مجله علوم و فنون هسته‌ای، جلد ۹۲، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹

Journal of Nuclear Science and Technology
Vol. 92, No. 2, 2020

میانگین زمان ماندگاری کربن-۱۴ ماده آلی خاک تحت اقلیم‌های متفاوت در بخشی از مراتع استان خوزستان، ایران

علیرضا اوجی[۱]، احمد لندی[۱]، مارال خدادادی*[۲]، سعید حجتی[۱]

۱. گروه علوم خاک، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، صندوق پستی: ۶۱۳۵۷۴۳۳۱، اهواز ـ ایران

۲. پژوهشکده‌ی کشاورزی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی، صندوق پستی: ۱۴۹۸-۳۱۴۶۵، کرج- ایران

*Email: mkhodadadi@aeoi.org.ir

مقاله‌ی پژوهشی

تاریخ دریافت مقاله: ۹۸/۵/۲۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۷/۱۶

چکیده

امروزه به‌منظور کاهش مشکل گرمایش جهانی، خاک به‌عنوان مخزنی برای ذخیره کربن در خشکی مطرح شده است. از این‌رو هدف این پژوهش بررسی نقش اقلیم بر میانگین زمان ماندگاری رادیوکربن در خاک‌های سطحی و زیرسطحی بخش‌هایی از مراتع استان خوزستان بوده است. برای این منظور، مراتع در دو منطقه ایذه و رامهرمز با دو اقلیم متفاوت انتخاب شدند. در هر دو منطقه پروفیل شاهد به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، اشکال کربن و نسبت ایزوتوپی کربن-۱۴ مطالعه گردید. نتایج نشان داد میانگین زمان ماندگاری اعماق متناظر در پروفیل رامهرمز با میانگین سالیانه بارندگی کم‌تر، بیش‌تر از پروفیل ایذه بود که دلیل آن می‌تواند ورود بیش‌تر مواد آلی تازه در منطقه ایذه باشد. هم‌چنین برخلاف پروفیل منطقه ایذه، میانگین زمان ماندگاری کربن با عمق در منطقه رامهرمز افزایش نیافت که علت آن می‌تواند مقدار رس و رسوبی بودن منطقه باشد. در کل سن کربن-۱۴ در افق‌های سطحی مناطق مطالعه شده بیش‌تر تحت تأثیر عواملی مانند اقلیم، مدیریت اراضی و وجود اشکال کربن حساس به تجزیه بود. لیکن در افق‌های عمقی سن کربن بیش‌تر تابعی از سایر عوامل به ویژه نوع خاک، مقدار رس، موقعیت توپوگرافیک (فرسایشی یا رسوبی بودن) و تغییرات شدید پارامترهای خاک با عمق، مانند چگالی ظاهری، بود تا اقلیم منطقه.

کلیدواژه‌ها: کربن-۱۴، میانگین زمان ماندگاری کربن آلی خاک، اشکال کربن، اقلیم، خوزستان

^{14}C Mean residence time of soil organic carbon under contrasting climates in some of rangelands of Khozestan province, Iran

A. Owji[1], A. Landi[1], M. Khodadadi*[2], S. Hojati[1]

1. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, P.O. Box: 613574331, Ahvaz-Iran
2. Nuclear Agriculture Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O.Box: 31465-1498, Karaj - Iran

Research Article

Received 13.8.2019, Accepted 8.10.2019

Abstract

Nowadays, to mitigate global warming, soil can play a significant role as a pool of terrestrial carbon. Therefore, the objective of the study was to investigate the effect of climate on the radiocarbon Mean Resistance Time (MRT) in surface and subsurface soils in some of rangelands of Khuzestan Province, Iran. This way, rangelands were selected under different climates in two regions called Izeh and Ramhormoz. In both regions, the control profiles were studied to determine physical and chemical properties of the soil, carbon forms and ^{14}C (carbon-14 isotopic ratio). The results showed that the MRT of the corresponding depths of Ramhormoz profile (with lower mean annual rainfall) was far higher than those of the Izeh profile, due to higher turnover of fresh organic matters in Izeh rangeland. Unlike Izeh profile, the MRT in Ramhormoz profile did not increase with depth owing to clay content and topographic position of the region i.e. being a depositional site. Overall, the age of carbon-14 in the top horizons of the study areas was mostly affected by factors such as climate, land management and the presence of decomposition sensitive forms of carbon. While, in deep soil the age of carbon was affected by other factors, especially soil taxa, clay content, topographic position (erosional or depositional sites) and discontinuity in soil parameters such as bulk density than by climate.

Keywords: $\delta^{14}C$, Mean resistance time, Carbon forms, Climate, Khozestan

۱. مقدمه

خاک، یک منبع کلیدی و به‌عنوان کنترل‌کننده چرخه‌های ژئوشیمیایی، آب و موجودات زنده [۱] و بزرگ‌ترین و اصلی‌ترین مخزن ماده آلی محسوب می‌شود [۲]. ماده آلی خاک از مهم‌ترین عوامل ارزیابی کیفیت خاک بوده و با ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک مرتبط می‌باشد [۳]. مراتع کشور، با سطحی معادل ۸۶ میلیون هکتار، بیش از ۵۳ درصد از مساحت ایران را در بر می‌گیرند [۴]. نقش زیربنایی مراتع در توسعه و پایداری تولید، فراتر از تولید مستقیم علوفه و تأمین نیاز غذایی دام است. با افزایش جمعیت و نیاز روزافزون به مواد غذایی، ضرورت بهره‌برداری پایدار و مدیریت علمی منابع طبیعی، به‌ویژه مراتع، در فرایند توسعه پایدار از اهمیت و جایگاه بالایی برخوردار می‌گردد [۵]. بی‌تردید، این ضرورت ایجاب می‌کند که بهره‌وری و رشد بخش منابع طبیعی، به‌خصوص مدیریت مراتع، در برنامه‌های توسعه‌ای به‌طور مستمر ارتقا یابد [۶]. تغییر اقلیم و افزایش گرمای جهانی، ناشی از افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو کره زمین است [۷] و دی‌اکسیدکربن به دلیل میزان انتشار زیاد، مهم‌ترین گاز گلخانه‌ای بوده و به تنهایی مسئول افزایش ۷۵ درصدی گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر است [۸]. خطرات و پیامدهای ناشی از افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای و به ویژه دی اکسیدکربن مورد تأکید و توجه مجامع بین‌المللی بوده است، به‌طوری که در سال ۱۹۹۲ تقریباً تمامی کشورهای دنیا کنوانسیون تغییرات اقلیمی را با هدف کاهش و متعادل نمودن غلظت گازهای گلخانه‌ای امضا کردند. متعاقب آن پروتکل کیوتو نیز در سال ۱۹۹۷ با هدف دراز مدت محدود نمودن انتشار این گازها مورد توافق رسمی ۵۵ کشور دنیا قرار گرفت. بدیهی است که کشورهای صنعتی و به دنبال آن سایر کشورها، در پی دست‌یابی به روش‌های کاهش گازهای آلاینده جو و به‌طور خاص دی اکسیدکربن با استفاده از روش‌های جدید سازگار با محیط زیست بوده‌اند که مواد آلاینده کم‌تری تولید کنند. میزان گازکربنیک در چرخه طبیعت معادل ۲۰۰ میلیارد تن در سال بوده که در پنج منبع مهم شامل اقیانوس‌ها، اعماق زمین، اتمسفر، منابع زنده و خاک ذخیره شده است [۸]. هم‌چنین، ۷۵ درصد کربن اکوسیستم‌های خشکی در خاک ذخیره شده است [۹]. شناخت نقش کربن آلی خاک در عملکردهای اکوسیستم و مدیریت پایدار منابع، نیازمند شناخت اجزاء و مخازن کربن آلی و معدنی خاک در اکوسیستم می‌باشد [۱۰]. با توجه به گرم شدن زمین در اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای از جمله CO_2 بسیاری از دانشمندان به خاک به عنوان مخزنی ناشناخته برای ذخیره کربن اتمسفری علاقه‌مند شده‌اند. اما قبل از این‌که بتوان به‌صورت عملی از خاک استفاده نمود، لازم است که فرایندهای مؤثر در تثبیت کربن در خاک شناخته شده و روش‌های مناسبی برای تعیین مقدار و مدتی که کربن می‌تواند در خاک تثبیت گردد، ایجاد شوند. بنابراین گسترش روش‌هایی برای اندازه‌گیری بخش‌های ویژه‌ای از ماده آلی خاک که در تثبیت کربن مؤثرند، مهم و ضروری می‌باشد [۱۱]. کربن آلی خاک پتانسیل قابل ملاحظه‌ای برای تغییر در اثر تغییرات اقلیمی و مدیریت انسان دارد [۱۲]. کربن آلی به صورت مستقیم تحت تأثیر اقلیم قرار دارد. مقدار کل و مؤثر بارندگی و دمای متوسط سالانه بر هر دو منبع کربن آلی و معدنی خاک مؤثر است [۱۳].

