مجله علمی‌پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیابان

دورهٔ ۱۲، شمارهٔ ۳ (پیاپی ۴۰)، پاییز ۱۴۰۲، صفحه ۲۹ـ۴۴

مقاله پژوهشی

بررسی ذخیرهٔ کربن آلی و برخی عوامل ادافیکی مؤثر بر آن در رویشگاه‌های شور گیاه *Camphorosma monspeliaca* L. دشت قهاوند (منطقهٔ یکله)

بهناز عطائیان،[۱*] علی طاهری،[۲] بختیار فتاحی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۰۵ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۳۰**

چکیده

پتانسیل ذخیرهٔ کربن مراتع به‌سبب تعدیل غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفری حائز اهمیت است. ذخیرهٔ کربن آلی خاک در مراتع تحت پوشش گونهٔ مرتعی کامفروزما دشت قهاوند در استان همدان بررسی شد. نمونه‌های خاک (سطحی ۰–۱۵ و زیرسطحی ۱۵ـ۵۰ سانتی‌متری) و زی‌تودهٔ هوایی گیاه کامفروزما به روش سیستماتیک-تصادفی در اواسط فصل رشد انتخاب و برداشت شدند. سپس کربن آلی خاک و گیاه، بافت خاک، اسیدیته، هدایت الکتریکی، جرم مخصوص ظاهری، نیتروژن کل و نیتراتی و آمونیومی اندازه‌گیری و همبستگی خطی پارامترها بررسی شد. نتایج نشان داد به‌جز درصد رس و جرم مخصوص ظاهری ($p \leq ۰/۰۵$) تغییرات معنی‌داری در سایر خصوصیات خاک سطحی و زیرسطحی شامل درصد کربن آلی خاک، میزان اسیدیته، درصد رس، درصد نیتروژن کل، درصد نیتروژن نیتراتی، غلظت نیتروژن نیتراتی و غلظت نیتروژن آمونیومی ($p > ۰/۰۵$) مشاهده نشد. نتایج همبستگی خطی پیرسون بین پارامترهای خاک و گیاه بیانگر رابطهٔ معنی‌دار و معکوس درصد سیلت و درصد کربن آلی خاک بود ($p \leq ۰/۰۵$). فقط در صورت افزایش سطح معنی‌داری ارتباط خطی معنی‌داری بین درصد کربن آلی خاک و گیاه با نیتروژن گیاه قابل مشاهده است ($p \leq ۰/۱$). میزان ترسیب کربن در عمق ۰–۵۰ سانتی‌متری مراتع منطقه معادل ۹۰/۹ تن در هکتار تخمین زده می‌شود. با توجه به نتایج حاصل، مطالعهٔ عوامل محیطی بررسی نشده در این تحقیق به‌همراه افزایش حجم نمونه، برای مطالعات آتی پیشنهاد می‌شود.

کلیدواژه‌ها: ترسیب کربن، کافوری، نیتروژن، مراتع خشک.

۱. استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر، ملایر. attaeian94@gmail.com

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر، ملایر

۳. استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر، ملایر

این مقاله برگرفته از پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد دانشگاه ملایر است.

DOI: 10.22052/DEEJ.2024.253756.1029

مقدمه

در دهۀ ۱۹۹۰، تعریف خاک به یک رویکرد سیستمی توسعه یافت که خدمات زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی مبتنی‌بر خاک را پوشش می‌دهد (ویسمیر[1] و همکاران، ۲۰۱۹). همان‌گونه که خاک بر گونه‌های گیاهی اثر می‌گذارد، گونه‌های گیاهی نیز به‌طور ویژه بر خاک تأثیر می‌گذارند (ریبونز[2] و همکاران، ۲۰۱۶). از عوامل عمدۀ تأثیر گونه‌های گیاهی بر خصوصیات خاک، تفاوت در کیفیت لاشبرگ، فعالیت‌های ریشه، بازجذب عناصر غذایی و رشد و نمو گیاهی است (موونگ وی[3] و همکاران، ۲۰۱۵). همچنین تحمل و سازگاری گیاهان نسبت به تغییرات خصوصیات خاک عامل مهمی در مهاجرت گونه‌ای و احیای خاک است. واکنش متقابل خاک-گیاه و وضعیت مرفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاهان در تعیین خصوصیات گیاه یا خاک مؤثر است. به‌طورکلی می‌توان گفت هرگونه گیاهی ازطریق تکامل مجموعه‌ای از خصوصیات فیزیونومی (شکل ظاهری) و فیزیولوژی به‌وجود آمده که شانس بقای آن را در محیط‌های معینی بهبود بخشیده است (خدری غریب‌وند و همکاران، ۲۰۱۸). کربن آلی یکی از اجزای اصلی خاک است که بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آن تأثیر می‌گذارد و به عملکرد مناسب آن بسیار کمک می‌کند. مزایای کربن آلی خاک (SOM) شامل بهبود کیفیت خاک ازطریق افزایش جذب آب و مواد مغذی و درنتیجه بهره‌وری بیشتر گیاهان در اکوسیستم‌های طبیعی است. به‌طورکلی، مقدار کربن ذخیره‌شده در خاک تعادل بین رشد گیاه و تولید ریشه، ترشحات ریشه و تجزیۀ میکروبی آن‌ها را نشان می‌دهد (رومپل و چابی،[4] ۲۰۱۹).

ذخیرۀ کربن خاک یک خدمت حیاتی به اکوسیستم است که از تعامل فرایندهای اکولوژیکی ناشی می‌شود. فعالیت‌های انسانی که بر این فرایندها تأثیر می‌گذارد، می‌تواند منجر به هدررفت یا بهبود میزان ذخیرۀ کربن خاک شوند (بندر[5] و همکاران، ۲۰۱۶). ترسیب SOC ابزاری برای تعدیل تغییرات آب‌وهوا ازطریق کاهش غلظت دی‌اکسید کربن (CO_2) اتمسفری در نظر گرفته می‌شود. یکی از مکان‌های مناسب ترسیب کربن، مناطق خشک و نیمه‌خشک‌اند و افزایش میزان زیست‌تودۀ گیاهان چوبی در این مناطق، به‌دلیل کاهش هزینۀ ترسیب گاز کربنیک دارای مزیت فراوان است (کنانت[6] و همکاران، ۲۰۱۷). حسنوند و همکاران (۲۰۲۰) خدمت اکوسیستمی ترسیب کربن توسط گونه‌های غالب در مراتع تیل‌آباد استان گلستان شامل گونه‌های غالب (*Artemisia sieberi*, *Onobrychys cornuta*, *Stachys inflata*, *Stipa hohenakeriana*) و خاک تحت‌تأثیر زیرتاج این گونه‌ها را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که میزان ترسیب کربن خاک گونۀ *Onobrychys cornuta* با ۷۶/۳۱ تن در هکتار، بیانگر نقش بالای این گونه در ذخیره‌سازی کربن در خاک است. کوهستانی و همکاران (۲۰۲۱) در تحقیقی با عنوان اقدام به پایش توزیع مکانی ترسیب کربن خاک طی چهار دهه تغییرات وضعیت پوشش اراضی مرتعی در حوزۀ آبخیز نوررود استان مازندران به این نتیجه رسیدند که در تمام دهه‌های مورد مطالعه، میزان ترسیب کربن روند کاهشی داشته است به‌گونه‌ای که میزان آن از ۹۹۰۵۷۲۹ تن در کل حوزه در سال ۱۳۶۷ به ۸۸۶۰۸۰۳ تن در سال ۱۳۹۷ کاهش یافته است (بادهیان و منصوری، ۲۰۱۷؛ توکلی، ۲۰۱۶). مفیدی چلان و همکاران (۲۰۲۱) در بخشی از شوره‌زارهای اینچه‌برون استان گلستان اقدام به برآورد ارزش اقتصادی حاصل از ترسیب کربن نمودند. براساس نتایج با توجه به بالا بودن میزان ذخیرۀ کربن در بخش خاک اکوسیستم، خاک دارای ارزش اقتصادی بیشتری است؛ لذا حفاظت خاک و جلوگیری از فرسایش نقش مهمی در حفظ ارزش اقتصادی کربن خواهد داشت. درخشان و همکاران (۲۰۲۲) اقدام به مقایسۀ ترسیب کربن خاک و گیاه در دو کاربری مرتع و زراعی در محلات در استان مرکزی نمودند. نتایج نشان داد که مجموع ترسیب کربن در اکوسیستم مرتعی (۵۹۴۷۱ کیلوگرم در هکتار) بیشتر از ترسیب کربن در اراضی زراعی (۵۳۳۱۴ کیلوگرم در هکتار) بود. بنابراین به‌رغم کمبود نهاده‌های آبیاری و کود، میزان ترسیب کربن در مراتع منطقه توجه است.

