years. About 540,000 hectares of soils in Golestan province are under agronomic activities and so far no studies have been conducted on soil organic carbon changes and its interactions with climate change. The total organic carbon in soils is approximately twice the amount of carbon in atmosphere, so changes in soil carbon have significant effects on climate change. On the other hand, factors such as climate change or changes in land use and management affect soil organic carbon changes. As soil temperature increases, the rate of organic carbon decomposition will increase, which potentially increases the average release of soil carbon dioxide emission into the atmosphere. Therefore, finding low-cost and rapid methods for estimating soil organic carbon in large ranges and predicting its changes in the future has become a necessity.

Modeling is a tool that can be used to evaluate the feasibility of various land management techniques, and with the help of the results, the best methods can be selected and researched. In the field of soil organic carbon studies, the RothC model is one of the most widely used models, which is of great interest to researchers due to its simplicity and availability of inputs. Climatic changes are also investigated using the output of general circulation models (GCMs) under greenhouse gas emissions scenarios. These data are used after exponential microscale, in which Lars-WG statistical method has been used in this research.

Materials and methods: The purpose of this study is to investigate the status of soil organic carbon storage in agricultural lands of Golestan province and the effect of climate change on soil



organic carbon storage in the coming decades. Therefore, in order to conduct this research along the northeast_southwest of the province were selected 3 points in 3 arid climates, semi-arid and Moist climate. In selected points, soil samples were collected by digging 3 profiles and several augers and soil organic carbon, soil texture and soil apparent specific weight were measured (year 2018). The Roth C model has been used to investigate changes in soil organic carbon storage in the future. Roth C model has been used to investigate future changes in soil organic carbon storage. In order to validate the Roth C model, the results of previous studies (1997 and 2004) were used. Also, the climatic data used in this project were extracted from the statistics of 1371 to 1398 weather stations of Chat, Kalaleh and Ramyan and using the output of general circulation models (GCMs), scaled by Lars WG6 model and precipitation and temperature data were predicted of future decades.

Results and Discussion: The study of temperature changes showed that by 2040, based on scenario 4.5, the temperature will increase between 0.6 and 0.8 and based on scenario 8.5 between 0.6 and 1.3 °C. Also, by 2080, based on scenario 4.5, the temperature increase was predicted between 1.5 and 2.3 and based on scenario 8.5 between 2.2 and 3.2 °C. Climate change in different regions can reduce, increase or no change in precipitation. According to the forecast of the third report of the InterGovernmental Panel on Climate Change, precipitation will increase in winter and decrease in the summer. Based on the findings of this study, the amount of precipitation in the studied stations will increase in the future (in 2040 and 2080) based on two scenarios of 4.5 and 8.5. The results of prediction of soil organic carbon storage show that in 2040 based on scenario 4.5 the amount of soil organic carbon storage in agricultural land use will decrease between 0.5 and 5.3 tons per hectare. Also, based on scenario 8.5, the reduction of soil organic carbon storage in these lands was predicted between 0.8 and 6 tons per hectare. Based on these results, the greatest reduction in soil organic carbon storage was predicted in the humid and rainy areas of the province in 2040. According to this research, in the three investigated stations, in 2080, based on scenario 4.5, the amount of soil organic carbon storage in agricultural land use will decrease between 1.5 and 13.1 tons per hectare. However, in this year, based on MIROC5 and MPI-ESM-MR climate models in Sufian station, we will see an increasement in soil organic carbon storage between 0.6 and 3.9 tons per hectare. Also, according the scenario 8.5, in 2080, the reduction of soil organic carbon in these lands is predicted between 0.5 and 10.5. According to these results, the greatest reduction in soil organic carbon storage in 2080 was calculated in wet and rainy areas (Ramian station).

Conclusion: According to the obtained results, the Rothamsted model has been able to simulate the dynamics of soil organic carbon storage in the study area with appropriate accuracy. The output of the four climate models showed that future temperature changes will increase in 2040 and 2080 based on scenarios 4.5 and 8.5. These findings are consistent with the results of most climate studies that have predicted temperature enhancement in the future decades. According to the findings of the current research, the amount of precipitation in the studied stations will increase in the future (in 2040 and 2080) based on two scenarios of 4.5 and 8.5. The results of Roth C model simulations for predicting soil organic carbon storage showed that soil organic carbon storage will decrease in 2040 and 2080 in both climatic scenarios. According to these results, with increasing of temperature, the rate of decomposition of soil organic carbon increases. Increasing the rate of decomposition in agricultural land use due to the lack of surface vegetation in periods of the year causes the waste of soil organic carbon in the form of CO₂ in the upper layers of the soil. Some studies have shown that low vegetation cover (agricultural compared to rangeland) areas will be severely affected by climate change and will lead to soil organic carbon waste in these areas.

Key words: *Soil organic carbon, climate change, roth c, golestan province.*

تأثیر تغییر اقلیم بر ذخیره کربن آلی خاک با استفاده از مدل Roth C در اراضی زراعی استان گلستان

مریم سبطنی^۱، فرهاد خرمالی^{۲*}، افشین سلطانی^۳، کامران افتخاری^۴، عبدالعظیم قانقرمه^۵ و اسماعیل دردی پور^۶

- ۱- دانشجوی دکتری علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
- ۲- استاد گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
- ۳- استاد گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
- ۴- استادیار، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران
- ۵- دانشیار اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران
- ۶- دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۲۸

پذیرش نهایی: ۱۴۰۱/۱۲/۱۰

کلمات کلیدی:

کربن آلی خاک،
تغییر اقلیم،
Roth C
استان گلستان

چکیده

یکی از نشانه‌های کیفیت خاک، مواد آلی خاک است. بارش و دما بطور قابل ملاحظه‌ای بر ذخیره کربن آلی خاک اثر می‌گذارند. هدف از این پژوهش، مدل‌سازی تغییرات ذخیره کربن آلی خاک تحت تأثیر تغییرات اقلیمی در اراضی زراعی استان گلستان است. در این تحقیق، با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی چات، کلاله و رامیان، و مدل ریزمقیاس‌نمایی Lars WG6، تغییرات بارش و دمای آینده پیش‌بینی و سپس با مدل Roth C، تغییرات ذخیره کربن آلی خاک در آینده برآورد گردید. جهت انجام این تحقیق، از عمق صفر تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری، نمونه‌های خاک جمع‌آوری و میزان کربن آلی، بافت و وزن مخصوص ظاهری خاک بررسی شد. خروجی مدل‌های اقلیمی نشان داد که تغییرات بارش و دما در آینده افزایشی است. مقدار دما در سال ۲۰۴۰ نسبت به دوره پایه (۲۰۱۹) بین ۰٫۶ تا ۱٫۳ درجه و در سال ۲۰۸۰، ۱٫۵ تا ۳٫۲ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. اعتبارسنجی مدل RothC رابطه خطی معنی‌دار بین ذخیره کربن آلی شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری‌شده نشان داد. بر اساس نتایج این پژوهش، با افزایش دما سرعت تجزیه بیشتر شده و این افزایش سرعت تجزیه در زمین‌های زراعی به دلیل فقدان پوشش گیاهی در دوره‌هایی از سال، باعث هدر رفتن ذخیره کربن آلی خاک به صورت CO₂ در لایه‌های بالایی خاک می‌شود لذا کربن آلی خاک در سال ۲۰۴۰، ۰٫۵ تا ۵٫۵۹ درصد و در سال ۲۰۸۰، ۰٫۵ تا ۱۲٫۴ درصد کاهش خواهد داشت.

* عهده دار مکاتبات

Email: khormali@yahoo.com

مقدمه

افزایش نگرانی‌ها در زمینه گرمایش جهانی و تغییر اقلیم موجب شده است که به خاک و قابلیت آن در ترسیب کربن در سال‌های اخیر توجه ویژه‌ای شود. کل مقدار کربن آلی موجود در خاک‌ها تقریباً دو برابر موجودی کربن اتمسفر است، از این رو تغییر در کربن خاک اثرات قابل توجه‌ای بر تغییر اقلیم بر جا می‌گذارد. از سوی دیگر تغییرات کربن آلی خاک به عنوان یکی از ذخایر کربن، از عواملی مانند تغییرات اقلیمی و یا تغییر مدیریت و کاربری اراضی اثر می‌پذیرد (۱۶).