کربن سه ایزوتوپ ^{12}C (۹۸/۹۳٪)، ^{13}C و ^{14}C دارد. کربن-۱۴، با نیمه‌عمر نسبتاً بلند ۵۷۳۰ سال، یکی از رادیونوکلوئیدهای مهم از نظر اکولوژیکی است که ورود کربن-۱۴ به ذخایر کربن بیوسفر، تبادل آن بین اتمسفر و خاک، فرایندی کلیدی برای آشکارسازی رفتار پویای کربن در اکوسیستم‌ها است. به طور کلی کربن-۱۴ دو پدیده وابسته به زمان را با هم ادغام می‌کند: سیگنال اول حاصل انقلاب صنعتی است و سیگنال دوم ناشی از آزمایشات هسته‌ای بین سال‌های ۱۹۵۵-۱۹۶۴ است. بنابراین، کربن-۱۴ به منظور بررسی پویایی کربن هم در سال‌های اخیر (<۵۰ سال) و هم بازه زمانی چندین هزار سال مناسب می‌باشد [۱۴]. در نتیجه، کربن-۱۴ به عنوان یک ابزار برای ارزیابی نقش اجزای آلی مختلف در فرایند پیچیده تجزیه [۱۵-۱۶] و به عنوان ابزاری به منظور تشریح پویایی کربن خاک به عنوان یک تابعی از عمق خاک [۱۷-۱۹] می‌باشد. در سال‌های اخیر از دستگاه طیف‌نگارجرمی شتاب‌دهنده[1] (AMS) برای اندازه‌گیری استفاده می‌شود که نسبت $^{14}C:^{12}C$ را در نمونه‌ها تعیین می کند. مزایای آن نیاز به مقدار کم نمونه، بزرگ‌نمایی (قدرت تفکیک) بسیار زیاد و صحت بالای آن در مقایسه با دستگاه

1. Accelerator Mass Spectrometery

طیف‌نگار جرمی نسبت ایزوتوپی[1] بوده، لیکن هزینه آن بسیار زیاد می‌باشد [۲۰]. عموماً، نسبت ایزوتوپی کربن-۱۴ در مطالعات پویایی کربن خاک یا به صورت میانگین زمان ماندگاری[2] و یا نسبت کربن پایدار بیان شده است [۱۸].

بیش‌تر مطالعات چند سال اخیر پیرامون بررسی کربن آلی خاک، با استفاده از روش‌های جداسازی مواد آلی بر مبنای خاک‌دانه، چگالی و اندازه [۲۱] و ایزوتوپ‌های کربن بوده است [۲۲]. در مطالعه پویایی مواد آلی خاک با استفاده از کربن ۱۴، میانگین زمان ماندگاری کربن در خاک برآورد می‌شود [۲۳]. از آن‌جایی‌که در مطالعات ردیابی، کربن ۱۴ طبیعی به‌طور یکنواخت همه اجزای کربن را نشان‌دار می‌نماید، روشی کاملاً کاربردی در مقایسه با سایر ردیاب‌ها است [۲۴]. مواد آلی خاک، مخلوطی از مواد ناهمگن با سن متفاوت در مراحل مختلف تجزیه بوده و در اعماق مختلف با ذرات معدنی خاک ارتباط داشته و تعیین سن دقیق آن‌ها مقدور نیست، اما پس از جداسازی مواد آلی، می‌توان سن آن را با استفاده از کربن-۱۴ برآورد نمود [۲۵]. در مطالعه‌ای متیو و همکاران [۱۴]، در ۱۲۲ پروفیل، رادیوکربن خاک را بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که سن کربن سطحی خاک به طور عمده تحت تأثیر اقلیم و کشت و کار قرار دارد. در حالی‌که، سن کربن خاک عمقی بیش‌تر از اقلیم وابسته به خصوصیات خاک مانند محتوای رس و کانی‌شناسی است.

بیش‌تر مطالعات پیرامون مراتع در ایران، در ارتباط با مسایلی هم‌چون توسعه اراضی دیم در مراتع، حضور بدون برنامه و چرای بی‌رویه دام، تعدد جمعیت بهره‌بردار، فشار بیش از حد دام بر مراتع و فعالیت‌های نامناسب کشاورزی به‌عنوان عوامل تخریب است که همگی معلول شرایطی است که از محدودیت امکان استفاده از سیاست‌های مناسب اقتصادی و یا از مشکلات اقتصادی و اجتماعی بهره‌برداران نشأت می‌گیرد. این در حالی است که تاکنون به مهم‌ترین عامل باروری و تولید مراتع، یعنی خاک مراتع و نقش‌آفرینی اقلیم بر خصوصیات خاک و نیز تأثیرپذیری کربن از آن‌ها توجهی نشده است. از طرفی قسمت قابل‌ملاحظه‌ای از استان خوزستان را مراتع فراگرفته است و مقدار کربن خاک بر پایداری آن‌ها بسیار اثرگذار است. در نتیجه در این تحقیق تغییرات کربن خاک، تحت اثر اقلیم مورد ارزیابی قرار گرفته تا نقش اقلیم بر میانگین زمان ماندگاری رادیوکربن در خاک‌های سطحی و عمقی مراتع مشخص گردد. هم‌چنین نقش اشکال کربن آلی خاک بر میانگین زمان ماندگاری کربن-۱۴ بررسی شد.