ترسیب کربن خاک تحت‌تأثیر عوامل مختلفی ازجمله گونه‌های گیاهی در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار دارد.

1. Wiesmeier
2. Ribbons
3. Muvengwi
4. Rumpel & Chabbi
5. Bender
6. Conant

گونه‌های گیاهی مختلف توانایی‌های متفاوتی برای جذب و ذخیرهٔ کربن در خاک این مناطق دارند. برخی از گونه‌های گیاهی مانند گیاهان چندسالهٔ ریشه‌دار می‌توانند با افزایش ورودی‌های مواد آلی، ذخیرهٔ کربن خاک را افزایش دهند.

کسیکسی[1] و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی تغییرات ذخایر کربن خاک/پوشش گیاهی در اندام هوایی و زیرزمینی گونه‌های غالب مراتع فراخشک امارات متحدهٔ عربی پرداختند. بررسی گونه‌های گیاهی منطقه بیانگر حداکثر ذخیرهٔ ۳/۶ تن در هکتار کربن گیاهی در مراتع دره‌های کوهستانی منطقه بود.

بیگیو[2] و همکاران (۲۰۲۳) تولید خالص اولیه (ANPP) و تجزیهٔ لاشبرگ در مناطق خشک و جوامع گیاهی علفی فصلی مدیترانه‌ای را بررسی کردند. افزایش خشکی در این مناطق منجر به کاهش تولید اولیه شد و به‌رغم تغییر نکردن سرعت تجزیهٔ لاشبرگ، کاهش تولید میزان ذخایر کربن آلی خاک را کاهش داد.

تسما[3] و همکاران (۲۰۲۰) پتانسیل ترسیب کربن آلی خاک را در مطالعات انجام‌شده در مراتع خشک شرق آفریقا بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد ذخایر کربن آلی خاک در گراسلندهای خشک از ۳ تا ۹۳ مگاتن کربن در هکتار در ۳۰ سانتی‌متری خاک سطحی متغیر است؛ درحالی‌که شدت جذب کربن آلی خاک از ۰/۱ تا ۳/۱ مگاتن کربن در هکتار تحت‌تأثیر مدیریت و چرا متغیر است. بویوک[4] و همکاران (۲۰۲۰) اثر زیست‌تودهٔ گیاهان بر کربن آلی خاک در مناطق نیمه‌خشک ترکیه را بررسی کردند. بیش از ۱۲۰ گونهٔ گیاهی طبیعی در منطقهٔ مورد مطالعه شناسایی شد که نشان‌دهندهٔ غنای مراتع در این منطقه است که مراتع تحت مدیریت قرق بیشترین میزان کربن آلی و مراتع تحت چرا کمترین مقدار کربن آلی را ذخیره کردند. مک‌کنا[5] و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهشی تأثیر اقلیم، خواص خاک، ترکیب گونه‌های گیاهی و شیوه‌های مدیریت دام بر کربن آلی و معدنی خاک را در مراتع نیمه‌خشک ایالات متحده را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد عوامل غیرزیستی مانند کانی‌ها تأثیرات چشمگیری بر میزان کربن آلی خاک داشتند. کربن آلی خاک در لایهٔ سطحی خاک غنی از رس حاصل از بازالت بالاترین (تا ۲۸/۶ میلی‌گرم در هکتار) و کربن غیرآلی خاک در خاک زیرسطحی حاصل از سنگ آهک بالاترین (تا ۷۴/۷ میلی‌گرم در هکتار) مقدار بود. لورنز و لال[6] و همکاران (۲۰۱۸) پس از بررسی‌های مکانیزم ترسیب کربن در خاک نشان دادند ترسیب کربن در ارتقای امنیت غذایی، کیفیت آب، تنوع زیستی و تقویت چرخهٔ عناصر نقش مهمی دارد.

با توجه به اهمیت تولید و پوشش گیاهی بر میزان کربن آلی خاک، بررسی اثر مستقیم گونه‌های گیاهی نیز حائز اهمیت است. میرزایی و همکاران (۲۰۱۴) اثرات جنگل‌کاری با گونه‌های بومی و غیربومی بر میزان ترسیب کربن خاک در مناطق خشک زاگرس را ارزیابی کردند. حضور گونه‌های بومی در مناطق خشک ایران تأثیر مثبتی بر ترسیب کربن خاک دارد و گونهٔ اکالیپتوس تأثیر بیشتری در افزایش کربن آلی خاک نسبت به گونه‌های بومی داشته است. احمدی و همکاران (۲۰۲۲) نیز بر نقش مثبت حضور گونه‌های گیاهی چوبی *Haloxylon aphyllum* و *Stipagrostis plumosa* در مراتع خشک تأکید داشتند. این گیاهان می‌توانند پتانسیل ترسیب کربن خاک در اراضی بیابانی را افزایش دهند و به ذخیرهٔ کربن و بازسازی اکوسیستم کمک کنند. یاژوان[7] و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی تفاوت ذخیرهٔ کربن آلی خاک (SOC) و میزان آن در میان جوامع گیاهی مراتع استپی پرداختند. در این مطالعه اثرات عوامل محیطی و پوشش گیاهی مورد بررسی قرار گرفت. به‌رغم اثر مهم عوامل محیطی، جامعهٔ گیاهی بیشترین تأثیر را در افزایش ذخیرهٔ کربن خاک در این اکوسیستم‌ها دارد.

اهمیت مراتع در چرخهٔ کربن جهانی تأمل‌برانگیز است. هرچند پوشش هوایی در جنگل‌ها و مسیر دریافت فتوسنتزی کربن بسیار بیشتر است، سطح گستردهٔ مراتع این پوشش هوایی کمتر را جبران کرده و لزوم پایش تغییرات کربن را در این اکوسیستم‌ها یادآور می‌شود. این درحالی است که عمدهٔ تحقیقات و استفاده از ابزارهای کارآمد در مطالعهٔ تغییرات کربن آلی در اکوسیستم‌های جنگلی صورت گرفته است و مطالعات در

1. Ksiksi
2. Bigio
3. Tessema
4. Buyuk
5. McKenna
6. Lorena & Lal
7. Yajuan

اکوسیستم‌های مرتعی در داخل و خارج کشور به نسبت دیگر اکوسیستم‌ها ناچیز است. به همین دلیل تخمین کربن ذخیره شده در اندام‌های هوایی و خاک سطحی مراتع در تبیین مدیریت اصولی مراتع و تعدیل تغییرات اقلیمی قرن حاضر خواهد داشت.

گونهٔ *Camphorosma monspeliaca* L. از خانوادهٔ Amaranthaceae است. این گونه جزو گونه‌های چوبی و زیردرختچه‌ای مراتع ایران و مدیترانه است که ازنظر گستردگی در اروپا، ترکیه، ایران، قفقاز، آسیای مرکزی، افغانستان، پاکستان و شمال آفریقا پراکنده است. این گونه در ایران به دو زیرگونه تفکیک شده است که شامل زیرگونهٔ *monspeliaca* در شمال و شمال غرب ایران و زیرگونهٔ *lessingii* در شمال غرب، غرب و مرکز ایران است. این گونهٔ علفی با قاعدهٔ چوبی و در برخی موارد بالشتکی شکل است که با ریشهٔ مستقیم و عمیق علاوه‌بر اهمیت حفاظت خاک می‌تواند نقش مهمی در ترسیب کربن مراتع داشته باشد. این گونه علاوه‌بر نقش حفاظتی خاک جزو گیاهان هالوفیت بومی است که سطح پروتئین خام مناسبی دارد و میزان نیتروژن مورد نیاز دام را فراهم می‌کند؛ لذا مطالعه و بررسی نقش این گونهٔ گیاهی در ترسیب کربن مراتع دشت قهاوند که از مناطق شور نیمه‌خشک استان همدان به شمار می‌آید، حائز اهمیت است. این منطقه به علل محیطی و مدیریتی در معرض بیابانی شدن است؛ لذا افزایش ترسیب کربن به بهبود وضعیت خاک و اکوسیستم منطقه کمک خواهد کرد.