تغییر اقلیم یکی از معضلات کنونی جامعه بشری است و تهدید جدی برای سیاره زمین به شمار می‌آید. افزایش دمای کره زمین سبب تغییرات ژرف و وسیع در اقلیم سطح زمین می‌گردد و موجب بروز تغییراتی در زمان و مکان بارش‌ها و طوفان‌ها می‌شود. با افزایش جمعیت و گسترش فعالیت‌های صنعتی و استفاده از سوخت‌های فسیلی، CO₂ از حدود ۲۸۰ ppm از پیش از صنعتی شدن به حدود ۳۷۰ ppm در دوره کنونی افزایش یافته است که این رقم برابر با حدود ۳۵ درصد افزایش است (۱۵).

بر اساس گزارش IPCC^۱، در سال ۲۱۰۰ میانگین جهانی دمای سطحی ۳٫۷ تا ۴٫۸ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. در حالی که با توجه به یک مدل ترکیبی چرخه کربن-اقلیم پیش‌بینی شده است که میانگین دمای خاک تا ۸ درجه سانتی‌گراد در سال ۲۱۰۰ افزایش خواهد یافت که بسیار بیشتر از مقادیر پیش‌بینی شده توسط IPCC است. این موضوع بیانگر تاثیرپذیری زیاد خاک‌ها تحت تغییرات اقلیمی می‌باشد. با افزایش دمای خاک، نرخ تجزیه کربن افزایش خواهد یافت که به صورت بالقوه موجب افزایش میانگین تصاعد دی‌اکسید کربن خاک به اتمسفر می‌شود. حساسیت نرخ دی‌اکسید کربن متصاعد شده از سطح خاک نسبت به

پدیده تغییر اقلیم در آینده، از دلایل مهمی است که موجب می‌شود موضوع تنفس خاک از موضوعات مورد علاقه محققان باشد. اگرچه تحقیقات انجام شده در این زمینه بیانگر تغییر نرخ دی‌اکسید کربن متصاعد شده از سطح خاک با پدیده تغییر اقلیم است لیکن به دلیل تغییرپذیری این پارامتر نسبت به شرایط محیطی، جهت و مقدار این تغییر هنوز ناشناخته می‌باشد. پیش‌بینی شده است افزایش ۲ درجه سانتی‌گرادی دما در مقیاس جهانی، موجب رهاسازی بیشتر از ۱۰ پتا گرم کربن از خاک در هر سال شده که سهم ۲۰-۱۵ درصدی تنفس خاک در این مورد قابل توجه است (۲۵). کربن آلی خاک تاثیرات معنی‌داری بر روی خصوصیات خاک از جمله، ظرفیت نگهداری آب، دانه‌بندی خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی و دسترسی مواد غذایی دارد که بر بهبود سلامت و پایداری خاک و بهبود تولید محصولات کشاورزی تاثیر زیادی دارد. علاوه بر این، به دلیل نقش اصلی آن در عملکرد خاک، کربن آلی خاک، هم روی عملکرد اکوسیستم و هم تولید محصولات زراعی تاثیر بسزایی دارد (۳۴) و (۲۶).

مدل‌سازی ابزار است که به کمک آن می‌توان امکان عملیاتی شدن تکنیک‌های مختلف مدیریت اراضی را ارزیابی و به کمک نتایج حاصله روش‌های برتر را انتخاب و مورد تحقیق قرار داد همچنین در مطالعات ترسیب کربن نیز می‌توان با استفاده از مدل‌سازی، سال‌ها قبل از وقوع تغییرات، آنها را شناسایی و عملیات مدیریتی مناسب را اتخاذ نمود. مدل RothC از پرکاربردترین مدل‌ها در این زمینه است که به دلیل سادگی و در دسترس بودن ورودی‌هایش مورد توجه بسیاری از محققان می‌باشد (۱۶). کلمن و همکاران^۲ (۷) با استفاده از مدل RothC و به منظور شبیه‌سازی تغییرات کربن آلی خاک در ۱۸ منطقه از آلمان، انگلستان، آمریکا، جمهوری چک و استرالیا اقدام به اندازه‌گیری کربن آلی خاک کردند. نتایج حاصل حاکی از آن بود که

1- Intergovernmental Panel on Climate Change

(هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم).

2- Coleman et al.

خاک در اراضی آیش اصلاح شده خوب عمل کرده و نسبت DPM^3/RPM^f را به درستی محاسبه می‌کند. بارانسیکلوا و همکاران^۵ (۴) با استفاده از آمار 35 ساله و با کمک مدل RothC در زمین‌های کشاورزی اسلواکی در دو مرحله، تغییرات کربن خاک را روندیابی کردند. نتایج حاکی از افزایش ماده‌ی آلی در فاز اول (۲۰ سال) بود که می‌تواند به دلیل ورود مقادیر بالای کربن به خاک بر اثر وجود بقایای گیاهی، کودهی و نیز دمای پایین این دوره باشد. اما در فاز دوم (۱۵ سال) تغییر معنی‌داری در مقدار کربن مشاهده نگردید.

در بررسی تغییرات اقلیمی، پیش‌بینی آینده پارامترهای اقلیمی توسط مدل‌های گردش عمومی (GCMs) و تحت سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای انجام می‌شود؛ اما خروجی این مدل‌ها به علت بزرگ مقیاس بودن شبکه آنها، فاقد دقت مکانی و زمانی مناسب در مقیاس کوچک می‌باشند، لذا نیاز به کوچک مقیاس کردن خروجی این مدل‌ها در مقیاس ایستگاهی و نقطه‌ای با استفاده از مدل‌های ریزمقیاس‌گردانی خواهد بود که به دو دسته آماری و دینامیکی تقسیم می‌شوند که روش‌های آماری دارای کاربرد و مقبولیت بیشتری می‌باشند. از میان روش‌های آماری نیز مدل‌های WG-LARS و SDSM از معتبرترین ابزارهای ریزمقیاس‌گردانی در حال حاضر به حساب می‌آیند (۲۰).

در تحقیق اشرف و همکاران^۶ (۲) داده‌های مدل HadCM3 طبق سناریوی $A1B^y$ ، $A2^a$ و $B1^a$ توسط

این مدل برای 14 مورد از 18 نقطه، مقادیر قابل قبولی را ارائه کرده است. آزاد (۱)، نشان داد که مدل روتامستد به دلیل سادگی و در دسترس بودن داده‌های مورد نیاز برای اجرای آن، در حال حاضر بهترین مدل کربن برای شرایط ایران می‌باشد که مدل روتامستد به دلیل سادگی و در دسترس بودن داده‌های مورد نیاز برای اجرای آن، در حال حاضر بهترین مدل کربن برای شرایط ایران می‌باشد. ایشان اطلاعات مفیدی که در اجرا و اعتبارسنجی مدل روتامستد برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر دینامیک منابع کربن خاک مورد نیاز است را فراهم نمودند. کلمن و جنکینسن^۱ (۸)، مدل RothC را یکی از پرکاربردترین مدل‌ها در مطالعات مربوط به ترسیب کربن معرفی کرده‌اند، که ابتدا برای شرایط مزرعه‌ای در آزمایشگاه تحقیقاتی روتامستد انگلستان طراحی شده و پس از آن در طیف وسیعی از خاکها و شرایط اقلیمی در اقصی نقاط جهان مورد آزمایش قرار گرفته و مورد اعتبارسنجی قرار گرفته است، این مدل به دلیل سادگی و موجود بودن داده‌های ورودی مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. کاوونگا و کلمن^۲ (۲۱)، در پژوهش خود با عنوان مدل‌سازی عملکرد کربن آلی خاک در اراضی آیش اصلاح شده شرق زامبیا با استفاده از مدل RothC، این مدل را با استفاده از داده‌های تجربی در دو منطقه‌ی آیش اصلاح شده که در یک منطقه سرشاخه‌زنی گیاهان انجام شده بود و در منطقه‌ی دیگر گیاهان سرشاخه‌زنی نشده بودند مورد آزمایش قرار دادند. منطقه‌ای که به عنوان منطقه‌ی کنترل در نظر گرفته شد اراضی آیش اصلاح نشده بود. نتایج این پژوهش نشان داد که مدل RothC برای محاسبه‌ی سالانه‌ی کربن آلی ورودی به خاک و موجودی ذخایر کربن آلی

3- Decomposable Plant Material (مواد گیاهی تجزیه پذیر)

(پذیر)

4- Resistant Plant Material (مواد گیاهی مقاوم)

5- Barancykova *et al.*

6- Ashraf *et al.*

۷- تاکید بر استفاده متعادل از انواع منابع انرژی

۸- تاکید بر افزایش جمعیت و توسعه اقتصادی

۹- سناریوی دوستدار محیط زیست

1- Jenkinson

2- Kaonga and Coleman

فارینا و همکاران^۳ (۱۳)، در پژوهش خود با عنوان اصلاح مدل RothC برای شبیه‌سازی دینامیک کربن آلی در مناطق دیمزار، بیان می‌کنند که مدل RothC در بیشتر مناطق جهان (خصوصاً در مناطق نیمه خشک) با دقتی قابل قبول، پویایی کربن آلی را شبیه‌سازی می‌کند.