۲. مواد و روش‌ها

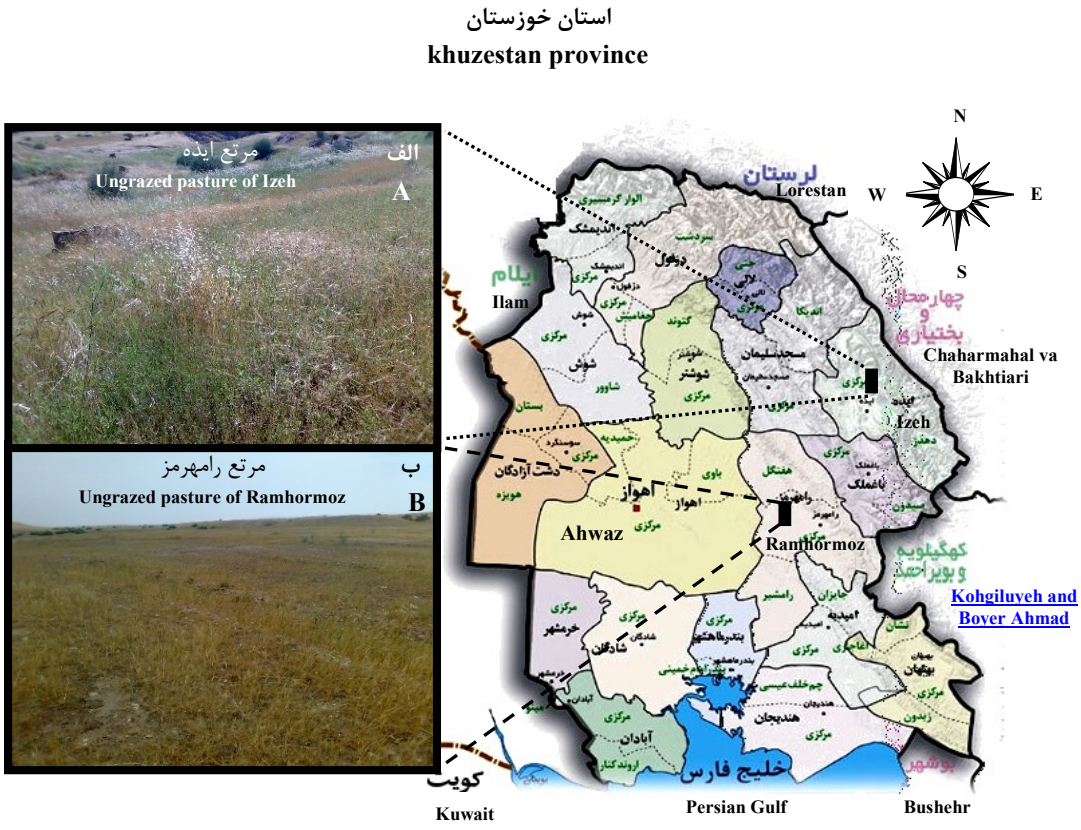
۱.۲ معرفی منطقه مطالعاتی

مراتع مطالعاتی به نام محلی پنتی در منطقه ایذه و منطقه دیمه رامهرمز معروف هستند (شکل ۱). مراتع منطقه مطالعاتی پنتی در فاصله ۲۷ کیلومتری غرب شهرستان ایذه قرار گرفته است. مراتع مذکور در محدوده عرض‌های جغرافیایی ″۸ ′۵۷ °۳۱ تا ″۲۰ ′۵۸ °۳۱ شمالی و طول‌های جغرافیایی ″۱۱ ′۴۱ °۴۹ تا ″۳۳ ′۴۲ °۴۹ شرقی قرار دارد. براساس گزارش ایستگاه‌های هواشناسی، منطقه پنتی به لحاظ اقلیمی، دارای میزان متوسط بارندگی سالانه ۶۲۳ میلی‌متر در سال است. حداکثر درجه حرارت مطلق در گرم‌ترین ماه سال، ۴۹ درجه سانتی‌گراد مربوط به شهریور ماه و حداقل درجه حرارت مطلق در سردترین ماه سال، ۹٫۵- درجه سانتی‌گراد مربوط به بهمن ماه می‌باشد. هم‌چنین متوسط درجه حرارت سالیانه منطقه ۱۹٫۲ درجه سانتی‌گراد گزارش گردیده است [۲۶] و براساس روش طبقه‌بندی جهانی کوپن- تراورتا دارای اقلیم نیمه‌حاره‌ای با تابستان خشک و گرم است [۲۷]. بر طبق نقشه رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک‌های ایران بنایی [۲۸] دارای رژیم رطوبتی Xeric و رژیم حرارتی آن Thermic است. مرتع دیمه در فاصله حدود ۹۵ کیلومتری از منطقه ایذه و در فاصله ۱۵ کیلومتری غرب شهرستان رامهرمز قرار گرفته است. مراتع مذکور در محدوده عرض‌های جغرافیایی ″۴۴ ′۷ °۳۱ تا ″۱۱ ′۹ °۳۱ شمالی و طول‌های جغرافیایی ″۱۳ ′۲۹ °۴۹ تا ″۵۲ ′۲۸ °۴۹ شرقی قرار دارد. براساس گزارش ایستگاه‌های هواشناسی، منطقه به لحاظ اقلیمی دارای میزان متوسط بارندگی سالانه ۲۰۰ میلی‌متر در سال است. حداکثر درجه حرارت مطلق در گرم‌ترین ماه سال، ۵۱٫۶ درجه سانتی‌گراد مربوط به تیر ماه و حداقل درجه حرارت مطلق در سردترین ماه سال، ۴٫۲ درجه سانتی‌گراد مربوط به دی ماه می‌باشد. هم‌چنین متوسط درجه حرارت سالیانه منطقه ۲۷٫۵ درجه

1. IRMS
2. Mean Residence Time

سانتی‌گراد گزارش گردیده است [۲۶] و براساس روش طبقه‌بندی جهانی کوپن- تراورتا دارای اقلیم نیمه‌حاره‌ای نیمه‌بیابانی و با تابستان خشک و گرم است [۲۷]. با استفاده از نقشه رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک‌های ایران رژیم رطوبتی و حرارتی منطقه مشخص شد [۲۸]، رژیم رطوبتی و حرارتی رامهرمز به ترتیب Ustic و Hyperthermic تعیین گردیدند. پوشش گیاهی در مناطق مورد مطالعه از تنوع خاصی برخوردار است؛ ولی بر اثر چرای بیش از ظرفیت مجاز، گیاهان اکثراً رو به انقراض بوده و سطح مراتع اکثراً دارای پوششی از گیاهان یکساله است. طی بررسی‌ها و عملیات صحرایی انجام گرفته، تیپ گیاهی مراتع دشت ایذه و رامهرمز در هر دو کاربری مورد مطالعه یکسان و مجموعه‌ای از لگوم‌ها و گراس‌های یکساله (Annual Forbs-Anuual grasses) می‌باشند، اما به‌دلیل میزان بارش کم‌تر در منطقه رامهرمز این گیاهان دارای تراکم کم‌تری هستند.

به‌منظور انجام پژوهش حاضر ابتدا براساس نقشه‌های توپوگرافی، خاک و عکس‌های هوایی استان، محل نقاط نمونه‌برداری تعیین گردید. سپس با حفر ۱۵ پروفیل به‌صورت تصادفی در فواصل به طور میانگین ۱۴۰ متر و شیب شمالی (حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد) در هر کاربری از لایه‌های ۲۰-۰ و ۴۰-۲۰ سانتی‌متری در منطقه ایذه و در فواصل به طور میانگین ۲۰۰ متر و شیب شمالی (حدود ۳ تا ۵ درصد) در هر کاربری از لایه‌های ۸-۰ و ۲۷-۸ سانتی‌متری در منطقه رامهرمز (با توجه به مرز تفکیک افق‌ها) نمونه‌برداری صورت گرفت. پس از هوا خشک کردن نمونه‌های خاک و عبور آن‌ها از الک دو میلی‌متری، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها با استفاده از روش‌های مرسوم اندازه‌گیری شد (جدول ۱). هم‌چنین از هر منطقه مطالعاتی، پروفیل شاهد به منظور بررسی پروفیلی خاک و انجام مطالعات سن‌سنجی کربن-۱۴ حفر گردید. لازم به ذکر است که نمونه‌های خاک در یک زمان و از مکان‌هایی با شیب، توپوگرافی و مواد مادری (آهکی) تقریباً یکسان از هر منطقه جمع‌آوری شدند.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی مناطق مطالعاتی.

جدول ۱. روش‌های مورد استفاده برای اندازه‌گیری شکل‌های مختلف کربن و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مورد مطالعه

ردیف	خصوصیت مورد مطالعه	روش مورد استفاده
۱	واکنش خاک (Soil pH)	گل اشباع [۲۹]
۲	ظرفیت تبادل کاتیونی (Cation exchange capacity)	استات سدیم یک نرمال در pH= ۸ [۳۰]
۳	بافت خاک (Soil texture)	هیدرومتر [۳۱]
۴	هدایت الکتریکی (Electrical conductivity)	عصاره اشباع خاک [۳۲]
۵	کربن آلی خاک (Soil organic carbon)	اکسیداسیون تر [۳۳]
۶	کربن قابل اکسید شدن به‌وسیله پرمنگنات پتاسیم (کربن فعال خاک) (Permanganate-oxidizable carbon (Active soil carbon))	بلیر و همکاران [۳۴]
۷	کربن زیتوده میکروبی (Microbial biomass carbon)	ونس و همکاران [۳۵]
۸	کربن محلول خاک (Dissolved organic carbon)	قانی و همکاران [۳۶]
۹	کربن آلی ذره‌ای (Particulate organic carbon)	نلسون و سومرز [۳۷]

۲.۲ تعیین $\delta^{14}C$ ماده آلی خاک

$\delta^{14}C$ برای کربن آلی خاک تمامی افق‌های هر منطقه اندازه‌گیری شد. برای این منظور پس از حذف ریشه و مواد آلی درشت، نمونه‌های خاک عبور داده شده از الک ۲ میلی‌متری به‌منظور حذف کربنات کلسیم، توسط اسیدکلریدریک ۳ مولار تیمار شدند. پس از آن به‌منظور حذف اسیدکلریدریک اضافی، نمونه‌ها با استفاده از کاغذ صافی میلی‌پور (مش ۰٫۲۲ میکرومتر) و آب دیونیزه شسته شدند (تا زمانی که تست کلر به وسیله نیترات نقره منفی گردد). پس از خشک شدن نمونه‌ها و توسط دستگاه آسیاب گلوله‌ای[1] به‌صورت پودری تهیه گردیدند. در نهایت نسبت ایزوتوپی ماده آلی خاک با استفاده از دستگاه حساس اسکترومتر جرمی شتاب‌دهنده در دانشکده فیزیک دانشگاه وین کشور اتریش تعیین شد. واسنجی با استفاده از نرم‌افزار Oxcal Online 4.3 [۳۸] و منحنی کالیبراسیون جدیدتر IntCal 13 [۳۹]، صورت گرفت. از مقادیر ^{14}C به منظور محاسبه میانگین زمان ماندگاری (MRT) برحسب سال قبل از یک زمان معین[2] در کربن کل خاک در اعماق مختلف استفاده شد.