مواد و روش‌ها

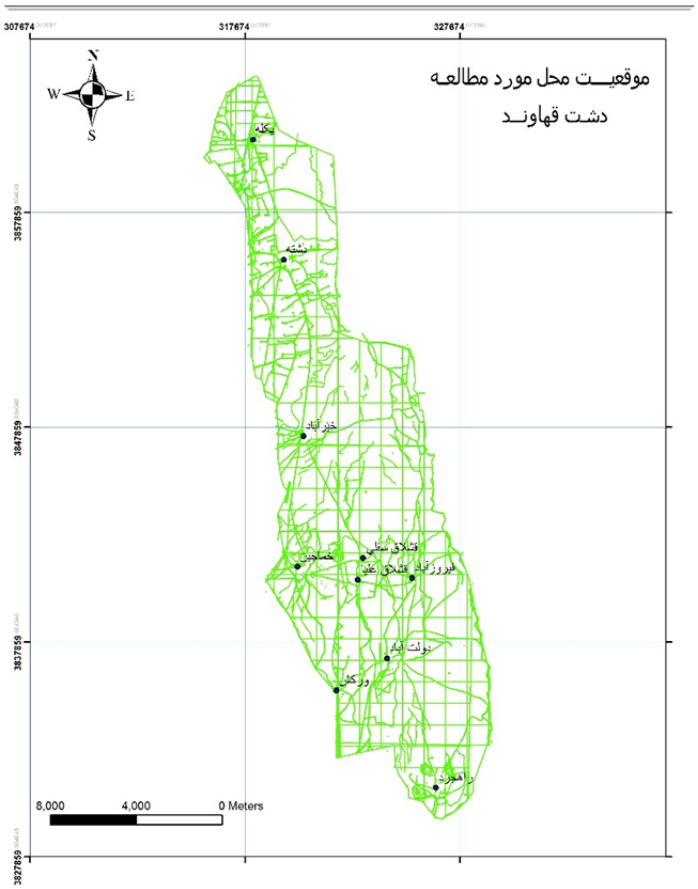
معرفی منطقهٔ مورد مطالعه

منطقهٔ مورد مطالعه با مساحتی در حدود ۱۵۰۲۰ هکتار با مختصات طول جغرافیایی ″۲۲ ′۰۱ °۴۹ تا ۱۹ ′۰۷ ۴۹ و عرض جغرافیایی ″۵۰ ′۳۴ °۳۴ تا ۵۹ ′۴۷ ۳۴ در محدودهٔ شهرستان همدان واقع شده است. متوسط بارندگی سالانهٔ منطقه طبق آمار بلندمدت ایستگاه قهاوند با استفاده از گرادیان بارندگی ۲۶۲ میلی‌متر و متوسط درجه‌حرارت سالیانهٔ منطقه ۱۱/۳ درجهٔ سانتی‌گراد است. بیشترین تعداد روزهای یخبندان در ماه دی اتفاق می‌افتد و بیشترین میزان رطوبت نسبی در منطقهٔ مورد مطالعه در فصل زمستان و کمترین آن در فصل تابستان مشاهده شده است. اقلیم منطقه در روش آمبرژه خشک سرد و در روش دومارتن نیمه‌خشک است (شکل ۱). گونه‌های گیاهی مشاهده‌شده در منطقه در جدول (۱) خلاصه شده است.

جدول (۱): لیست فلور منطقهٔ قهاوند

Table (1): Flora list of Qahavand region

ردیف	نام علمی گیاه	نام خانواده	نام فارسی
۱	*Camphorosma monspeliaca*	Chenopodiaceae	کافوری
۲	*Acantholimon pterostegium*	Plumbaginaceae	کلاه میرحسن
۳	*Acanthophylum bracteatum*	Caryophyllaceae	چوبک
۴	*Acroptilon. Repens*	Asteracae	تلخه
۵	*Alhagi persicum*	Fabaceae	خارشتر
۶	*Artemisia seiberi*	Asteracae	درمنه
۷	*Bromus tectorum*	Poaceae	علف پشمکی
۸	*Chenopodium album*	Chenopodiaceae	سلمه
۹	*Comphrosma monspeliaca*	Chenopodiaceae	تار
۱۰	*Euphorbia bungei*	Euphorbiaceae	افدرا
۱۱	*Euphorbia densa*	Euphorbiaceae	افدرا
۱۲	*Holtemia persica*	Rosacae	ورک
۱۳	*Hordeum glaucum*	Poaceae	جو وحشی
۱۴	*Salsola incanescens*	Chenopodiaceae	شور
۱۵	*Silene coniflora*	Caryophyllaceae	قلیانک
۱۶	*Solanum nigrum*	Solanaceae	خوشاریزه
۱۷	*Sophora pachycarpa*	Fabaceae	تلخه بیان



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی منطقهٔ مورد مطالعه

Figure (1): Geographical position of the Study Area

شکل (۲): نمایی از منطقه و گونهٔ *Camphorosma monspeliaca L* مورد مطالعه در زمان نمونه‌برداری

Figure (2): A view of the studied area and the Camphorosma monspeliaca L species at the time of sampling

روش تحقیق

به‌منظور نمونه‌برداری از منطقهٔ مورد مطالعه (شکل ۲) به روش سیستماتیک- تصادفی تعداد ۳ ترانسکت آزیموت ۳۵ درجه (۱۰۰ متری) و درمجموع ۱۱ پلات (۲×۲ متر مربع) در اواسط فصل رشد در تاریخ ۶ خرداد ۱۳۹۷ انتخاب و نمونه‌های خاک و زی‌تودهٔ هوایی گونهٔ گیاهی غالب منطقه *Camphorosma monspeliaca L.* برداشت شد. برای نمونه‌برداری موقعیت جغرافیایی هر ترانسکت براساس شیب منطقه و سپس پلات‌های تصادفی در امتداد هر ترانسکت در نرم‌افزار Google Earth تعیین و سپس در عرصه با استفاده از GPS ثبت شد (جدول ۲).

جدول (۲): مختصات UTM پلات‌ها
Table (2): UTM coordinates of plots

شمارهٔ پلات	x	y
۱	۳۱۹۱۴۹	۳۸۶۶۴۱۶
۲	۳۱۹۱۶۷	۳۸۶۶۴۲۰
۳	۳۱۹۲۰۳	۳۸۶۶۴۰۵
۴	۳۱۹۲۳۸	۳۸۶۶۳۹۹
۵	۳۱۹۲۵۸	۳۸۶۶۳۷۳
۶	۳۱۹۲۷۴	۳۸۶۶۳۴۷
۷	۳۱۹۳۱۱	۳۸۶۶۳۱۶
۸	۳۱۹۳۸۹	۳۸۶۶۳۳۵
۹	۳۱۹۴۳۵	۳۸۶۶۳۴۱
۱۰	۳۱۹۵۰۹	۳۸۶۶۲۹۷
۱۱	۳۱۹۵۲۰	۳۸۶۶۲۹۰

برای مطالعات تغییرات خصوصیات خاک، نمونه‌های خاک از لایهٔ ریزوسفری و فضای بین لکه‌ای از دو عمق ۰–۱۵ و ۱۵–۵۰ سانتی‌متری برداشت و پس از کدگذاری، به آزمایشگاه منتقل شدند. تعداد ۱۱ نمونه از اندام هوایی گیاهی با توجه حضور گونه در پلات‌های مد نظر برای آنالیزهای شیمیایی برداشت شد. کربن آلی اندام هوایی گیاه روش احتراق در داخل کوره به‌مدت ۴ ساعت در دمای ۵۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد قرار داده شدند (ورامش[1] و همکاران، ۲۰۱۰)، کربن آلی خاک از روش والکلی–بلک (والکلی و بلک،[2] ۱۹۳۴)، بافت خاک از روش هیدرومتری، اسیدیته و هدایت الکتریکی با استفاده از دستگاه pH متر و EC سنج، وزن مخصوص ظاهری از روش کلوخه و پارافین (تسما، ۲۰۲۰) و میزان نیترات و آمونیوم خاک با استفاده از روش کجلدال (اکسید کردن مرطوب) (تسما، ۲۰۲۰) اندازه‌گیری شدند. آنالیزهای آماری برای بررسی تغییرات معنی‌دار پارامترهای اندازه‌گیری‌شده شامل آزمون‌های نرمالیتی، T-test و همبستگی خطی پیرسون از نرم‌افزار SAS v.9.2 استفاده شد. قابل ذکر است در بررسی اولیهٔ داده‌ها همهٔ متغیرهای خاک (کربن آلی خاک، اسیدیتهٔ خاک، درصد رس، درصد نیتروژن کل، درصد نیتروژن نیتراتی، درصد نیتروژن آمونیومی، هدایت الکتریکی و جرم مخصوص ظاهری) و اندام هوایی گیاهی (درصد نیتروژن کل گیاه، درصد نیتروژن نیتراتی گیاه، درصد نیتروژن پروتئین گیاه و درصد کربن آلی گیاه) در مطالعهٔ حاضر براساس آزمون Shapiro-Wilk نرمال بودند ($p > ۰/۰۵$).