فلاح‌تکار و همکاران^۴ (۱۱) به مطالعه ذخیره کربن آلی خاک کاربری‌های مختلف در حوزه‌های جنگل‌های استان گیلان پرداختند. در این مطالعه نتایج نشان داد که بالاترین میزان افت ذخیره کربن آلی در اثر تغییر کاربری به ترتیب به تبدیل جنگل به مرتع و تبدیل مرتع به زمین‌های کشاورزی در عمق ۰-۴۰ سانتی متری خاک مربوط می‌شود.

سلیمانی (29) در پژوهشی که تحت عنوان شبیه‌سازی ذخیره کربن آلی خاک تحت تاثیر تغییر پوشش جنگل طبیعی و تغییر اقلیم در دارابکلای ساری انجام داد، نتیجه گرفت که تحت تمام سناریوهای اقلیمی و پوشش‌های مختلف، توان ذخیره کربن خاک تا سال ۲۰۹۹ با کاهش نسبی مواجه خواهد شد. یافته‌های خزائی (23) در ارزیابی اثرات تغییر اقلیم آینده بر دما و بارش زنجان، حاکی از افزایش قابل توجه میانگین‌های کمینه دمای روزانه و بیشینه دمای روزانه در اقلیم آینده است. علی‌رغم نوسانات اقلیم، پیش‌بینی شده است که در همه ماه‌های سال میانگین‌های بیشینه دمای روزانه و کمینه دمای روزانه افزایش یابد. بعلاوه، عدم قطعیت سناریوهای انتشار در مقایسه با میزان افزایش دما اندک است. هم‌چنین در اغلب ماه‌های سال انتظار می‌رود که مقدار بارش اقلیم آینده کاهش یابد، اما به دلیل نوسانات اقلیمی، افزایش مقدار بارش نیز با احتمال اندک ممکن است.

حدود ۵۴۰۰۰۰ هکتار از وسعت استان گلستان را اراضی زراعی (۲۳٫۴٪ آبی و ۷۶٫۶٪ آبی) تشکیل

مدل LARS-WG، ریزمقیاس شده و تغییرات فصلی بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعت آفتابی استان خراسان رضوی در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق حاکی از افزایش بارش‌های بهاره، پاییزه و زمستانه، افزایش دما و کاهش ساعت آفتابی دوره مورد مطالعه در اغلب استان بوده است.

در پژوهشی چنو همکاران^۱ (۶) دما و بارش را برای منطقه سودان و سودان جنوبی با ۷ مدل گردش عمومی جو و تحت سناریو A2 با استفاده از مدل LARS-WG ریزمقیاس کردند. بارش ریزمقیاس شده توسط مدل، نتایج متناقضی را داده است که بیانگر عدم قطعیت زیاد مدل‌های گردش عمومی جو است. ولی در خصوص دمای حداقل و حداکثر بین همه مدل‌های گردش عمومی جو یک هماهنگی در کلیه ایستگاه‌ها وجود داشته و روند افزایشی را نشان می‌دهد.

دابلاس رودریگ و همکاران^۲ (۹) در اسپانیا، تاثیر سناریوهای تغییر اقلیم روی ذخیره کربن آلی خاک را با استفاده از مدل RothC مورد بررسی قرار دادند. آنها دریافتند که تغییرات کربن آلی خاک در آینده بستگی به میزان ذخیره کربن آلی اولیه خاک دارد و همچنین دریافتند که در مرابعی که دارای ذخیره اولیه بالاتری هستند تغییر اقلیم و مدیریت نامناسب خاک تاثیر شدیدتری بر کاهش کربن آلی خاک خواهد داشت.

باقری فام و همکاران (۳) در تحقیقی در جنوب شرق مشهد با استفاده از مدل RothC تأثیر گرمایش جهانی و تغییر اقلیم بر میزان مخزن کربن آلی خاک اکوسیستم کشاورزی را مورد بررسی قرار دادند. مدل‌سازی تغییرات اقلیمی آتی مشهد نشان داد که در نتیجه کاهش بارندگی و افزایش دما و تبخیر، میزان کربن آلی کل خاک (TOC) نسبت به شرایط فعلی ۱/۱۳ درصد کاهش می‌یابد.

3- Farina et al.

4- Falahtkar et al.

1- Chen et al.

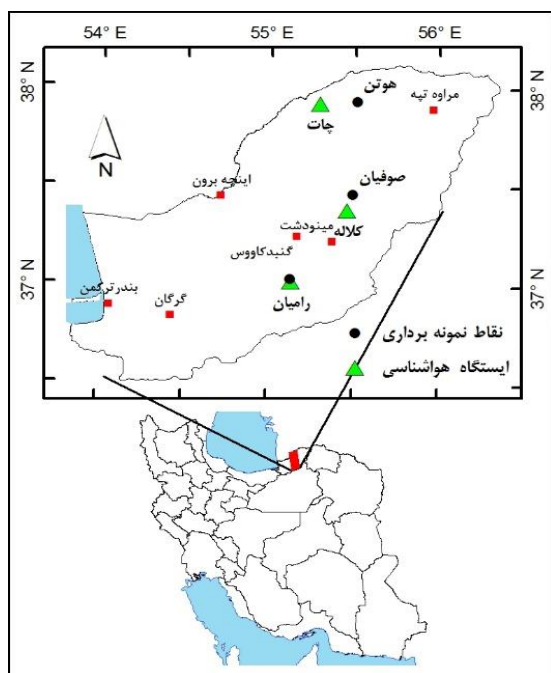
2- Doblas-Rodrig et al.

مدل Lars-WG6

LARS-WG یک مولد آب و هوای تصادفی

است که میتواند برای شبیه سازی داده‌های جوی در یک ایستگاه، تحت شرایط اقلیم کنونی و آینده استفاده شود. نسخه‌ی ششم این نرم افزار اوایل سال ۲۰۱۸ عرضه شد و از سناریوهای RCP و مدل‌های جفت شده CMIP5 پشتیبانی می‌کند.

در این پژوهش از نسخه‌ی آخر این نرم افزار یعنی Lars-WG6 استفاده گردید. داده‌های ورودی این نرم افزار شامل دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و ساعات آفتابی به صورت روزانه می‌باشد. روش کار به این صورت است که مدل، داده‌های شرایط اقلیمی حاضر را به عنوان داده‌های مشاهداتی دریافت نموده، با بررسی آن‌ها مشخصه‌های آماری داده‌ها استخراج می‌شوند سپس به منظور صحت سنجی و اطمینان از توانایی مدل، برای دوره آماری پایه رویه QTEST را اجرا نموده تا یک سری داده‌های مصنوعی در دوره مشاهداتی (پایه)، مجدداً ایجاد شود سپس این خروجی‌ها به منظور ارزیابی عملکرد مدل در بازسازی داده‌ها با داده‌های مشاهداتی مقایسه می‌شوند.