۳. نتایج و بحث

۱.۳ رده‌بندی خاک‌های دو منطقه

جدول ۲ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بر این اساس، خاک هر دو منطقه مورد مطالعه غیرشور، آهکی و دارای واکنش قلیایی هستند. تغییرپذیری متغیرها را می‌توان از طریق بررسی ضریب تغییرپذیری آن‌ها بررسی نمود. وای و همکاران [۴۰] بیان کردند که تغییرات کم تر از ۱۰ درصد دلالت بر تغییرپذیری پایین خصوصیت مورد نظر و نیز تغییرات بالاتر از ۹۰ درصد، حاکی از تغییرپذیری بالای آن است [۴۰]. با استناد به محدوده‌های ارایه شده توسط وای و همکاران [۴۰]، از میان خصوصیات خاک بررسی شده، واکنش خاک دارای کم‌ترین ضریب تغییرپذیری است. شاید بتوان آهکی بودن خاک‌های منطقه و هم‌چنین خاصیت بافری بالای خاک را دلیلی بر این موضوع عنوان کرد. نتایج مشابهی توسط شهریاری‌گرایی و همکاران [۴۱] برای منطقه رکعت واقع در شرق ایذه گزارش شده است. بنابراین به‌دلیل استفاده از تبدیل‌گر لگاریتمی، کم‌تر بودن ضریب تغییرپذیری این متغیر امری بدیهی به‌نظر می‌رسد. این در حالی است که سایر خصوصیت‌های مطالعاتی در دو منطقه مطالعاتی از ضریب تغییرپذیری پایین و متوسطی برخوردار می‌باشند. نتایج نشان می‌دهد که سهم عوامل خاک و زیست محیطی برای توضیح تغییر در داده‌ها بالا نیست [۴۲].

علی‌رغم کافی بودن مقدار کربن آلی در سطح خاک مراتع ایذه به منظور احراز شرایط افق مالیک، تنها به‌دلیل ضخامت کم افق (که می‌تواند در اثر فرسایش باشد) و نیز رنگ روشن افق (براساس راهنمای تشریح خاک اداره شناسایی خاک آمریکا، [۴۳])، این خاک‌ها شرایط افق مالیک را از دست داده‌اند. هم‌چنین علی‌رغم بالا بودن مقدار کربنات کلسیم در

1. Ball Mill
2. Years Before Present (yr B.P.)

خاک مراتع رامهرمز برای احراز شرایط افق کلسیک، به دلیل عدم وجود روند افزایشی در افق زیرسطحی، این خاک‌ها شرایط افق کلسیک را از دست داده‌اند (براساس راهنمای تشریح خاک اداره شناسایی خاک آمریکا، [۴۳]). در نهایت خاک‌های مراتع ایذه به‌روش طبقه‌بندی آمریکایی [۴۳] در فامیل Loamy, carbonatic, thermic, Typic Haploexerepts و به‌روش طبقه‌بندی سیستم مرجع جهانی [۴۴] Haplic Cambisols رده‌بندی شدند. خاک‌های مراتع رامهرمز به‌روش طبقه‌بندی آمریکایی [۴۳] در فامیل Sandy, carbonatic, hyperthermic, Typic Haploustepts و به‌روش سیستم مرجع جهانی [۴۴] Haplic Cambisols (Laxic) رده‌بندی شدند (جدول ۳).

جدول ۲. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه در مراتع

ویژگی	کاربری	عمق خاک (cm)							
		ایذه				رامهرمز			
		۲۰-۰		۴۰-۲۰		۸-۰		۲۸-۸	
		میانگین	ضریب تغییرات (٪)	میانگین	ضریب تغییرات (٪)	میانگین	ضریب تغییرات (٪)	میانگین	ضریب تغییرات (٪)
رس (gkg^{-1})	مرتع	۲۴۸٫۳	۱۸٫۸۷	۳۰۸٫۴	۱۹٫۳۵	۱۲۹٫۳	۱۹٫۲۸	۱۲۱٫۳	۲۵٫۲۸
شن (gkg^{-1})	مرتع	۲۷۲٫۵	۳۵٫۳۴	۲۰۳٫۶	۳۳٫۷۱	۴۲۰٫۷	۹٫۵۲	۴۶۷٫۱	۲۴٫۳۶
کربنات کلسیم معادل (gkg^{-1})	مرتع	۵۹۸٫۹	۱۲٫۲۴	۵۹۹٫۷	۱۵٫۹۹	۶۹۷٫۱	۳٫۷۶	۶۳۸٫۲	۱۶٫۶۳
هدایت الکتریکی (dSm^{-1})	مرتع	۱٫۰۳	۵۳٫۲۹	۱٫۱۷	۶۴٫۵۸	۲٫۱۶	۲۶٫۰۵	۲٫۵۶	۲۴٫۴۱
pH خاک	مرتع	۷٫۵۶	۱٫۵۶	۷٫۵۹	۲٫۰۲	۷٫۳۵	۱٫۵۵	۷٫۳۷	۰٫۹۶
ماده آلی خاک (gkg^{-1})	مرتع	۸٫۳۳	۱۵٫۶۶	۴٫۹۷	۱۶٫۸۱	۴٫۲۶	۱۵٫۳۸	۲٫۱۰	۲۲٫۰
قابلیت تبادل کاتیونی (cmol+kg-۱)	مرتع	۱۷٫۹۲	۱۶٫۴۰	۲۰٫۸۲	۱۸٫۵۶	۸٫۲۳	۲۱٫۳۱	۷٫۴۸	۲۴٫۶۲
کربن ناپایدار خاک ($mgkg^{-1}$)	مرتع	۲۵۹۷۴	۱٫۸۲	۹۵۱٫۲۴	۱٫۷۳	۹۵۸٫۱۰	۱٫۷۹	۸۹۶٫۸۰	۴٫۱۸
مقدار بقایای آلی تولیدی (gm^{-2})	مرتع	۱۱۷	-	-	-	۱۷	-	-	-

جدول ۳. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی پروفیل خاک‌های مرتع ایذه و رامهرمز

منطقه	افق	عمق (cm)	آهک (٪)	گچ (٪)	کربن آلی (g/kg)	رس (٪)	شن (٪)	سنگریزه (٪)	CEC (cmol+/kg)	چگالی ظاهری (g/cm^3)	رنگ	واکنش با اسید	خلل و فرج	ساختمان	EC (dS/m)	pH	بافت
ایذه	A	۰-۲۰	۵۵٫۷۵	۰٫۹۰	۱۱٫۱۰	۲۴٫۵۰	۲۲٫۰۰	۳٫۳۳	۱۹٫۱۵	۱٫۳۱	۱۰YR۳٫۴	St.C.	F	دانه‌ای	۰٫۵۵	۷٫۵۲	SiL
	Bw	۲۰-۵۰	۵۷٫۷۵	۱٫۵۵	۶٫۰۰	۳۰٫۵۰	۲۶٫۰۰	۵٫۰۰	۲۱٫۸۲	۱٫۴۷	۷٫۵YR۴٫۴	St.C.	Vf	مکعبی	۰٫۹۸	۷٫۵۵	CL
	C	۵۰-۱۱۰	۶۰٫۰۰	۱٫۷۰	۲٫۴	۳۰٫۵۰	۲۸٫۲۵	۱۴٫۱۷	۱۵٫۴	۱٫۴۸	۷٫۵YR۵٫۶	St.C.	Vf	-	۱٫۲۲	۷٫۵۱	CL
رامهرمز	A	۰-۸	۷۰٫۰۰	۵٫۵۹	۴٫۴۵	۱۲٫۷۵	۴۴٫۵۰	۳٫۴۰	۹٫۱۰	۱٫۱۱	۲٫۵Y۴٫۴	Sl.C.	F	بشقابی	۱٫۶۳	۷٫۱۵	L
	Bw	۸-۲۸	۴۴٫۵۰	۱۵٫۸۰	۲٫۲	۱۰٫۷۵	۶۶٫۵۰	۳٫۰۰	۶٫۴۶	۰٫۹۶	۲٫۵Y۷٫۶	Sl.C.	F	توده‌ای	۲٫۴۶	۶٫۵۷	SL
	C	۲۸-۹۵	۴۴٫۸۸	۱۶٫۹۰	۰٫۷	۸٫۷۵	۷۲٫۵۰	۵٫۰۰	۵٫۳۴	۰٫۹۲	۲٫۵Y۸٫۴	Sl.C.	Vf	-	۸٫۷۰	۶٫۸۰	SL