نتایج

مقایسهٔ تغییرات خصوصیات خاک

میانگین کربن آلی خاک و سایر پارامترهای خاک و گیاه در جدول (۳) ارائه شده است. تغییرات کربن آلی و ارتباط آن با سایر پارامترها بررسی شد. میزان متوسط کربن آلی در دو عمق سطحی و زیرسطحی به‌ترتیب معادل ۲۹۰ و ۶۲۰ کیلوگرم در هکتار برآورد شد. نتایج مقایسهٔ میانگین پارامترهای خاک بین دو عمق سطحی و زیرسطحی بیانگر عدم تغییرات معنی‌دار کربن آلی، اسیدیته، درصد نیتروژن کل، درصد نیترات و آمونیوم در دو عمق ۰–۱۵ و ۱۵–۵۰ سانتی‌متری در مناطق رویشی کامفروزماست ($p> ۰/۰۵$) (جدول ۳).

بررسی همبستگی خطی پیرسون بین پارامترهای خاک و درصد کربن آلی خاک نشان‌دهندهٔ عدم ارتباط قوی و معنی‌دار بین درصد کربن آلی خاک با اکثر متغیرهای خاک به‌جز درصد سیلت بود ($p> ۰/۰۵$) (جدول ۵). به‌طورکلی روند تغییرات درصد کربن آلی خاک، اسیدیته، درصد رس، درصد شن، درصد نیتروژن کل و درصد نیترات و درصد آمونیوم همسو بودند و تغییرات کربن آلی خاک با سایر پارامترها جرم مخصوص ظاهری، هدایت الکتریکی و درصد سیلت در جهت معکوس بوده است. هرچند به‌جز میزان درصد سیلت سایر پارامترها همبستگی معنی‌داری با کربن آلی خاک نشان ندادند ($p \leq ۰/۰۵, r = -۰/۴۱$) (جدول ۵).

1. Varamesh
2. Walkely & Black

جدول (۳): میانگین کربن آلی و سایر خصوصیات خاک و گیاه

Table (3): Average of soil organic carbon and other plant and soil characteristics

متغیر	عمق (سانتی‌متر)	میانگین	واریانس
کربن آلی (درصد)	۱۵_۰	۱/۰۱	۰/۰۸
	۳۰_۱۵	۱/۰۴	۰/۰۸
نیتروژن کل (درصد)	۱۵_۰	۰/۳۳	۰/۰۳
	۳۰_۱۵	۰/۲۶	۰/۰۳
نیترات (درصد)	۱۵_۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰۴
	۳۰_۱۵	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۲
آمونیوم (درصد)	۱۵_۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۶
	۳۰_۱۵	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۷
جرم مخصوص ظاهری (گرم/ سانتی‌متر مکعب)	۱۵_۰	۱/۹۲	۰/۱۱
	۳۰_۱۵	۱/۶۹	۰/۰۷
اسیدیته	۱۵_۰	۸/۰۴	۰/۰۵
	۳۰_۱۵	۸/۱۶	۰/۰۵
رس (درصد)	۱۵_۰	۱۸/۳۷	۱/۲۶
	۳۰_۱۵	۲۲/۵۵	۱/۷۳
هدایت الکتریکی	۱۵_۰	۲۶۶	۲۱/۷۵
	۳۰_۱۵	۲۸۴/۶	۱۹/۷۴
کربن آلی گیاه (درصد)	_	۴۸/۹	۶/۱۵
نیتروژن پروتئینی گیاه (درصد)	_	۲/۰۴	۰/۲
نیتروژن کل گیاه (درصد)	_	۲/۳۲	۰/۲۲
نیترات گیاه (درصد)	_	۰/۱۷	۰/۰۱

جدول (۴): تغییرات کربن کربن آلی و سایر خصوصیات خاک در دو عمق سطحی و زیرسطحی

Table (4): Changes in Carbon, Organic Carbon and other Soil Characteristics at two Surface and Subsurface Depths

متغیر	درجهٔ آزادی	اشتباه معیار ± میانگین	p value
درصد کربن آلی	۲۰	۱/۰±۰۱/۰۵	۰/۴۷
درصد نیتروژن کل	۲۰	۰/۰±۳۱/۰۲	۰/۱۳
درصد نیترات	۲۰	۰/۰±۰۰۲/۰۰۰۲	۰/۰۶
درصد آمونیوم	۲۰	۰/۰±۰۰۱/۰۰۰۴	۰/۹۲
جرم مخصوص ظاهری	۲۰	۱/۰±۸/۰۸	۰/۰۵*
اسیدیته	۲۰	۸/۰±۱/۰۳	۰/۳۳
درصد رس	۲۰	۲۰/۱±۶/۰۶	۰/۰۳*
هدایت الکتریکی	۲۰	۲۷۸/۱۵±۶/۰۲	۰/۹۳

*معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ را نشان می‌دهد.

جدول (۵): مقایسهٔ ارتباط و همبستگی پیرسون پارامترهای خاک با کربن آلی

Table (5): Comparison of Pearson's Correlation and Correlation of Soil Parameters with Organic Carbon

	درصد کربن آلی	pH	درصد رس	جرم مخصوص ظاهری	درصد نیتروژن کل	درصد نیتروژن نیتراتی	غلظت نیتروژن نیتراتی	غلظت نیتروژن آمونیومی
درصد کربن آلی	۱							
pH	۰/۰۷ ۰/۷۵	۱						
درصد رس	۰/۲۳ ۰/۲۸	۰/۱۵ ۰/۵	۱					
جرم مخصوص ظاهری	-۰/۰۷ ۰/۷۳	۰/۱۹ ۰/۳۹	-۰/۱۷ ۰/۴۴	۱				
درصد نیتروژن کل	-۰/۳ ۰/۱۶	-۰/۰۱ ۰/۹۵	۰/۲۳ ۰/۲۸	۰/۰۷ ۰/۷۲	۱			
درصد نیتروژن نیتراتی	-۰/۰۰۴ ۰/۹۸	۰/۰۴ ۰/۸۴	۰/۲۲ ۰/۳۱	۰/۰۱ ۰/۹۵	۰/۵۲ ۰/۰۱**	۱		
غلظت نیتروژن نیتراتی	-۰/۰۶ ۰/۷۶	-۰/۰۳ ۰/۸۶	۰/۲۷ ۰/۲۱	۰/۱۶ ۰/۴۵	۰/۵۱ ۰/۰۱**	۰/۸۲ ۰/۰۰۰۱**	۱	
غلظت نیتروژن آمونیومی	-۰/۱۷ ۰/۴۴	۰/۰۸ ۰/۶۹	۰/۰۸ ۰/۷۲	۰/۱۸ ۰/۴۱	۰/۵۲ ۰/۰۱**	۰/۷۸ ۰/۰۰۰۱**	۰/۹۲ /۰۰۰۱**	۱