شکل (۱) موقعیت منطقه مورد بررسی

Figure (1) Location of the investigated area

می‌دهند، اما تاکنون هیچ مطالعه‌ای به ارزیابی ذخایر کربن آلی خاک در آن نپرداخته است. مطالعه حاضر اولین تلاش برای درک اثرات تغییر اقلیم بر ذخایر کربن آلی خاک در آن است. لذا این مطالعه به ارزیابی تغییرات ذخایر کربن آلی خاک در دهه‌های آتی در اثر تغییرات اقلیمی تحت سناریوهای RCP 4.5 (میان) و RCP 8.5 (بدینانه) در اراضی زراعی استان گلستان می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

هدف از این تحقیق، بررسی وضعیت ذخیره کربن آلی خاک در اراضی زراعی استان گلستان و تاثیر تغییرات اقلیمی بر میزان آن در دهه‌های آتی می‌باشد. بدین منظور، از مدل Roth C^۱ (شبیه ساز کربن آلی خاک) و مدل Lars WG (مدل ریزمقیاس‌نمایی داده‌های اقلیمی آینده) استفاده شد. جهت انجام این تحقیق، در نواحی میانی استان گلستان و در امتداد شمال شرقی-جنوب غربی، ۳ نقطه در ۳ اقلیم خشک (هوتن)، نیمه خشک (صوفیان)، و اقلیم مرطوب (رامیان)، انتخاب گردید (شکل ۱). در نقاط منتخب با حفر ۳۰ سانتی متری و چندین اوگر در عمق‌های صفر تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتی متری، نمونه‌های خاک جمع‌آوری و میزان کربن آلی خاک، بافت خاک و وزن مخصوص ظاهری اندازه‌گیری شد (سال ۱۳۹۸) (جدول ۱). همچنین جهت اعتبارسنجی مدل Roth C از نتایج مطالعات قبلی (سالهای ۱۳۷۶ و ۱۳۸۳) استفاده شد (۲۲)، (۲۷)، (۲۸) و (۳۵) (جدول ۲).

داده‌های اقلیمی مورد استفاده در این پروژه از آمار سالهای ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۸ ایستگاه‌های هواشناسی چات (برای نمونه خاک هوتن)، کلاله (برای نمونه خاک صوفیان) و رامیان (برای نمونه خاک رامیان) استخراج شد و بوسیله مدل Lars WG6 ریزمقیاس‌نمایی شده داده‌های بارش و دمای دهه‌های آتی شبیه‌سازی گردید.

1- Rothamsted Carbon Model

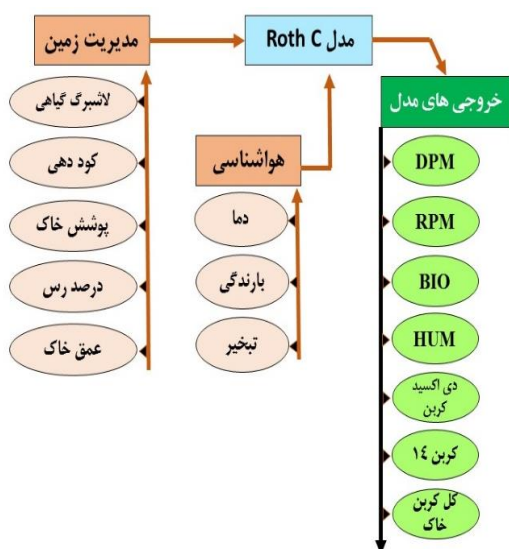
خاک (تن در هکتار)، ماده آلی پایدار^۳ (تن در هکتار)، عمق لایه مورد بررسی (سانتی متر)، وضعیت پوشش خاک (آیش یا دارای پوشش گیاهی)، مقدار بقایای گیاهی وارد شده در هر ماه (تن کربن در هکتار)، مقدار کود حیوانی استفاده شده در هر ماه (تن کربن در هکتار) می باشد (۸).

خروجی های مدل روتامستد شامل

میزان کربن آلی در استخرهای (RPM, DPM), (HUM و BIO), دی اکسید کربن، کربن ۱۴ و کل کربن خاک (SOC) می باشد (شکل ۲). ذخیره کربن آلی خاک با استفاده از معادله زیر محاسبه شد (۸):

(۱)

$SOC\ Stock = OC(\%) * Depth\ (cm) * Bd\ (gr\ cm^{-3})$
 که در آن، SOC Stock ذخیره کربن آلی خاک بر حسب تن بر هکتار، OC کربن آلی خاک به درصد، Depth عمق خاک به سانتی متر و Bd وزن مخصوص ظاهری خاک بر حسب گرم بر سانتی متر مکعب است.



شکل (۲) مراحل بکارگیری مدل روتامستد

Figure (2) The stages of applying the Roth C model

مدل Roth C

این مدل، کربن آلی خاک را به چهار جزء فعال و غیر فعال تقسیم بندی می کند (شکل ۲). اجزای فعال ماده آلی خاک شامل DPM^1 ، RPM^2 ، بیومس میکروبی و مواد آلی هوموسی شده هستند. در این مدل جزء غیر فعال، نسبتی از مواد آلی است که از نظر بیولوژیکی فعال نبوده و سن رادیوکربنی آن بیش از ۵۰۰۰۰ سال است، بنابراین در چرخه کربن شرکت ندارد. مدل روتامستد، لاشبرگ گیاهی ورودی به خاک را بر مبنای نسبت مواد گیاهی تجزیه پذیر به مواد گیاهی مقاوم (کیفیت لاشبرگ) به داخل مخزن های DPM و RPM تقسیم بندی می کند و سپس مواد گیاهی به شکل CO_2 ، بیومس میکروبی و مواد آلی هوموسی شده تجزیه می شوند. همه اجزای فعال بر مبنای سینتیک درجه اول تجزیه می شوند، هر جزء فعال نرخ ثابت تجزیه مخصوص خود را دارد. این نرخ تجزیه بر مبنای رطوبت خاک، دمای خاک و پوشش سطح خاک در هر ماه تصحیح می شود. میزان رس خاک نیز بر نسبت CO_2 منتشر شده به بیومس میکروبی و مواد آلی هوموسی شده اثر می گذارد. داده های ورودی به مدل روتامستد درون دو فایل اصلی (هواشناسی و مدیریت) وارد می شوند که هر یک حاوی مجموعه ای از متغیرها هستند. خروجی های مهم مدل شامل میزان کربن در مخازن مختلف خاک، کل کربن خاک و میزان دی اکسید کربن انتشار یافته از خاک است (۸).

ورودی های مدل روتامستد شامل

۱- داده های اقلیمی شامل میانگین بارش ماهانه (میلی متر)، میانگین ماهانه دما (درجه سانتی گراد) و تبخیر ماهانه (میلی متر).
 ۲- داده های خاک و مدیریت زمین که شامل محتوای رس خاک (درصد)، ذخیره کربن آلی ابتدایی

۱- مواد گیاهی تجزیه پذیر DPM

۲- مواد گیاهی مقاوم RMP

جدول (۱) مشخصات و نتایج آنالیزهای آزمایشگاهی در سال ۱۳۹۸
 Table (1) Characteristics and Results of Laboratory Analysis in 2019

شرح	نام منطقه	هوتن	صوفیان	رامیان
مختصات جغرافیایی	X	369356	366756	333739
(UTM)	Y	4199706	4147694	4100503
ارتفاع از دریا (m)		۱۰۶	۱۵۱	۱۸۰
بارندگی (mm)	کمتر از ۲۵۰	۵۵۰	بیش از ۷۵۰	تا ۶۰۰
عمق نمونه برداری (cm)		30	30	30
Clay		11	16	29
OC		0.4	1.27	1.26
Bd		1.54	1.44	1.6
SOC		18.63	55.01	60.32

جدول (۲) نتایج آنالیزهای آزمایشگاهی مطالعات قبلی (۲۲)، (۲۷)، (۲۸) و (۳۵)

Table (2) results of laboratory analyzes of previous studies (22), (27), (28), (35)

نام منطقه	هوتن	صوفیان	رامیان
سال	1376	1383	1383
ارتفاع از دریا	۱۰۵	۱۳۵	۲۰۰
بارندگی (mm)	کمتر از ۲۵۰	۵۵۰	بیش از ۷۵۰
عمق نمونه برداری (cm)	30	30	30
OC	0.4	1.3	1.4
Bd	1.4	1.7	1.4
SOC	16.80	66.30	58.80

ارزیابی عملکرد مدل‌ها

جهت ارزیابی عملکرد مدل‌ها در پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی و پیش‌بینی کربن آلی خاک، از شاخص‌های زیر استفاده گردید (۲۰):

الف): مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE): نشان دهنده میزان خطای برآورد می‌باشد که بهترین مقدار آن برابر صفر است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n}} \quad (2)$$

ب): میانگین مربعات خطا (MSE): می‌تواند از صفر

در عملکرد عالی تا بی‌نهایت تغییر کند.