۲.۳ اشکال مختلف کربن آلی خاک

ماده آلی خاک شامل دو بخش هوموسی و ترکیبات ناپایدار می‌باشد. ذخایر مواد آلی تعریف شده در بخش ناپایدار شامل مواد آلی ذره‌ای، کربن زیتوده میکروبی، کربن محلول، کربن قابل عصاره‌گیری با عصاره‌گیرهای مختلف (مانند پرمنگنات پتاسیم) می‌باشند [۴۵]. حال آن‌که، بخش غیر هوموسی ماده آلی در حاصل‌خیزی، پایداری خاک‌دانه‌ها، حساسیت خاک به فرسایش، چرخه مواد غذایی و نگه‌داری آب در خاک نیز نقش مهمی ایفا می‌نماید [۴۶]. برطبق جدول ۴، میزان اشکال مختلف کربن در مراتع ایذه نسبت به مراتع رامهرمز بیش‌تر بوده است که از جمله دلایل را می‌توان به تراکم بیش‌تر پوشش گیاهی موجود در منطقه ایذه و نیز ورود بالاتر ماده آلی به این منطقه از طریق اضافه شدن بقایای گیاهی به خاک که موجب ایجاد ترکیبات ناپایدار (به‌عنوان منبع انرژی برای میکروارگانیسم‌های خاک) برای ترغیب رشد و فعالیت جوامع میکروبی نسبت داد [۴۷]. مطالعات انجام شده بر روی اشکال مختلف کربن نتایج مشابهی با پژوهش حاضر داشتند [۴۸-۵۰].

جدول ۴. اشکال مختلف کربن مورد مطالعه در مراتع مطالعاتی

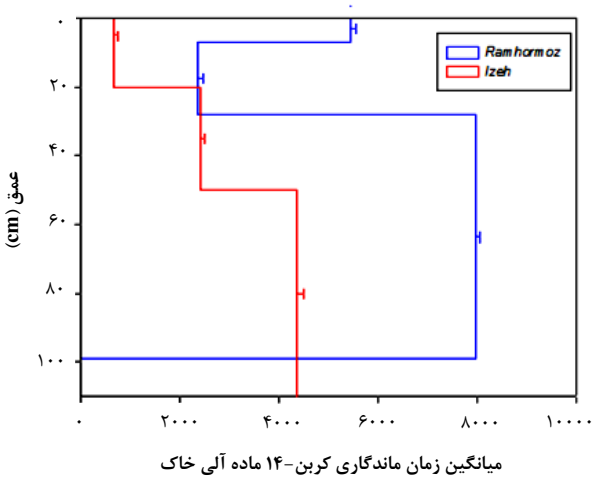
منطقه	افق	عمق خاک (cm)	کربن فعال خاک (mg/kg)	کربن زیتوده میکروبی (mg/kg)	کربن محلول خاک (mg/l)	کربن آلی خاک (g/kg)	کربن آلی ذره‌ای درشت (mg/kg)	کربن آلی ذره‌ای ریز (mg/kg)
ایذه	A	۰-۲۰	۹۹۷٫۲۵	۳۸۹٫۲۵	۸٫۹۸	۱۱٫۱	۶۳۹٫۳۴	۴۵۰٫۶۸
	Bw	۲۰-۵۰	۹۵۸٫۶	۲۲۱٫۲۵	۴٫۵۶	۶٫۰	۳۶۹٫۳۱	۲۷۸٫۴۳
	C	۵۰-۱۱۰	۸۵۷٫۰۲	۱۶۵٫۰	۳٫۷۳	۲٫۴	۱۴۳٫۱	۹۷٫۶
رامهرمز	A	۰-۸	۹۳۶٫۴۵	۲۳۶٫۲۴	۳٫۴۹	۴٫۴۵	۳۱۸٫۶	۲۳۴٫۳۲
	Bw	۸-۲۸	۸۰۲٫۶	۱۵۲٫۲	۲٫۹۵	۲٫۲	۱۵۵٫۲	۶۷٫۵۵
	C	۲۸-۹۵	۶۵۰٫۵	۸۵٫۰	۲٫۶	۰٫۷۹	۷۳٫۶	۴۸٫۹

میزان کربن آلی ذره‌ای ریز و درشت در سطح خاک نسبت به سایر اعماق مورد مطالعه بیش‌تر بود (جدول ۴) که احتمالاً به دلیل فزونی میزان ورودی ماده آلی در سطح نسبت به اعماق خاک می‌باشد. از سوی دیگر، با توجه به این نکته که بخش درشت کربن آلی عمدتاً شامل بقایای تازه تجزیه شده گیاهی و ناپایدار است [۵۱]، چرای دام باعث تخریب ساختمان خاک و خاک‌دانه ها از طریق لگدکوبی سطح می‌گردد [۵۲] که سبب می‌شود تا این بخش بیش‌تر در معرض اکسیداسیون و فعالیت میکروبی خاک قرار گیرد. هم‌چنین مقادیر بیش‌تر کربن در بخش درشت خاک نشان می‌دهد که ماده آلی این جزء خاک از درجه هوموسی پایین برخوردار است [۵۳]. مطالعات حاکی از آن است که مواد آلی موجود در جزء سیلت بیش‌تر شامل ترکیبات حلقوی (آروماتیک) بوده و کربن موجود در مواد آلی جزء رس عمدتاً حاوی ترکیبات از نوع آلکیل-C بوده و ترکیبات آروماتیک کم‌تری دارند. هم‌چنین این بخش حاوی هیدرات‌های کربن میکروبی بوده و به تجزیه میکروبی نسبتاً مقاوم هستند [۴۳] (جدول ۴).

۳.۳ رادیو کربن ماده آلی خاک و عوامل مؤثر بر آن

همان‌طور که اشاره شد از آن‌جایی که نمونه‌ها پس از دهه ۱۹۶۰ جمع‌آوری شده‌اند بنابراین توسط هر دو اثر Suess[1] (کاهش فعالیت کربن-۱۴ جوی به دلیل سوخت‌های فسیلی در سال‌های ۱۸۵۰) و اثر بمب (افزایش فعالیت کربن-۱۴ جوی در اثر آزمایشات هسته‌ای)، متأثر شده‌اند [۵۴]. بنابراین هر دو اثر به منظور محاسبه زمان ماندگاری کربن-۱۴ در خاک استفاده شد (شکل ۲). تغییرات میانگین زمان ماندگاری با عمق در دو منطقه با اقلیم متفاوت در شکل ۲ آورده شده است. میانگین زمان ماندگاری اعماق متناظر، در پروفیل رامهرمز بیش‌تر از پروفیل ایذه است که می‌تواند به دلیل ورود بیش‌تر مواد آلی تازه در منطقه ایذه باشد. از طرفی دو عامل دما و میزان بارندگی در این امر اثر دارد. در خصوص اثر دما به تنهایی مشخص شده است که سن کربن-۱۴ از اقلیم‌های سرد به استوا افزایش می‌یابد [۱۴]. اثر خشکی نیز یکی از عوامل مهم در پایداری کربن و جلوگیری از تجزیه زیستی توسط میکروارگانیسم‌ها است. سن کربن-۱۴ در دماهای مشابه، در اقلیم‌های خشک بیش‌تر از اقلیم‌های مرطوب است. مقدار تأثیر شاخص خشکی بر سن ماده آلی خاک به مراتب بیش‌تر از دما می‌باشد که با یافته‌های این پژوهش هم‌خوانی دارد. با این حال، باید در نظر داشت که تشخیص اثرات خشکی از اثرات نوع خاک مشکل می‌باشد. اقلیم خشک‌تر بر مقدار تجزیه زیستی و فعالیت بالای رس اثر می‌گذارد، زیرا خشکی می‌تواند منجر به جذب کربن بر روی سطوح معدنی شود. به جز خاک‌های آندوسول، مقدار میانگین زمان ماندگاری در اقلیم گرم گرمسیری بالاترین و در اقلیم‌های سرد کم‌ترین است [۱۴].