** بیانگر معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ است.

به‌منظور بررسی ارتباط و همبستگی خطی کربن آلی خاک سطحی با پارامترهای گیاهی(کربن آلی، نیتروژن پروتئینی و نیتراتی و نیتروژن کل) نیز از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد. نتایج آزمون پیرسون نشان داد هیچ‌گونه ارتباط معنی‌داری بین درصد کربن آلی خاک سطحی و پارامترهای گیاهی مذکور در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ وجود نداشته است. شایان ذکر است، تغییرات درصد کربن آلی خاک و درصد نیتروژن کل خاک و درصد کربن آلی گیاه هم روند و تغییرات درصد کربن آلی خاک و درصد نیتروژن کل خاک سطحی معکوس و در سطح ۰/۱ معنی‌دار بوده است (جدول ۶). همچنین همبستگی خطی کربن آلی خاک زیرسطحی نیز با پارامترهای گیاهی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آزمون همبستگی پیرسون نشان داد، هیچ‌گونه ارتباط معنی‌داری بین درصد کربن آلی خاک زیرسطحی و پارامترهای گیاهی وجود نداشته است و صرفاً درصد سیلت در خاک زیرسطحی به‌طور معنی‌داری بر درصد کربن خاک زیرسطحی تأثیر معنی‌داری داشته است ($p\leq$ ۰/۰۵) (جدول ۶). همچنین بررسی‌ها نشان داد تغییرات درصد نیتروژن نیتراتی گیاه و درصد کربن آلی گیاه هم روند هستند (جدول ۶).

جدول (۶): مقایسهٔ ارتباط و همبستگی پیرسون پارامترهای گیاهی با کربن آلی خاک سطحی

Table (6): Comparing Pearson's Relationship and Correlation of Plant Parameters with Surface Soil Organic Carbon

	درصد کربن آلی خاک	pH	EC	درصد رس	جرم مخصوص ظاهری	درصد نیتروژن کل	درصد نیتروژن نیتراتی	غلظت نیتروژن نیتراتی	غلظت نیتروژن آمونیومی	درصد نیتروژن کل گیاه	درصد نیتروژن نیتراتی گیاه	درصد نیتروژن پروتئینی گیاه	کربن آلی گیاه
درصد کربن آلی خاک	۱												
pH	۰/۵۹ ۰/۰۷	۱											
EC	−۰/۳۲ ۰/۳۶	−۰/۳۶ ۰/۳	۱										
درصد رس	۰/۰۸ ۰/۸۲	−۰/۰۲ ۰/۹۵	۰/۱۳ ۰/۷	۱									
جرم مخصوص ظاهری	۰/۴۱ ۰/۲۳	−۰/۰۰۴ ۰/۹۹	−۰/۲۸ ۰/۴۱	۰/۳۳ ۰/۳۳	۱								
درصد نیتروژن کل	−۰/۶۱ ۰/۰۶	۰/۰۵ ۰/۸۷	−۰/۱۷ ۰/۶۳	۰/۲۷ ۰/۴۳	−۰/۳۳ ۰/۳۳	۱							
درصد نیتروژن نیتراتی	−۰/۰۸ ۰/۸۱	۰/۱۴ ۰/۶۹	−۰/۰۵ ۰/۸۸	۰/۴۷ ۰/۱۶	−۰/۲۱ ۰/۵۴	۰/۳۱ ۰/۳۷	۱						
غلظت نیتروژن نیتراتی	−۰/۰۷ ۰/۸۲	−۰/۱۰ ۰/۷۶	−۰/۰۴ ۰/۸۹	۰/۶۲ ۰/۰۵*	۰/۱۰ ۰/۷۷	۰/۲۸ ۰/۴۲	۰/۷۹ ۰/۰۰۵**	۱					
غلظت نیتروژن آمونیومی	−۰/۰۸ ۰/۸۰	۰/۰۷ ۰/۸۳	−۰/۱۴ ۰/۶۹	۰/۴۸ ۰/۱۵	−۰/۱۰ ۰/۷۷	۰/۴۱ ۰/۲۳	۰/۷۹ ۰/۰۰۶**	۰/۹۱ ۰/۰۰۰۲**	۱				
درصد نیتروژن کل گیاه	−۰/۲۹ ۰/۴۱	−۰/۰۱ ۰/۹۶	−۰/۵۴ ۰/۱	−۰/۰۵ ۰/۸۷	−۰/۳۰ ۰/۳۸	۰/۶۸ ۰/۰۲**	۰/۱۸ ۰/۶۱	۰/۲۷ ۰/۴۳	۰/۳۵ ۰/۳۱	۱			
درصد نیتروژن نیتراتی گیاه	−۰/۱۶ ۰/۶۴	۰/۰۸ ۰/۸	۰/۳۱ ۰/۳۷	−۰/۱۲ ۰/۷۳	−۰/۴۶ ۰/۱۸	۰/۲۲ ۰/۵۲	−۰/۱۶ ۰/۶۴	−۰/۱۷ ۰/۶۲	−۰/۰۶ ۰/۸۵	۰/۱۹ ۰/۵۹	۱		
درصد نیتروژن پروتئینی گیاه	−۰/۲۹ ۰/۴۱	−۰/۰۲ ۰/۹۴	−۰/۵۶ ۰/۰۸	−۰/۰۵ ۰/۸۸	−۰/۲۸ ۰/۴۳	۰/۶۷ ۰/۰۳**	۰/۱۹ ۰/۵۸	۰/۲۹ ۰/۴۱	۰/۳۶ ۰/۲۹	**۰/۹۹** ۰/۰۰۱**	۰/۱۲ ۰/۷۲	۱	
کربن آلی گیاه	۰/۵۸ ۰/۰۷	/۵۴ ۰/۱	−۰/۲۹ ۰/۴۱	۰/۲۵ ۰/۴۶	۰/۱۷ ۰/۶۳	−۰/۰۲ ۰/۹۳	۰/۳۴ ۰/۳۲	۰/۵۳ ۰/۱	۰/۵۳ ۰/۱	۰/۲۶ ۰/۴۵	۰/۰۸ ۰/۸	۰/۲۶ ۰/۴۶	**۱**

** بیانگر معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ است.

* بیانگر معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ است.

جدول (۷): مقایسهٔ ارتباط و همبستگی پیرسون پارامترهای گیاهی با کربن آلی خاک زیرسطحی

Table (7): Comparison of Correlation and Pearson Correlation of Plant Parameters with Subsurface Soil Organic Carbon