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n} \quad (3)$$

ج): میانگین مطلق خطا (MAE): نشان دهنده میزان

خطای برآورد می‌باشد که بهترین مقدار آن برابر صفر است.

$$MAE = \frac{\sum_{t=1}^n |F_t - A_t|}{n} \quad (4)$$

د): نش ساتکلیف (NS): دامنه جواب این معیار بین

یک تا بی‌نهایت منفی است لذا هرچه مقدار آن به یک

سبطلی و همکاران: تاثیر تغییر اقلیم بر ذخیره کربن...

(R²) بین ذخیره کربن آلی خاک اندازه گیری شده و شبیه سازی شده توسط مدل Roth C برای ۳ منطقه مورد بررسی ۰,۷، ۰,۸، و ۰,۹ بود که نشان دهنده یک رابطه خطی معنی دار بین ذخیره کربن آلی اندازه گیری شده و شبیه سازی شده توسط مدل است. مقادیر MAE و RMSE نیز حاکی از آنست که عملکرد مدل Roth C در شبیه سازی کربن در منطقه هوتن بهتر از مناطق دیگر است.

تحلیل نتایج

بررسی تغییرات دما بر اساس خروجی چهار مدل مورد بررسی در Lars-WG و در سه ایستگاه مورد مطالعه برای دوره زمانی ۲۰۲۱-۲۰۴۰ و ۲۰۸۰-۲۰۴۱ نسبت به دوره پایه نشان داد که تا سال ۲۰۴۰ بر اساس سناریو RCP 4.5 افزایش دما بین ۰,۶ تا ۰,۸ و بر اساس سناریو RCP 8.5 بین ۰,۶ تا ۱,۳ بر درجه سانتی گراد محتمل است. همچنین تا سال ۲۰۸۰ بر اساس سناریو RCP 4.5، افزایش دما بین ۱,۵ تا ۲,۳ و بر اساس سناریو RCP 8.5 بین ۲,۲ تا ۳,۲ درجه سانتی گراد پیش بینی می شود (شکل ۳).

نزدیکتر باشد مدل کارآیی مناسبی در شبیه سازی خواهد داشت (۱۸).

$$NS = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{\sum_{t=1}^n (A_t - \bar{A}_t)^2} \quad (5)$$

ها: ضریب همبستگی (R): ارتباط خطی بین داده های

مشاهداتی و شبیه سازی شده را نشان می دهد.

(و): ضریب تعیین (R²): معیاری بدون بعد و بهترین مقدار آن برابر یک می باشد.

نتایج حاصل از مقایسه داده های مشاهداتی و شبیه سازی شده توسط مدل Lars-WG بر اساس شاخص های آماری مختلف در جدول (۳) آورده شده است. این نتایج بیانگر آن است که اختلاف معنی داری بین مقادیر مشاهده ای و شبیه سازی شده در خصوص پارامتر دمای هوا وجود ندارد و شاخص های خطاسنجی (R², RMSE, MSE, MAE) و (NS)، نشان داد که دقت Lars-WG در شبیه سازی پارامتر دمای کمینه و دمای بیشینه بیشتر از پارامتر بارش است. ارزیابی کارآیی مدل Roth C با استفاده از داده های اندازه گیری شده حاصل از مطالعات پیشین و مطالعات حاضر بر مبنای آنالیزهای آماری انجام شد. نتایج تست های آماری استفاده شده در جدول (۴) نشان داده شده است. ضریب تبیین

جدول (۳) اعتبار سنجی عملکرد مدل Lars-WG

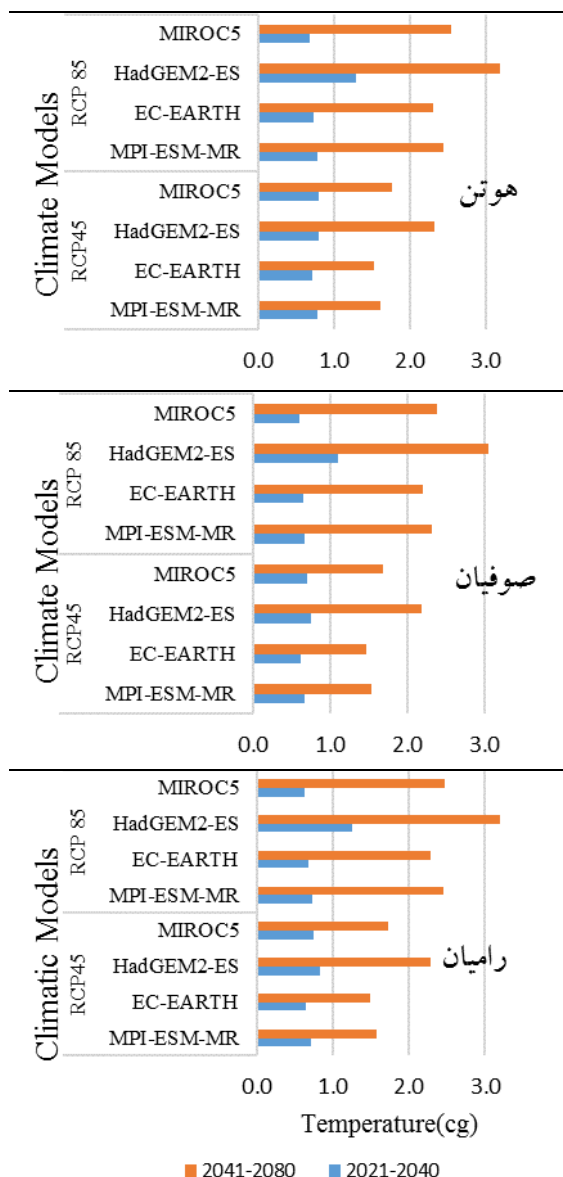
Table(3) Performance Validation of Lars-WG Model

R ²	RMSE	MSE	MAE	NS	ایستگاه شاخص
0.88	12.84	164.75	6.65	0.84	بارش
1	0.16	0.03	-0.06	1	دمای کمینه رامیان
1	0.41	0.17	-0.3	1	دمای بیشینه
0.87	8.36	69.95	1.77	0.86	بارش
1	0.16	0.03	0.06	1	دمای کمینه صوفیان
1	0.41	0.16	-0.22	1	دمای بیشینه
0.97	1.48	2.18	0.73	0.96	بارش
1	0.13	0.02	0.00	1	دمای کمینه هوتن
1	0.35	0.12	-0.21	1	دمای بیشینه

جدول (۴) اعتبار سنجی عملکرد مدل Roth C برای پارامتر SOC
Table(4) Performance Validation of Roth C Model for SOC

	رامیان	صوفیان	هوتن	شاخص
	5.1	7.0	3.1	RMSE
	4.0	5.3	2.6	MAE
	0.7	0.8	0.9	R2

صوفیان حاکی از افزایش کربن آلی خاک در سال ۲۰۸۰ می‌باشد (شکل d-۶).



شکل (۳) افزایش دما در سالهای ۲۰۴۰ و ۲۰۸۰ بر حسب

درجه سانتی‌گراد

Figure (3) Temperature increase in 2040 and 2080 in degrees Celsius

تغییر اقلیم در مناطق مختلف می‌تواند باعث کاهش، افزایش یا عدم تغییر در بارش گردد. طبق پیش‌بینی گزارش سوم هیات بین‌الدول تغییر اقلیم در سال ۲۰۰۱، در منطقه ایران بارش در زمستان افزایش و در تابستان کاهش خواهد داشت. بر اساس یافته‌های تحقیق حاضر، مقدار بارش در ایستگاه‌های مورد بررسی در آینده (در سال‌های ۲۰۴۰ و ۲۰۸۰) بر اساس دو سناریو RCP 4.5 و RCP 8.5 افزایش خواهد داشت (شکل ۴).