1. اثر سوس تغییر نسبت غلظت اتمسفری ایزوتوپ‌های سنگین کربن (^{13}C و ^{14}C) در اثر اضافه شدن حجم وسیعی از CO_2 حاصل سوخت‌های فسیلی است که منجر به رقیق شدن $^{14}CO_2$ شده است.



شکل ۲. میانگین زمان ماندگاری کربن-۱۴ ماده آلی خاک برحسب سال Befor Present به عنوان تابعی از عمق/افق در خاک‌های تحت تأثیر اقلیم‌های مختلف.

اشکال مختلف کربن بررسی شده شامل بخش غیر هوموسی ماده آلی بوده‌اند که حساس به تغییرات و شاخصی از کیفیت خاک هستند [۴۵]. براساس جدول ۴، کربن‌های حساس به تجزیه در منطقه رامهرمز به مراتب کم‌تر از منطقه ایذه بوده است که باعث ماندگاری طولانی‌تر و به عبارتی افزایش سن کربن در این منطقه گردیده است. از طرفی کربن آلی عمقی خاک در اراضی پایین دست نسبت به اراضی بالادست دارای سن بیش‌تری می‌باشد [۱۴] و منطقه رامهرمز از نظر موقعیت توپوگرافیک جزو اراضی پایین دست و منطقه ایذه منطقه بالادست است.

کاربری نیز بر میانگین زمان ماندگاری کربن آلی خاک اثر دارد. اختلاط کربن جوان در مراتع طبیعی عمیق‌تر از سایر کاربری‌هاست، با رتبه‌بندی مزارع < جنگل‌های طبیعی < مراتع طبیعی، لیکن کاربری اراضی نسبت به نوع خاک، تأثیر کم‌تری در سن کربن دارد [۱۴، ۵۵]. این رتبه‌بندی با مطالعه جوباگی و جکسون [۵۶] سازگار بود، که نتیجه‌گیری کرد که رشد ریشه و بهم خوردگی زیستی باعث افزایش عمق کربن جوان خاک در مراتع می‌شود. این رتبه‌بندی هم‌چنین با تأثیر شخم مطابقت دارد. در واقع شخم منجر به افزایش امکان وارد شدن مواد آلی مسن‌تر از افق B به افق Ah می‌شود [۵۷-۵۸]. به طور کلی کشت و کار منجر به تجمع کربن با سن بیش‌تر در افق‌های سطحی می‌شود. منطقه رامهرمز به طور محدود عملیات شخم به منظور احیا پوشش سبز به منظور تأمین علوفه برای چرای دام در آن صورت گرفته است که می‌تواند یکی از دلایلی باشد که میانگین زمان ماندگاری کربن آلی خاک آن بیش‌تر از منطقه ایذه است.

از طرفی نتایج متیو و همکاران [۱۴]، نشان داد که اثرات نوع خاک و کاربری اراضی نسبت به اقلیم تأثیر بیش‌تری روی سن کربن-۱۴ ماده آلی خاک داشتند. واتل کوکک و همکاران [۵۴] نیز اظهار داشتند نوع خاک به طور عمده سن کربن عمقی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. دو دلیل برای این امر وجود دارد. یک دلیل نقش مقدار و فعالیت رس‌ها در تثبیت کربن می‌باشد که دلیل این امر جذب سطحی در جلوگیری از تجزیه میکروبی ماده آلی می‌باشد [۵۹، ۶۰، ۶۱]. دلیل دیگر ارتباط بین سن کربن و نوع خاک که می‌تواند سن مطلق جوان‌تر خاک‌ها در عرض‌های جغرافیایی بالاتر باشد (luvisols، cambisols و podzols). در کل بیش‌تر خاک‌های عرض‌های جغرافیایی شمالی، جوان‌تر از ۱۲۰۰۰ yr BP بوده و عموماً در رده‌های پادزول‌ها، کمبی‌سول‌ها و لوی‌سول‌های کم‌تر توسعه یافته هستند [۱۴].

واتل کوکک و همکاران [۵۴]، نشان دادند که ماده آلی متصل به رس‌های گروه اسمکتایت یک حجم مبادلات کندتری (با میانگین زمان ماندگاری در حدود ۱۰۸۹ سال) در مقایسه با ماده آلی متصل به کائولینایت (با میانگین زمان ماندگاری در حدود ۳۵۷ سال) دارد که با مطالعات بویانوسکی و همکاران [۶۲] و بالسدنت و همکاران [۶۳] مطابقت دارد. در واقع ماده آلی متصل به کائولینایت شامل بقایای گیاهی قابل شناسایی بیش‌تر بود که نشان‌دهنده هوموسی شدن ناقص و حجم مبادلات سریع می‌باشد. در مقایسه ماده آلی متصل توسط باندهای کاتیونی شامل مقادیر زیادی از اجزای آروماتیک بود که مقاوم به تجزیه می‌باشند [۵۴]. عموماً در بیش‌تر خاک‌ها میانگین زمان ماندگاری کربن آلی خاک با افزایش عمق، افزایش می‌یابد [۱۴، ۶۴، ۶۵] و این روند در پروفیل منطقه ایذه برخلاف منطقه رامهرمز وجود دارد. لیکن همان‌طور که جدول ۳ آورده شده است، مقدار درصد رس و CEC در افق دوم رامهرمز کم‌تر از افق اول است بنابراین احتمالاً یکی از دلایلی است که سن کربن ماده آلی خاک در عمق اول بیش‌تر از عمق دوم است.

علاوه بر عوامل ذکر شده، سن کربن-۱۴ می‌تواند به بسیاری از فرایندهای منطقه‌ای و تغییرات آن مرتبط باشد. سن مواد مادری، موقعیت توپوگرافیک (فرسایشی یا رسوبی)، تغییرات عمق و عدم انسجام در پارامترهای خاک مانند چگالی ظاهری، محتوای آب، عمق ریشه، فعالیت میکروارگانیسم‌ها، تعامل زیست محیطی بین گیاهان و میکروارگانیسم‌ها و وجود بیوچار مثال‌هایی از آن‌ها است [۱۴]. منطقه رامهرمز از نظر موقعیت توپوگرافیک یک منطقه با شیب کم و رسوبی است، بنابراین افق اول با ضخامت تنها ۸ سانتی‌متر می‌تواند ناشی از رسوبات آبرفتی حاصل فرایند فرسایش یک خاک مسن‌تر و یا فرسایش لایه‌های زیرین خاک منطقه فرسایشی باشد و در نتیجه سن افق اول بیش‌تر از افق زیرین آن بوده باشد. از طرفی عدم انسجام برخی پارامترها مانند وزن مخصوص ظاهری در پروفیل منطقه رامهرمز (افق دوم کم‌تر از افق اول) می‌تواند از دلایل احتمالی افزایش سن در افق A نسبت به افق B_w باشد.

۴. نتیجه‌گیری

امروزه به‌دلیل مشکل گرمایش جهانی، توجه به خاک به‌عنوان مخزنی برای ذخیره کربن اتمسفری مطرح شده است. لیکن شناسایی فرایندهای مؤثر در تثبیت کربن در خاک و معرفی روش‌های مناسب برای تعیین مقدار و مدتی که کربن می‌تواند در خاک تثبیت گردد، برای این امر ضروری است. از این‌رو هدف این تحقیق بررسی نقش اقلیم و سایر عوامل بر میانگین زمان ماندگاری رادیوکربن در خاک‌های سطحی و زیرسطحی بخش‌هایی از مراتع استان خوزستان بوده است. برای این منظور مراتع در دو منطقه ایذه و رامهرمز به ترتیب با میزان متوسط بارندگی سالیانه ۶۲۳ و ۲۰۰ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالیانه به ترتیب ۱۹٫۲ و ۲۷٫۵ درجه سانتی‌گراد و با دو اقلیم متفاوت انتخاب شدند. در هر دو منطقه پروفیل شاهد به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، اشکال کربن و نسبت ایزوتوپی کربن-۱۴ مطالعه گردید. نسبت ایزوتوپی کربن-۱۴ ماده آلی خاک در دانشگاه وین، اتریش، تعیین شد.