	درصد کربن آلی خاک	pH	EC	درصد رس	جرم مخصوص ظاهری	درصد نیتروژن کل	درصد نیتروژن نیتراتی	غلظت نیتروژن نیتراتی	غلظت نیتروژن آمونیومی	درصد نیتروژن کل گیاه	درصد نیتروژن نیتراتی گیاه	درصد نیتروژن پروتئینی گیاه	کربن آلی گیاه
درصد کربن آلی خاک	۱												
pH	-۰/۲۲ ۰/۵۳	۱											
EC	۰/۰۲ ۰/۹۳	۰/۲۵ ۰/۴۸	۱										
درصد رس	۰/۲۷ ۰/۴۴	۰/۱۶ ۰/۶۴	۰/۱۶ ۰/۶۵	۱									
جرم مخصوص ظاهری	-۰/۱۲ ۰/۷۳	۰/۳۳ ۰/۳۴	-۰/۱۵ ۰/۶۷	-۰/۴ ۰/۲۳	۱								
درصد نیتروژن کل	۰/۱۱ ۰/۷۴	۰/۰۱ ۰/۹۷	-۰/۴۶ ۰/۱۷	۰/۶ ۰/۰۶	-۰/۱۷ ۰/۶۳	۱							
درصد نیتروژن نیتراتی	۰/۲۷ ۰/۴۴	۰/۳۲ ۰/۳۶	-۰/۰۶ ۰/۸۵	۰/۶۲ ۰/۰۵*	-۰/۱۹ ۰/۵۸	۰/۷۹ ۰/۰۰۶**	۱						
غلظت نیتروژن نیتراتی	۰/۰۹ ۰/۷۹	۰/۱۷ ۰/۶۱	-۰/۱۵ ۰/۶۷	۰/۴۷ ۰/۱۶	-۰/۲۷ ۰/۴۴	۰/۶۷ ۰/۰۳**	۰/۸۲ ۰/۰۰۳**	۱					
غلظت نیتروژن آمونیومی	-۰/۱ ۰/۷۷	۰/۳۹ ۰/۲۶	-۰/۱۸ ۰/۶	۰/۲۸ ۰/۴۱	-۰/۱۲ ۰/۷۳	۰/۴۶ ۰/۱۷	۰/۶۶ ۰/۰۳**	۰/۹۱ ۰/۰۰۰۲**	۱				
درصد نیتروژن کل گیاه	-۰/۴۷ ۰/۱۶	۰/۰۵ ۰/۸۸	۰/۳ ۰/۳۸	-۰/۶۴ ۰/۰۴**	۰/۲۱ ۰/۵۴	-۰/۶۷ ۰/۰۳**	-۰/۴۲ ۰/۲۱	-۰/۱۵ ۰/۶۷	۰/۰۷ ۰/۸۲	۱			
درصد نیتروژن نیتراتی گیاه	۰/۰۸ ۰/۸۲	-۰/۲۹ ۰/۴۱	۰/۲۹ ۰/۴	۰/۲۲ ۰/۵۳	-۰/۴۲ ۰/۲۱	۰/۲۶ ۰/۴۵	۰/۳۵ ۰/۳	۰/۵۸ ۰/۰۷	۰/۳۸ ۰/۲۷	۰/۱۹ ۰/۵۹	۱		
درصد نیتروژن پروتئینی گیاه	-۰/۴۸ ۰/۱۵	۰/۰۷ ۰/۸۳	۰/۲۹ ۰/۴۱	-۰/۶۶ ۰/۰۳**	۰/۲۴ ۰/۴۹	-۰/۶۹ ۰/۰۲**	-۰/۴۵ ۰/۱۸	-۰/۱۹ ۰/۵۹	۰/۰۵ ۰/۸۷	۰/۹۹ ۰/۰۰۰۱**	۰/۱۲ ۰/۷۲	۱	
کربن آلی گیاه	۰/۲۶ ۰/۴۶	-۰/۱۳ -۰/۷۰	-۰/۱۶ ۰/۶۳	-۰/۱۵ ۰/۵۷	-۰/۱۱ ۰/۷۴	-۰/۱۳ ۰/۷۱	۰/۱۴ ۰/۶۸	۰/۴۲ ۰/۲۲	۰/۵۱ ۰/۱۲	۰/۲۶ ۰/۴۵	۰/۰۸ ۰/۸۱	۰/۲۶ ۰/۴۶	**۱**

** بیانگر معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ است.

* بیانگر معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ است.

بحث و نتیجه‌گیری

به‌منظور بررسی ظرفیت ترسیب کربن و تغییرات میزان کربن آلی خاک رویشگاه از گونه مرتعی کامفروزما بررسی‌ها و اندازه‌گیری در دو عمق ۰-۱۵۰ و ۱۵-۵۰ سانتی‌متری انجام گرفت. رایس[1] (۲۰۰۰) عمدهٔ تغییرات کربن آلی مراتع را در عمق ۰-۵۰ سانتی‌متری خاک گزارش کرد؛ اما تغییرات درصد کربن آلی خاک و بررسی همبستگی خطی در این مطالعه نشان داد که تفاوت معنی‌داری در میزان درصد کربن آلی خاک تحت پوشش گیاه علفی *Camphorosma monspeliaca* L. در دو لایهٔ سطحی و زیرسطحی مورد بررسی مشاهده نشده است. به عبارت دیگر، تغییراتی در میزان ذخیرهٔ کربن آلی خاک ۰-۵۰ سانتی‌متری مراتع قهاوند با گونهٔ گیاهی غالب *Camphorosma monspeliaca* L. مشاهده نشده است که می‌تواند ناشی از مورفولوژی و رشد ریشهٔ گیاه کافوری باشد. سیستم ریشهٔ این گیاه راست و قوی است که بسته به عمق آب زیرزمینی می‌تواند تا عمق ۶ متر و گسترهٔ ۶۰ـ۷۰ سانتی‌متر توسعه پیدا کند (مقیمی، ۲۰۰۵). مشاهده نشدن تغییرات معنی‌دار در اکثر خصوصیات خاک سطحی و زیرسطحی در رویشگاه مورد مطالعه نیز می‌تواند ناشی از همین امر باشد. درصد رس و جرم مخصوص ظاهری تنها متغیرهای بودند که در خاک سطحی و زیرسطحی تغییرات معنی‌داری نشان دادند؛ به‌طوری‌که درصد رس در خاک زیرسطحی ۲۲/۵۵ درصد بیشتر از خاک سطحی ۱۸/۳۷ درصد و میزان جرم مخصوص ظاهری خاک زیرسطحی ۱/۶۹ gr/cm^3 و در خاک سطحی معادل ۱/۹۲ gr/cm^3 است. با توجه به متوسط درصد کربن آلی خاک و وزن مخصوص خاک تخمین زده می‌شود که ترسیب کربن آلی در عمق ۰-۵۰ سانتی‌متری مراتع قهاوند حدود ۹۰۹ کیلوگرم در هکتار است. این میزان در مراتع آتریپلکس‌کاری‌شده با تراکم کم و بالا به‌ترتیب معادل ۱۶/۵۹ و ۸۱/۵۹ تن در هکتار برآورد شده است (بادهیان و منصوری، ۲۰۱۷). مقدار کربن آلی خاک در تیپ بوته‌ای *Salsola rigida* ۳۳/۲۵ تن در هکتار و در تیپ علفی *Stipa barbata* ۳۰/۴۸ تن در هکتار گزارش شده است که بیانگر بالاتر بودن پتانسیل ترسیب کربن در بوته‌زارها به نسبت علفزاهاست (رنجبری کریمیان و همکاران، ۲۰۲۲). تغییرات ذخیرهٔ کربن آلی در خاک سطحی و زیرسطحی در اکثر مطالعات گزارش شده است. برخلاف نتایج این پژوهش اکثر مطالعات انواع و کشت گونه‌های مرتعی باعث تغییر در مقدار ترسیب کربن در عمق‌های مورد مطالعه شده است. احمدی و همکاران (۲۰۲۲) گزارش نمودند دو گونهٔ تاغ و سوف در دو عمق مورد بررسی تأثیر معنی‌داری بر ترسیب کربن داشته‌اند. آن‌ها گزارش نمودند ترسیب کربن بیشتر در عمق سطحی خاک رخ داده است؛ اما نتایج این مطالعه نشان داد هیچ‌گونه ارتباط معنی‌داری بین درصد کربن آلی خاک در دو لایهٔ سطحی و زیرسطحی رویشگاه و ترکیب شیمیایی گیاه کافوری وجود نداشت. دلایل متعددی می‌تواند ناهمبستگی مقادیر کربن آلی در خاک و گیاه کافوری را توضیح دهد. درحالی‌که *Camphorosma monspeliaca* L. یک گونهٔ غالب در منطقهٔ مورد مطالعه است، سایر گونه‌های گیاهی همراه می‌توانند بر رابطهٔ کلی بین خواص شیمیایی خاک و میزان کربن و نیتروژن گیاه تأثیر بگذارد. گونه‌های مختلف گیاهی دارای استراتژی‌های مختلف جذب عناصر غذایی هستند و سهم متفاوتی در میزان مادهٔ آلی خاک دارند. گروه‌های عملکردی گیاهی نیز ازجمله عواملی است که تغییرات کربن آلی خاک را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، احتمالاً نفوذ ریشهٔ گیاه کافوری به‌منظور دسترسی به منابع آب در منطقهٔ خشک قهاوند در لایه‌های پایین‌تر خاک تغییرات معنی‌داری ایجاد کرده که در این مطالعه بررسی نشده است. همچنین، عوامل محیطی مانند بارش، دما و فشار چرا می‌تواند بر خواص شیمیایی خاک و رشد اندام هوایی و زیرزمینی گیاه تأثیر گذاشته باشد. مقیاس زمانی و تکرار نمونه‌برداری در فواصل زمانی مشخص نیز می‌تواند پویایی رابطهٔ خواص شیمیایی خاک و محتوای کربن و نیتروژن گیاه را نمایان سازد. درخشان و همکاران (۲۰۲۲) اقدام به مقایسهٔ ترسیب کربن خاک و گیاه در دو کاربری مرتع و زراعی در دو عمق ۰-۱۵ سانتی‌متر و ۱۵-۳۰