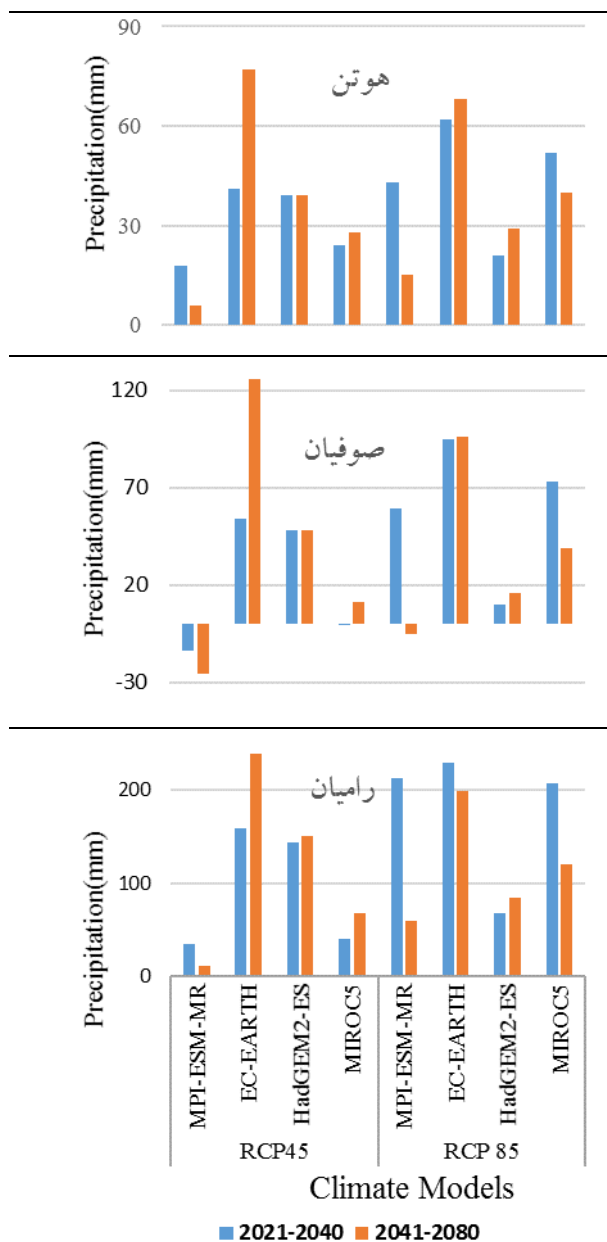
بر اساس نتایج بدست آمده در سه ایستگاه مورد بررسی، در سال ۲۰۴۰ بر اساس سناریو RCP 4.5 مقدار ذخیره کربن آلی خاک در اراضی زراعی بین ۰.۵ تا ۵.۳ تن در هکتار کاهش خواهد داشت.

همچنین بر اساس سناریو RCP 8.5 نیز میزان کاهش ذخیره کربن آلی خاک در این اراضی بین ۰.۸ تا ۶ تن در هکتار پیش‌بینی شد. بر اساس این نتایج، بیشترین کاهش ذخیره کربن آلی خاک در سال ۲۰۴۰ در نواحی مرطوب و پر بارش استان پیش‌بینی گردید (شکل ۵).

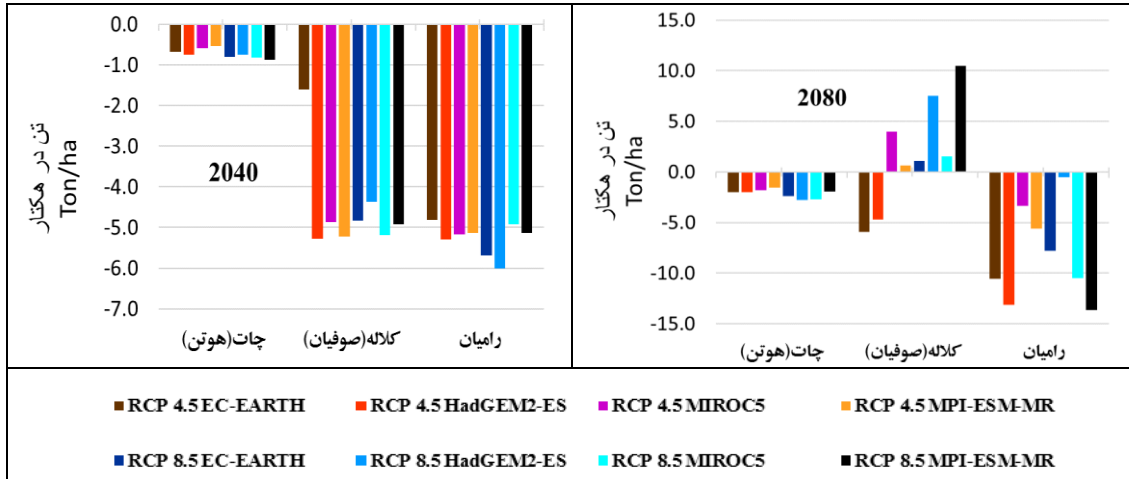
بر اساس این تحقیق در سه ایستگاه مورد بررسی، در سال ۲۰۸۰ بر اساس سناریو RCP 4.5 مقدار ذخیره کربن آلی خاک در اراضی زراعی بین ۱.۵ تا ۱۳.۱ تن در هکتار کاهش خواهد داشت البته در این سال بر اساس مدل‌های اقلیمی MIROC5 و MPI-ESM-MR در ایستگاه صوفیان شاهد افزایش ذخیره کربن آلی خاک بین ۰.۶ تا ۳.۹ تن در هکتار خواهیم بود. همچنین بر اساس سناریو RCP 8.5 نیز در سال ۲۰۸۰، میزان کاهش ذخیره کربن آلی خاک در این اراضی بین ۰.۵ تا ۱۰.۵ تن در هکتار پیش‌بینی می‌گردد.

بر اساس این نتایج، بیشترین کاهش ذخیره کربن آلی خاک در سال ۲۰۸۰ در نواحی مرطوب و پر بارش (ایستگاه رامیان) محاسبه شده است. با این حال نتایج مربوط به اراضی زراعی منطقه

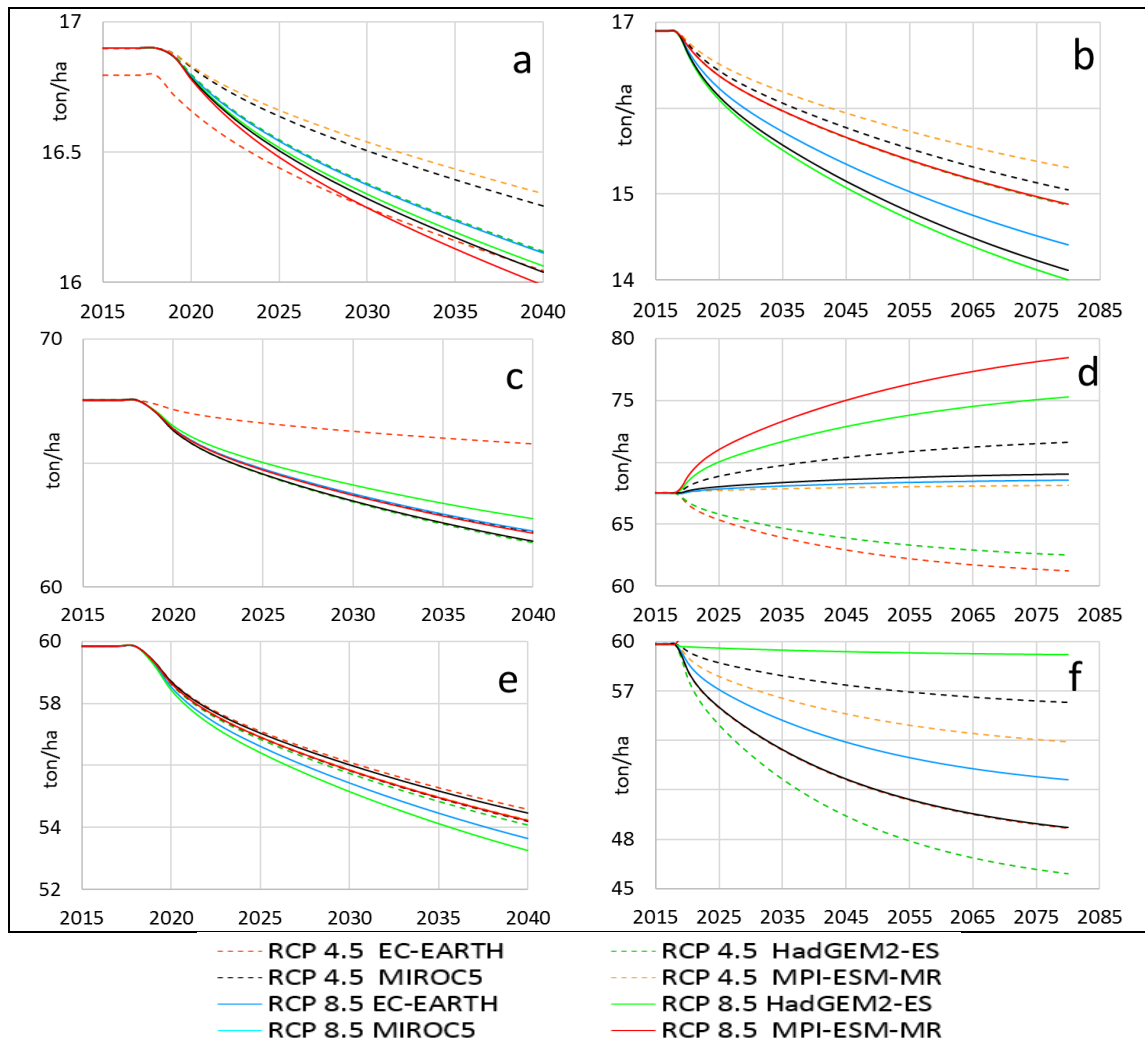
سبطلی و همکاران: تاثیر تغییر اقلیم بر ذخیره کربن...