نتایج نشان داد که میانگین زمان ماندگاری اعماق متناظر، در پروفیل رامهرمز با میانگین سالانه بارندگی کم‌تر، بیش‌تر از پروفیل ایذه بود. که این امر به دلایل ذیل قابل پیش‌بینی بود: ۱) سن کربن-۱۴ در دماهای مشابه در افق‌های سطحی خاک، در اقلیم‌های خشک بیش‌تر از اقلیم‌های مرطوب است. ۲) از آن‌جایی که منطقه رامهرمز از نظر موقعیت توپوگرافیک جزو اراضی پایین‌دست و منطقه ایذه منطقه بالادست محسوب می‌شود و کربن آلی عمقی خاک در اراضی پایین دست نسبت به اراضی بالادست دارای سن بیش‌تری می‌باشد. ۳) براساس نتایج اشکال کربن دو خاک، اشکال کربن حساس به تجزیه در منطقه ایذه به مراتب بیش‌تر از منطقه رامهرمز بود که باعث ماندگاری کوتاه‌تر کربن آلی و به‌عبارتی کاهش سن کربن در منطقه ایذه گردیده است. ۴) به‌طور کلی کشت و کار منجر به افزایش سن کربن آلی در افق‌های سطحی می‌شود. از آن‌جایی که در منطقه رامهرمز به طور محدود عملیات شخم به منظور احیاء پوشش سبز برای تأمین علوفه دام در آن صورت گرفته، می‌تواند موجب افزایش میانگین زمان ماندگاری کربن آلی خاک سطحی آن نسبت به منطقه ایذه شده باشد.

عموماً سن کربن آلی خاک در افق‌های عمقی بیش‌تر وابسته به سایر عوامل به ویژه نوع خاک (مقدار رس و فعالیت آن‌ها) و کم‌تر وابسته به اقلیم است. در واقع مقدار و فعالیت رس‌ها در تثبیت کربن آلی نقش دارند. دلیل این امر جذب سطحی آن‌ها و جلوگیری از تجزیه میکروبی ماده آلی می‌باشد. به‌طوری‌که اختلاف در مقدار درصد رس و ظرفیت تبادل کاتیونی در افق‌های سطحی و عمقی رامهرمز منجر به کاهش در سن افق دوم شد. از طرفی رامهرمز منطقه‌ای با شیب کم و رسوبی بوده و افق اول می‌تواند ناشی از رسوبات آبرفتی حاصل فرایند فرسایش یک خاک مسن‌تر و یا لایه‌های زیرین خاک منطقه فرسایش یافته باشد و در نتیجه دارای سن بیش‌تری از افق زیرین بوده باشد. از طرفی عدم پیوستگی برخی پارامترها مانند وزن مخصوص ظاهری در پروفیل منطقه رامهرمز (افق دوم کم‌تر از افق اول) می‌تواند از دلایل احتمالی افزایش سن در افق A نسبت به افق B_w شده باشد.

در کل، سن کربن-۱۴ می‌تواند به بسیاری از فرایندهای فرامنطقه‌ای و منطقه‌ای و تغییرات آن‌ها مرتبط باشد. بنابراین در زمان تجزیه و تحلیل نتایج سن ماده آلی خاک بایستی به عواملی مختلفی مانند اقلیم، نوع خاک، کاربری اراضی، سن مواد مادری، موقعیت توپوگرافیک (فرسایشی یا رسوبی)، تغییرات عمق و عدم انسجام در پارامترهای خاک مانند چگالی ظاهری، محتوای آب، عمق ریشه، فعالیت میکروارگانیسم‌ها، تعامل زیست محیطی بین گیاهان و میکروارگانیسم‌ها و وجود بیوچار توجه شود.

مراجع

1. E.C. Brevik, et al, *The interdisciplinary nature of soil*, Soil Journal, **1**, 117–129 (2015).
2. E.F. Dai, et al, *Detecting the storage and change on topsoil organic carbon in grasslands of Inner Mongolia from 1980s to 2010s*, Acta Geographica Sinica. **24** (6), 1035-1046 (2014).
3. E.G. Gregorich, et al, *Chemical and biological characteristics of physically uncomplexed organic matter,* Soil Science Society American Journal, **70**, 975-985 (2006).
4. N. Eskandari, A. Alizadeh, F. Mahdavi, *Policies of Rangeland Management in Iran (Rangeland Technical Office)*, Pooneh Press (2008) (in Persian).
5. M.M. Khalighi, N. Khalighi, M. Farahpoor, *Study of ecological and social sustenability of different land management senarios (Case study: Karaj river watershed).* Iranian journal of Range and Desert Reseach, **13**(2), 82-93 (2006) (in Persian).
6. H. Azarnivand, et al, *Locate and programs rangeland restore and reform with using from GIS and compared that with proposed projects in Range Management rangeland projects in Lar region,* Rangeland Journal, **3**(2), 159- 168 (2007).
7. R. Brooks, *Carbon Sequestration What's that?* Journal of Forest Management, **32**, 2-4 (1998).
8. R. Lal, *Soil carbon sequestration to mitigate climate change,* Geoderma, **123**, 1-22 (2004).
9. A. Mahmoudi Taleghani, et al, *Estimation of Soil Carbon Sequestration in Managed Forests (Case Study of Gonbad Forest in the North of Iran).* Forest and Poplar Quarterly, 241-252 (2007) (in Persian).
10. EA. Paul, SJ. Morris, S. Bohm, *The determination of soil C pool sizes and turnover rates: biophysical fractionation and tracers. In: Lal R, et al. (ed) Assessment methods for soil carbon.* Lewis Publ, Boca Raton, FL, 193–206 (2001).
11. H.H. Cheng, J.M. Kimble, *Characterization of soil organic carbon pools*, In Assessment methods for soil carbon, ed. R. Lal, J. M. Kimble, R. F. Follett, and B. A. Stewart, 117–129. Boca Raton, Fl.: Lewis Publishers (2001).
12. M.R. Carter, *Soil Quality for Sustainable Land Management: Organic Matter and Aggregation Interactions that Maintain Soil Functions*, Agronomy Journal, **94**, 38-47 (2002).
13. R. Lal, *Impacts of climate on soil systems and soil systems on climate. The Ohio State University Columbus, Ohio, USA, Edited by Norman Uphoff.* Biological Approaches to Sustainable Soil Systems. 617–636 (2006).
14. J.A. Mathieu, et al, *Deep soil carbon dynamics are driven more by soil type than by climate: a worldwide meta-analysis of radiocarbon profiles,* Global change biology, **21**(11), 4278-4292 (2015).
15. SW. Leavitt, RF. Follett, EA. Paul, *Estimation of slow- and fast-cycling soil organic carbon pools from 6N HCl hydrolysis*. Radiocarbon, **38**(2), 231–239 (1996).
16. S. Trumbore, J. Vogel, J. Southon, *AMS 14C measurement of fractionated soil organic matter: an approach to deciphering the soil carbon cycle*. Radiocarbon, *31*(3), 644–654 (1989).
17. B. Ahrens, et al, *Bayesian calibration of a soil organic carbon model using ^{14}C measurements of soil organic carbon and heterotrophic respiration as joint constraints*, Biogeosciences, **11**, 2147–2168 (2014).
18. A. Elzein, J. Balesdent, *Mechanistic simulation of vertical- distribution of carbon concentrations and residence times in soils*. Soil Science Society of America Journal, **59**, 1328–1335 (1995).
19. JA. Van Veen, EA. Paul, *Organic carbon dynamics in grassland soils. 1. Background information and computer simulation*. Canadian Journal of Soil Science, **61**(2), 185–201 (1981).
20. P.L. Staddon, *Carbon isotopes in functional soil ecology*. Trends in Ecology & Evolution, **19**(3), 148-154 (2004).
21. F. Marzaioli, er al, *Comparison of different soil organic matter fractionation methodologies: Evidences from ultrasensitive 14C measurements*, Nucl. Instru. Meth. Phy. Res. B, **268**, 1062-1066 (2010).
22. J. Rethemeyer, et al, *Age heterogeneity of soil organic matter*, Nucl. Instru. Meth. Phy. Res. B. 521–527 (2004).
23. Y. Wang, Y.P. Hsieh, *Uncertainties and novel properties in the study of the carbon dynamics*, Chemosphere, **49**, 791-804 (2002).
24. EA. Paul, H.P. Collins, S.W. Leavitt, *Dynamics of resistant soil carbon of Midwestern agricultural soils measured by naturally occurring 14C abundance*, Geoderma, **104**, 239–256 (2001).
25. J. Leifeld, J. Fuhrer, *Long-term management effects on soil organic matter in two cold, high-elevation grasslands: clues from fractionation and radiocarbon dating*, Eur. J. Soil Sci. **60**, 230–239 (2009).
26. Anonymous, *Yearbook of meteorological status of Khuzestan Province,* Iranian Meteorological Organization, Research Division of Khuzestan Province, (2015) (in Persian).