1. Rice

سانتی‌متر انجام و ترسیب کربن در تودهٔ گیاهی و خاک بین مرتع و زمین زراعی را مقایسه کردند. آن‌ها گزارش دادند مجموع ترسیب کربن در اکوسیستم مرتعی (۵۹۴۷۱ کیلوگرم در هکتار) بیشتر از ترسیب کربن در اراضی زراعی (۵۳۳۱۴ کیلوگرم در هکتار) بود. تسما و همکاران (۲۰۲۰) ذخایر کربن آلی خاک سطحی (۰–۳۰ سانتی‌متر) در علفزارهای شرق آفریقا را از ۳ تا ۹۳ مگاتن کربن در هکتار گزارش کردند؛ درحالی‌که نرخ جذب کربن آلی خاک از ۰/۱ تا ۳/۱ مگاتن کربن در هکتار تحت استراتژی‌های مدیریتی مختلف متغیر است. احمدی و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند پتانسیل ترسیب کربن دو گونهٔ تاغ و سوف در دو عمق ۰–۱۵ و ۱۵–۳۰ سانتی‌متر تغییرات معنی‌داری داشته و بیشترین مقدار ذخیرهٔ کربن آلی در عمق سطحی خاک رخ داده است. امیری (۲۰۱۷) میزان ذخیرهٔ کربن آلی خاک در رویشگاه *Halocnemum strobilaceum* در مراتع ساحلی بوشهر در عمق ۳۰–۵۰ سانتی‌متری را بیشتر از لایهٔ سطحی ۰–۳۰ سانتی‌متر برآورد کرد و ترسیب کربن منطقه را معادل ۱۵۳۸۰۰ تن در هکتار تخمین زد. عوامل متعددی در میزان ذخیرهٔ کربن خاک و تغییرات عمقی آن مؤثر است. شرایط اقلیمی، نوع گونهٔ گیاهی، خصوصیات خاک، نوع مدیریت مرتع و سایر خصوصیات محیطی ازجمله عوامل مؤثر بر تغییرات ترسیب کربن در مراتع هستند. پرویزی و همکاران (۲۰۱۸) اقدام به تعیین ظرفیت ترسیب کربن در روش‌های مختلف مرتع‌کاری نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که عملیات مرتع‌کاری در مناطق جنگل‌های نیمه‌خشک واقع در دامنه‌های زاگرس مرکزی بیشترین ظرفیت ترسیب کربن را نشان دادند. حسنوند و همکاران (۲۰۲۰) ترسیب کربن توسط گونه‌های غالب (*Artemisia sieberi*, *Onobrychys cornuta*, *Stachys inflata*, *Stipa hohenakeriana*) و خاک تحت تأثیر زیرتاج این گونه‌ها را بررسی و گزارش کردند گونهٔ *Artemisia sieberi* دارای بالاترین میزان ترسیب کربن و گونهٔ *Stipa hohenackerian* کمترین میزان ترسیب کربن در بیوماس خود را داشتند. رس، سیلت، توان حفظ رطوبت، اسیدیته و هدایت الکتریکی بر میزان ذخیرهٔ کربن در خاک اثرگذار است. با توجه به اینکه رطوبت کافی در خاک و نوع بافت خاکی که توانایی حفظ رطوبت داشته باشد، منجر به افزایش فعالیت‌های میکروبی در خاک می‌گردد و ترسیب کربن را افزایش می‌دهد (هریک[1] و همکاران، ۲۰۱۸)، در این پژوهش به‌دلیل نوع ریشه و فعالیت‌های گونهٔ کامفروزما اثر معناداری در منطقهٔ مورد مطالعه مشاهده نشد. بالا بودن میزان ذرات ریز خاک نظیر رس و سیلت که در اکثر خاک‌های تکامل‌یافته اتفاق می‌افتد، در حفظ و تثبیت کربن آلی نقش و اهمیت دارد. بافت ریز، نسبت به خاک‌های درشت‌دانه، پتانسیل بیشتری در ترسیب کربن و ذخیرهٔ آن به‌صورت بلندمدت دارند؛ ازطرفی عواملی دیگر نظیر تنفس بالا در خاک‌های شنی منجر به مقادیر کم کربن در مقایسه با خاک‌های با بافت سنگین می‌شوند (پولیدو[2] و همکاران، ۲۰۱۳) با توجه به اینکه اکثر خاک منطقه بافت لوم شنی دارند، میزان تأثیر گونه‌های مرتعی بر میزان ترسیب کربن در این منطقه بعید به نظر می‌رسد.

در اکثر مطالعات بررسی‌شده نیز مشخص شد میزان ترسیب کربن توسط گونه‌های مرتعی اثر مثبتی داشته است؛ اما در پژوهش حاضر نتایج معنی‌داری از همبستگی خطی قوی بین کربن آلی خاک سطحی و زیرسطحی با کربن آلی گیاه غالب منطقه با فرم رویشی بوته‌ای مشاهده نشد. در سایر مطالعات مشخص شده است که عمق و بافت خاک تأثیر مستقیم روی کربن آلی و غیرآلی خاک در عمق‌های مختلف دارد که در این بین بافت خاک اهمیت بیشتری داشته است (مک‌کنا و همکاران، ۲۰۲۲). شایان ذکر است اهمیت برهم‌کنش بین عوامل متعدد در پیش‌بینی ذخایر کربن خاک حائز اهمیت است و کربن معدنی می‌تواند یک مخزن قابل توجه در خاک‌های مراتع باشند.

برآورد کربن آلی ذخیره‌شده در منطقهٔ یکله دشت قهاوند نشان می‌دهد میزان ۹۰۹ کیلوگرم در هکتار کربن آلی ترسیب‌شده در ۵۰ سانتی‌متر خاک سطحی رویشگاه ذخیره شده است که در مقایسه با سایر مطالعات میزان قابل توجهی

1. Herrick
2. Pulido

نیست. پایین بودن میزان ترسیب کربن خاک در این منطقه نشانگر فرسایش، فقر پوشش گیاهی و روند بیابانی شدن منطقهٔ مورد مطالعه است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد عوامل عمدهٔ ترسیب کربن منطقه، پارامترهایی غیر از ترکیبات شیمیایی گونهٔ غالب منطقه و خصوصیات شاخص فیزیکوشیمیایی خاک منطقه است که می‌توان ناشی از اثرات گونه‌های مرتعی همراه و سایر عوامل محیطی دانست. لذا پیشنهاد می‌شود علاوه‌بر افزایش حجم نمونه، ترسیب کربن سایر گونه‌های مرتعی منطقه مورد مطالعه و بررسی رابطهٔ ترسیب کربن و سایر پارامترهای خاک در عمق بیش از ۵۰ سانتی‌متری بررسی شود. همچنین به‌علت بافت لومی شنی و احتمال نفوذپذیری بالا و آبشویی کربن آلی محلول از لایهٔ ۵۰ سانتی‌متری خاک سطحی اندازه‌گیری کربن آلی محلول در لایه‌های عمیق‌تر توصیه می‌گردد.

سپاسگزاری

این اثر تحت حمایت دانشگاه ملایر، دانشکدهٔ منابع طبیعی و محیط‌زیست و اداره‌کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان همدان انجام شده است. نویسندگان مقاله از مسئولان مربوط سپاسگزاری می‌کنند.