شکل (۴) تغییرات بارش در سالهای ۲۰۴۰ و ۲۰۸۰ بر حسب میلی‌متر
 Figure (4) Rainfall changes in 2040 and 2080 in mm



شکل (۵) تغییرات کربن آلی در سال‌های ۲۰۴۰ و ۲۰۸۰
 Figure (5) The amount of organic carbon changes in ۲۰۴۰ and ۲۰۸۰



شکل (۶) نمودارهای تغییرات آبی کربن بر اساس سناریوهای مختلف اقلیمی
 (a= هوتن ۲۰۴۰، b= هوتن ۲۰۸۰، c= صوفیان ۲۰۴۰، d= صوفیان ۲۰۸۰، e= رامیان ۲۰۴۰، f= رامیان ۲۰۸۰)
 Figure(6) Diagrams of future carbon changes based on different climate scenarios
 (a= Houtan ۲۰۴۰, b= Houtan ۲۰۸۰, c= Sofiyan ۲۰۴۰, d= Sofiyan ۲۰۸۰, e= Ramian ۲۰۴۰, f= Ramian ۲۰۸۰)

نتیجه گیری

شود. که این کاهش در سناریوهای RCP 4.5 و RCP 8.5 متفاوت خواهد بود. بر اساس این نتایج، افزایش دما می‌تواند تجزیه SOC را سرعت بخشد که این افزایش سرعت تجزیه در زمین‌های زراعی به دلیل کم بودن پوشش گیاهی سطحی در دوره هایی از سال باعث هدرروی کربن آلی خاک به صورت CO₂ در لایه های بالایی خاک می‌شود. علاوه بر اثرات آب و هوایی، عواملی از قبیل مدیریت نامناسب زمین (کاربری) که عامل اصلی آن انسان است می‌تواند باعث ازدست دادن ذخیره کربن آلی خاک شود. برخی مطالعات بیان کرده‌اند که مناطق با پوشش گیاهی پایین (زراعی نسبت به مرتعی) به شدت تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار گرفته و موجب هدرروی کربن آلی خاک در این مناطق خواهد شد.

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق در یک گرادیان اقلیمی قرار دارد (بارندگی متفاوت). شکل ۵ نشان میدهد که کاهش ذخیره کربن آلی خاک در آینده در منطقه رامیان (منطقه پربارش)، نسبت به صوفیان و هوتن بیشتر خواهد بود. یا افزایش بارش میزان هدرروی کربن آلی سطحی خاک در اثر شستشو افزایش می‌یابد. از دیگر دلایل کاهش بیشتر ذخیره کربن آلی خاک در این منطقه، می‌توان به محتوای رطوبتی بالاتر به دلیل بارش بیشتر اشاره کرد. با افزایش محتوای رطوبتی خاک جمعیت میکروبی خاک و به طبع آن تجزیه میکروبی بالاتر رفته و در نتیجه تجزیه کربن آلی خاک بیشتر خواهد شد.

بر اساس نتایج بدست آمده، مدل Roth C با دقت مناسبی توانسته دینامیک ذخیره کربن آلی خاک در منطقه مورد مطالعه را شبیه‌سازی کند و البته چندین مطالعه قبلی نیز کارایی این مدل را برای شبیه‌سازی اثر سناریوهای اقلیمی و مدیریتی بر ذخیره کربن خاک و انتشار CO₂ خاک تأیید می‌کنند.

نتایج خروجی چهار مدل اقلیمی مورد بررسی (MPI-ESM-MR, HadGEM2-ES EC-EARTH, MIROC5) در ایستگاههای مورد مطالعه نشان داد که تغییرات دما در آینده، در سال‌های ۲۰۴۰ و ۲۰۸۰ افزایشی خواهد بود. این یافته‌ها با نتایج اکثر مطالعات اقلیمی که افزایش دما در دهه‌های آینده را پیش‌بینی کرده‌اند مطابقت دارد. در سال‌های اخیر به دلیل رشد سریع شهرنشینی، افزایش ساخت و سازها و استفاده بیش از حد از زمین بدون مدیریت مناسب سبب پیامدهای جدی در شرایط آب و هوایی شده است.

تغییر اقلیم در مناطق مختلف می‌تواند باعث کاهش، افزایش و یا عدم تغییر در بارش گردد. طبق پیش‌بینی گزارش سوم هیات بین‌الدول تغییر اقلیم در سال ۲۰۰۱، در منطقه ایران بارش در زمستان افزایش و در تابستان کاهش خواهد داشت. بر اساس یافته‌های تحقیق حاضر، مقدار بارش در ایستگاه‌های مورد بررسی در آینده (در سال‌های ۲۰۴۰ و ۲۰۸۰) بر اساس دو سناریو ۴٫۵ و ۸٫۵ افزایش خواهد داشت.

مدل Roth C ابزاری مناسب برای تخمین کربن آلی خاک تحت شرایط تغییر اقلیم می‌باشد. نتایج نشان داد که تغییرات دما و بارش می‌تواند منجر به کاهش SOC در سال‌های ۲۰۴۰ و ۲۰۸۰ در مناطق مختلف