27. N. Nikghadam, SJ. Mofidi shemirani, M. Taherbaz, *Analysis of climate classifications in southern Iran based on Koppen-trewartha method and Givonis' bioclimatic index*, Armanshahr Architecture and Urban Development, **8**(15), 119-130 (2015) (in Persian).
28. M.H. Banaii, *Soil Moisture and Temperature Regimes Map,* Soil and Water Research Institute of Iran. Tehran, (1998) (in Persian).
29. J.D. Rhoades, *Salinity: Electrical conductivity and total dissolved soils.* In D.L. Sparks (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 3: Chemical Methods, SSSA Book Series Number 5, Soil Science Society of America, Madison, WI, 417-435 (1996).
30. H.D. Chapman, *Cation-exchange capacity,* In: C.A. Black (Ed.), Methods of soil analysis - hemical and microbiological properties, Agronomy, 891-901 (1965).
31. G.W. Gee, J.W. Bauder, *Particle size analysis*. In: A. Klute (Ed.), Methods of soil analysis, Part 1. American Society of Agronomy. Inc. Madison, WI, USA, 383-411 (1986).
32. G.W. Thomas, *Soil pH and soil acidity*. In: D.L. Sparks (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 3: Chemical Methods, SSSA Book Series Number 5, Soil Science Society of America. Madison, WI, 475-490 (1996).
33. A. Walkley, I.A. Black, *An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method*, Soil Science, **63**, 251-263 (1934).
34. G.J. Blair, R.D.B. Lefroy, L. Lisle, *Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems,* Australian Journal of Agricultural Research, **46**, 1459-1466 (1995).
35. E.D. Vance, P.C. Brookes, D.S. Jenkinson, *An extraction method for measuring soil microbial biomass C*. Soil Biology and Biochemistry, **19**, 703-707 (1987).
36. A. Ghani, M. Dexter, K.W. Perrott, *Hot-water extractable carbon in soils: a sensitive measurement for determining impacts of fertilization, grazing and cultivation*, Soil Biology and Biochemistry, **35**, 1231-1243 (2003).
37. D.W. Nelson, L.E. Sommers, *Total carbon, organic carbon and organic matter*. In: A.L. Page (Ed.), Methods of Soil Analysis, SSSA, Madison, WI, USA, 539-579 (1982).
38. C.B. Ramsey, *Methods for summarizing radiocarbon datasets*. Radiocarbon, **59**(6), 1809-1833 (2017).
39. PJ. Reimer, et al, *IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50,000 years cal BP*. Radiocarbon **55**(4), 1869–1887 (2013).
40. J.B. Wei, et al, *Spatial variability of soil properties in relation to land use and topography in a typical small watershed of the black soil region, northeastern China*. Environmental Geology, **53**, 1663-1672 (2008).
41. D. Shahriari Geraei, et al, *Total and labile forms of soil organic carbon as affected by land use change in southwestern Iran*. Geoderma. Reg. **7**, 29-37 (2016).
42. S.W. Culman, et al, *Permanganate oxidizable carbon reflects a processed soil fraction that is sensitive to management*. Soil Science Society of America Journal. **76**, 494-504 (2012).
43. *Soil Survey Staff, Keys to Soil Taxonomy. 10th ed. U. S. Department of Agriculture -Natural Resources Conservation Service, U. S. Government Printing Office*, Washington, 333 (2014).
44. *World Reference Base for Soil Resources, ISBN: 92-5-105511-4. A framework for international classification,* correlation and communication, Rome, Italy (2014).
45. R.J. Haynes, *Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: An overview.* Advances in Agronomy, **85**, 221-268 (2005).
46. W. Dai, Y. Huang, *Relation of soil organic matter concentration to climate and altitude in zonal soils of Chin*. Catena, **65**, 87- 94 (2006).
47. J.G. Kalambukattu, et al, *Soil carbon pools and carbon management index under different land use systems in the central Himalayan region*, Acta Agriculturae Scandinavica, Section B, Soil and Plant Science, **63** (3), 200-205 (2013).
48. D.K. Benbi, et al, *Total and labile pools of soil organic carbon in cultivated and undisturbed soils in northern India*, Geoderma, **237**, 149-158 (2015).
49. J. Chen, et al, *Grazing exclusion reduced soil respiration but increased its temperature sensitivity in a Meadow Grassland on the Tibetan Plateau*, Ecology and Evolution, **6**(3), 675-687 (2016).
50. G.P. Souza, C.C. Figueiredo, D.M.G. Sousa, *Relationships between labile soil organic carbon fractions under different soil management systems*. Scientia Agricola, **73**(6), 535-542 (2016).
51. B.T. Christensen, *Physical fractionation of soil organic matter in primary particle size and density separates,* Advances in Soil Science, **20**, 1-90 (1992).
52. J.C. Neff, et al, *Multi-decadal impacts of grazing on soil physical and biogeochemical properties in southeast Utah*. Ecological Applications, **15**, 87-95 (2005).
53. K. Lorenz, R. Lal, M.J. Shipitalo, *Chemical stabilization of organic carbon pools in particle size fractions in no-till and meadow soils*. Biology and Fertility of Soils, **44**, 1043-1051 (2008).

54. E.J.W. Wattel-Koekkoek, et al, *Mean residence time of soil organic matter associated with kaolinite and smectite,* European Journal of Soil Science, **54**(2), 269-278 (2003).
55. S.M.F. Rabbi, et al, *Mean residence time of soil organic carbon in aggregates under contrasting land uses based on radiocarbon measurements*. Radiocarbon, **55**(1), 127-139 (2013).
56. E. Jobbagy, R. Jackson, *The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation,* Ecological Applications, **10**, 423–436 (2000).
57. M. Wiesmeier, et al, *Quantification of functional soil organic carbon pools for major soil units and land uses in southeast Germany (Bavaria).* Agriculture, Ecosystems & Environment, **185**, 208–220 (2014).
58. M. Wiesmeier, et al, *Land use effects on organic carbon storage in soils of Bavaria: The importance of soil types.* Soil and Tillage Research, **146**, 296–302 (2015).
59. I. Kögel-Knabner, et al, *Organo-mineral associations in temperate soils: Integrating biology, mineralogy, and organic matter chemistry*. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, **171**, 61-82 (2008).
60. CM. Monreal, HR. Schulten, H. Kodama, *Age, turnover and molecular diversity of soil organic matter in aggregates of a Gleysol*. Canadian Journal of Soil Sciences, **77**, 379-388 (1997).
61. M. Von Lützow, et al, *Stabilization of organic matter in temperate soils: Mechanisms and their relevance under different soil conditions*, A review, Europeean Journal of Soil Science, **57**, 426–445 (2006).
62. G.A. Buyanovsky, M. Aslam, G.H. Wagner, *Carbon turnover in soil physical fractions,* Soil Science Society of America Journal, **58**(4), 1167-1173 (1994).
63. J. Balesdent, G.H. Wagner, A. Mariotti, *Soil organic matter turnover in long-term field experiments as revealed by carbon-13 natural abundance*, Soil Science Society of America Journal, **52**(1), 118-124 (1988).
64. T. Ohno, et al, *^{14}C mean residence time and its relationship with thermal stability and molecular composition of soil organic matter: A case study of deciduous and coniferous forest types*, Geoderma, **308**, 1-8 (2017).
65. Y. Wang, R. Amundson, S. Trumbore, *The impact of land use change on C turnover in soils*. Global Biogeochemical Cycles, **13**, 45–57 (1999).

COPYRIGHTS

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium , as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.

استناد به این مقاله
علیرضا اوجی، احمد لندی، مارال خدادادی، سعید حجتی (۱۳۹۹)، میانگین زمان ماندگاری کربن-۱۴ ماده آلی خاک تحت اقلیم‌های متفاوت در بخشی از مراتع استان خوزستان، ایران ، ۹۲، ۱۲۱-۱۳۲

DOI: 10.24200/nst.2020.1124
Url: https://jonsat.nstri.ir/article_1124.html