References

1. Azad, B., Afzali, S.F. ۲۰۱۹. The Structural and practical Investigation of the Rothamsted Model in Assessing the Effect of Climate Change on Soil Carbon Sources. *Iran-Journal of Environment and Water Engineering*. 5-1, 83-90.
2. Ashraf, B., Mousavi Baygi, B., Kamali, G.A., Davari, K. 2011. Prediction of Seasonal Variations of Climatological Parameters over Next 20 Years by Using Statistical Downscaling Method of HADCM3 Data(Case Study: Khorasan Razavi Province). *Iran-Journal of Water and Soil*. 25, 4, 940-952. Doi= 10.22067/JSW.V0I0.10267.
3. Bagherifam, Saba., Delavar, Mohammad Amir., Keshavarz, Payman., Karami, Parviz., 2022. Modeling the impact of climate change on soil organic carbon pools in the semi-arid climate of Mashhad using the RothC model. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 10.22059/IJSWR.2022.346264.669327
4. Barancikova, G., Halas, J., Guttekova, M., Makovnikova, J., Navakova, M., Skalsky, R., and Tarasovicova, Z. 2010. Application of RothC model to predict soil organic carbon stock on agricultural soils of Slovakia. *Soil and Water Resarch*, 5(1): 1–9.
5. Bleuler, M., Farina, R., Francaviglia, R., Napoli, R., Marchetti, A. 2017. Modelling the impacts of different carbon sources on the soil organic carbon stock and CO2 emissions in the Foggia province (southern Italy). *Agriculture Systems* 157, 258–268.
6. Chen, H., Guo, J., Zhang, Z., Xu, Ch. 2012. Prediction of temperature and precipitation in Sudan and South Sudan by using LARS-WG in future, *Theor Appl Climatol*, DOI 10.1007/s00704-012-0793-9.
7. Coleman, K., Jenkinson, D.S., Crocker, G.J., Grace, P.R., Klír, J., Körschens, M., Poulton, P.R., Richter, D.D. 1997. Simulating trends in soil organic carbon in long-term experiments using RothC-26.3, *Geoderma* Volume 81, Issues 1–2, December 1997, Pages 29-44.
8. Coleman, K., and Jenkinson, D.S. 2008. RothC-26.3: A model for the turnover of carbon in soil, Model description and windows users guide. Rothamsted Research Harpenden Herts. ISBN 0951445685. Pp47. Available at http://www.rothamsted.bbsrc.ac.uk/aen/carbon/mod26_3_win.pdf.
9. Doblas-Rodrigo, Álvaro., Gallejones, Patricia., Artetxe, Ainara., Rosa, Eduardo., del Hierro, Óscar., Merino, Pilar. 2022. Grassland contribution to soil organic carbon stock under climate change scenarios in Basque Country (Spain). *Regional Environmental Change* (2022) 22: 34. <https://doi.org/10.1007/s10113-022-01877-4>.
10. Ellert, B.H., Bettany, J.R. 1995. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. *Canadian Journal of Soil Science* 75, 529–538.
11. Falahatkar, S., Hosseini, S.M., Mahiny, A.S., Ayoubi, S., Wang, S.Q. 2014. Soil organic carbon stock as affected by land use/cover changes in the humid region of northern Iran, *Journal of Mountain Science*, 11(2): 507-518.
12. Farage, P.K., Ardo, J., Olsson, L., Rienzi, E.A., Ball, A.S., and Pretty, J.N. ۲۰۰۷. The potential for soil carbon sequestration in three tropical dryland farming systems of Africa and Latin America: A modelling approach. *Soiland Tillage Research*, ۹۴, ۴۷۲-۴۵۷
13. Farina, R., Coleman, K., Whitmore, A.P. 2013. Modification of the RothC model for simulations of soil organic C dynamics in dryland regions. *Geoderma* 200/201, 18-30.
14. Farina, R., Marchetti, A., Francaviglia, R., Napoli, R., Di Bene, C. 2017. Modeling regional soil C stocks and CO2 emissions under Mediterranean cropping systems and soil types. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 238, 128–141.

15. Farajzadeh, M. 2013. Climate Change Effects on River Discharge-Case Study Sheshpir River. *Iran-Journal of Geography and Environmental Planning*. 49, 1. 17-32.
16. Fallahi, J., Rezvani-M, P., Nassiri-M, M., Behdani, M.A. 2013. Validation of RothC Model for Evaluation of Carbon Sequestration in a Restorated Ecosystem Under Two Different Climatic Scenarios. *Iran-Journal of Water and Soil*. 27, 3. 656-668. doi=10.22067/JSW.V0I0.26092 .
17. Fubo, Z., Yiping, W., Jinyu, H., Bellie, S., Xianyong, M., and Shuguang ,Liu. 2021. Projected soil organic carbon loss in response to climate warming and soil water content in a loess watershed. Zhao et al. *Carbon Balance Manage* (2021). <https://doi.org/10.1186/s13021-021-00187-2>.
18. Ghanghermeh, A., Roshan, G., Nazarnezhad, N. 2020. The Reconstruction the Past Climate based on Temperature Pattern Changes from Tree Rings on Oak Habitats in Golestan Province. *Iran-Journal of Geography and Environmental Planning*. 30, 4, (76). 115-138. doi: 10.22108/gep.2020.120332.1235.
19. Goodarzi, M., Khosravanian, J., Hejazy, S.A. 2015. Prediction of Climatic Parameters Using LARS-WG Model in Qare-su Basin. *Iran-Journal of Geographic Space*. 51. 279- 263. DOI:10.52547/GeoSpa.22.3.1.
20. Goodarzi, M., Salahi, B., Hosseini, S.A. 2016. Performance Analysis of LARS-WG and SDSM Downscaling Models In Simulation of Climate Changes in Urmia Lake Basin. *Iran- Journal of Watershed Management Science & Engineering*. 9, 31. 11-22. <http://jwmsei.ir/article-1-457-fa.html>.
21. Kaonga, M.L., and Coleman, K. 2008. Modelling soil organic carbon turnover in improved fallows in eastern Zambia using the RothC-26.3 model. *Forest Ecology and Management*, 256, 1160–1166.
22. Kaviani, Nazhin., 1387. Physico_Chemical Properties Micromorphology and Clay Mineralogy of Loess_Derived Soil of Nature and Cultiveted Land use on a Climosequence in Golestan Province. M.S.C Thesis. Islamic Azad University Science and Research Branch_Ahvaz_IRAN.
23. Khazaei, M.R., Byzedi, M., Babaeian, I. 2019. Estimation of Joint Uncertainties Due to Natural Climate Variability and Emission Scenarios in Climate Change Assessment on Precipitation and Temperature in Zanjan. *Iran-Journal of Environmental Science and Technology*. 21, 10. 15-30.
24. Mizanur Rahman, M.D., Zimmer, M., Ahmed, I., Donato, D., Kanzaki, M., Xu, M. 2021. Co-benefits of protecting mangroves for biodiversity conservation and carbon storage. *Nat. Commun*. 121 (12), 1–9.
25. Muñoz-Rojas, M., Jordán, A., Martínez Zavala, L., González Peñaloza, F., Rosa, D.d.l., Anaya Romero, M. 2013. Modelling soil organic carbon stocks in global change scenarios: a CarboSOIL application *Biogeosciences* 10, 8253–8268.
26. Rafiee Jazi, F. 2018. Effect of climate change and selection silvicultural system on dynamics of some soil biological properties in mixed beech forest. A PHD Thesis in Natural Resources Engineering – Forest Ecology and Silviculture. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.
27. Roushani, Gh. 1389. Investigating the preparation of a digital map of the geographical distribution of low-consumption nutrients in the soils under water wheat cultivation in Fars, Khuzestan and Golestan provinces. Final report of the research project. Tehran. National Soil and Water Research Institute.
28. Shahriari, Ali. 1393. Using stable isotopes composition and biomarkers as proxies of paleoclimate and paleovegetation along an ecological gradient in some parts of loess deposits of northern Iran. Ph.D thesis. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.

29. Soleimani, A. 2016. Simulation of soil organic carbon storage under the influence of natural forest cover change and climate change (case study: Darabkala-Sari). PhD Thesis. Tarbiat Modares University. Faculty of Natural Resources and Marine Sciences.
30. Soleimani, A., Hosseini, S.M., Massah-Bavani, A., Jafari, M., Francaviglia, R. 2017. Simulating soil organic carbon stock as affected by land cover change and climate change, Hyrcanian forests (northern Iran). *Iran-Journal of Science of the Total Environment*. 599–600, 1646–1657.
31. Wan, Y., Lin, E., Xiong, W., Li, Y., Guo, L. 2011. Modeling the impact of climate change on soil organic carbon stock in upland soils in the 21st century in China. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 141, 23–31.
32. Xiaodong, Nie., Zhongwu, Li., Jinquan, Huang., Bin, Huang., Yan, Zhang., Wenming, Ma., Yanbiao, Hu., Guangming, Zeng. 2014. Soil Organic Carbon Loss and Selective Transportation under Field Simulated Rainfall Even. *PLoS ONE* 9(8): e105927. doi:10.1371/journal.pone.0105927.
33. Xiaomei, Chen., Deqiang, Zhang., Guohua, Liang., Qingyan, Qiu., Juxiu, Liu., Guoyi, Zhou., Shizhong, Liu., Guowei, Chu., and Junhua, Yan. 2016. Effects of precipitation on soil organic carbon fractions in three subtropical forests in southern China. *Journal of Plant Ecology* Volume 9, Number 1, Pages 10–19.
34. Zeraatpisheh, M., Ayoubi, S., Mirbagheri, Z., Mosaddeghi, M.R., Xu, M. 2021. Spatial prediction of soil aggregate stability and soil organic carbon in aggregate fractions using machine learning algorithms and environmental variables. *Geoderma Reg* 27, e00440.
35. ZeraatPisheh, M. 1389. Carbon stock and mineral factors controlling soil organic carbon a climosequence, in Golestan province. Ph.D thesis. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.