منابع

1. Ahmadi, H., Hashmati, G., & Naseri, H.R., (2022). Carbon sequestration potential of soil in desert lands under the effect of two species, Tag and Sof (case study: Aran and Bidgol). *Desert Ecosystem Engineering*, *3*(5), 29-36.
2. Amiri, F., (2017). Investigating the carbon storage potential of the species Halocnemum strobilaceum in coastal pastures in the south of Bushehr province. *Pasture and desert research of Iran*, *24*(1), 193-204.
3. Badehian, Z., & Mansouri, M., (2017). Determine the amount of carbon sequestration in rangeland species (case study: *Atriplex canescens*). *Human & Environment*, *15*(4), 1-10.
4. Bender, S. F., Wagg, C., & van der Heijden, M. G., (2016). An underground revolution: biodiversity and soil ecological engineering for agricultural sustainability. *Trends in ecology & evolution*, *31*(6), 440-452.
5. Bigio, L., Navon, Y., Konsens, I., Lebrija-Trejos, E., Kigel, J., Sternberg, M., & Grünzweig, J. M., (2023). Increasing aridity reduces carbon sequestration in drylands by markedly lowering production but maintaining high rates of decomposition. *In EGU General Assembly Conference Abstracts* (pp. EGU-12941).
6. Büyük, G., Akça, E., Kume, T., & Nagano, T., (2020). Biomass effect on soil organic carbon in semi-arid continental conditions in central Turkey. *Polish Journal of Environmental Studies*, *29*(5), 3525-3533.
7. Conant, R. T., Cerri, C. E., Osborne, B. B., & Paustian, K., (2017). Grassland management impacts on soil carbon stocks: a new synthesis. *Ecological Applications*, *27*(2), 662-668.
8. Derakhshan, F., Abdi, N., Torangzar, H., & Ahmadi, A., (2022). Comparing Soil and Phytomass Carbon Sequestration in Two Land Uses: Rangeland and Cropland (Case Study: Mahallat, Galcheshmeh Region, Iran). *Journal of Rangeland Science*, *12*(1), 21-32.
9. Hassanvand, H., Azimi, M., Nik Nihad Qormakher, H., & Rahbar, G., (2019). Estimation of the ecosystem service of carbon sequestration by dominant species in Tilabad pastures, Golestan province. *Pasture*, *14*(4), 673-684.
10. Herrick, J. E., & Wander, M. M., (2018). Relationships between soil organic carbon and soil quality in cropped and rangeland soils: the importance of distribution, composition, and soil biological activity. *In Soil processes and the carbon cycle, CRC Press*, pp.405-425.
11. Ksiksi, T. S., Trueman, R., Abdelfattah, M., Mousa, M. T., Almarzouqi, A. Y., & Barahim, S. A., (2019). Above and belowground carbon pools are affected by dominant floral species in hyper-arid environments. *F1000Research*, *8*, 1043.
12. Khedri Gharibvand, H., Dayanti Tilki, Q., Masadaghi, M., & Sardari, M., (2018). Some ecological features of Camphorosma monspeliaca species in Doto-Tang Sayad habitat of Chaharmahal and Bakhtiari province. *Pasture and desert research of Iran*, *17*(4), 632-645.
13. Kohestani, N., Rostgar, Sh., Heydari, Q., Shatabi Joibari, Sh., & Amirnejad, H., (2021). Monitoring the spatial distribution of soil carbon sequestration during four decades of changes in the condition of pasture lands (case study: Noorroud watershed) Mazandaran province). *pasture*, *15*(2), 344-356.
14. Lorenz, K., & Lal, R., (2018). Carbon sequestration in grassland soils. *In Carbon sequestration in agricultural ecosystems*. Springer, Cham, pp. 175-209.
15. McKenna, M. D., Grams, S. E., Barasha, M.,

Antoninka, A. J., & Johnson, N. C., (2022). Organic and inorganic soil carbon in a semi-arid rangeland is primarily related to abiotic factors and not livestock grazing. *Geoderma*. 419, 115844.

16. Mirzaei, J., Seidi, F., Sobhan Ardakani, S., & Bazgir, M., (2014). Effects of native and exotic tree plantation on carbon sequestration at arid areas of Zagros region (Case study: Abgarm forest park, Dehloran). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, *21*(3), 506-516.
17. Mofidi Chelan, M., Shidai Kirkej, A., & Qureshi, R., (2021). Estimation of the economic value of carbon sequestration in a part of Incheh Barun salt marshes, Golestan province. *Marte*, *15*(2), 269-281.
18. Moghimi, J., (2005). *Introduction of some important pasture species suitable for the development and improvement of Iran's pastures - Aron Publications*. 669 p.
19. Muvengwi, J., Ndagurwa, H. G., & Nyenda, T., 2015. Enhanced soil nutrient concentrations beneath-canopy of savanna trees infected by mistletoes in a southern African savanna. *Journal of Arid Environments*, 116, 25-28.
20. Parvizi, Y., Qeytouri, M., Bayat, R., Shadmani, A., & Partovi, A., 2018. Carbon sequestration potential of different range planting practices in different geographical areas of the country. *Iranian Journal of Range and Desert Research, 25*(2), 310-323.
21. Pulido-Fernández, M., Schnabel, S., Lavado-Contador, J. F., Mellado, I. M., & Pérez, R. O., (2013). Soil organic matter of Iberian open woodland rangelands as influenced by vegetation cover and land management. *Catena*, 109, 13-24.
22. Ranjbari Karimian, J., Azarnivand, H., Tavali, A., Jafari, M., & Zare Chahoki, M., (2022). Comparison of soil carbon storage in two plant types Stipa barbata and Salsola rigida in Akhtarabad Shahryar region. *Desert ecosystem engineering*, *2*(3), 11-18.
23. Ribbons, R. R., Levy-Booth, D. J., Masse, J., Grayston, S. J., McDonald, M. A., Vesterdal, L., & Prescott, C. E., 2016. Linking microbial communities, functional genes and nitrogen-cycling processes in forest floors under four tree species. *Soil Biology and Biochemistry*, 103, 181-191.
24. Rice, C., (2000). Soil Organic C and N in Rangeland Soils under Elevation CO2 and Land management. Advances in Terrestrial Ecosystem Carbon Inventory, Measurements and Monitoring Conference in Raleigh, North Carolina, 3-5, October, 15-24. *Agriculture Resources*, 59, 491-505.
25. Rumpel, C., & Chabbi, A., (2019). Plant–Soil Interactions Control CNP Coupling and Decoupling Processes in Agroecosystems with Perennial Vegetation. In Agroecosystem Diversity. *Academic Press*, pp.3-13.
26. Tavakoli, H., (2016). Potential of carbon sequestration of Hammada salicornica vegetation type in desert areas (Case study: South Khorasan, Iran). *Journal of Rangeland Science*, *6*(1), 24-32.
27. Tessema, B., Sommer, R., Piikki, K., Söderström, M., Namirembe, S., Notenbaert, A., & Paul, B., (2020). Potential for soil organic carbon sequestration in grasslands in East African countries: A review. *Grassland Science*, *66*(3), 135-144.
28. Varamesh, S., Hosseini, S. M., Abdi, N., & Akbarinia, M. O. S. L. E. M., (2010). Increment of soil carbon sequestration due to forestation and its relation with some physical and chemical factors of soil. *Iranian Journal of Forest*, *2*(1), 25-35.
29. Walkley, A., & Black, A., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci*, 37, 29-38.
30. Wiesmeier, M., Urbanski, L., Hobley, E., Lang, B., von Lützow, M., Marin-Spiotta, E., & Kögel-Knabner, I., 2019. Soil organic carbon storage as a key function of soils-A review of drivers and indicators at various scales. *Geoderma*, 333, 149-162.
31. Yajuan, W., Meiying, L., Ji, W., Xiaohong, D., & Yanlong, H., 2022. The effects of vegetation communities on soil organic carbon stock in an enclosed desert-steppe region of northern China. *Soil Science and Plant Nutrition*, *68*(2), 284-294.

Investigating the Relationship between Soil and Plant Organic Carbon, *Camphorosma Monspeliaca L.*, and Some Chemical Parameters in Arid and Semi-Arid Rangelands of Ghahavand Plain

Behnaz Attaeian,[*1] Ali Taheri,[2] Bakhtiar Fattahi[3]

Received: 26/11/2023 Accepted: 20/07/2024

Extended Abstract

Introduction: Plant and soil conservation play a vital role in effective rangeland management, especially in dealing with the threats caused by climate change. On the other hand, there exists a complex interaction between soil and vegetation in rangeland ecosystems, neither of which is solely dependent on the other. Moreover, various natural factors, including climate change, aridity, desertification, and drought, may accelerate the degradation of rangelands, making the identification of such a relationship a necessity for evaluating the potential for carbon sequestration in arid and semi-arid landscapes. In this regard, as rangeland ecosystems in Qahavand plain, Hamadan, have been influenced by drought and desertification, this study sought to examine the relationship between soil parameters and the key species of the Qahavand rangeland, that is, Camphorosma Monspeliaca L. , concentrating on the storage of organic carbon.

Materials and Methods: to collect soil and plant samples from the study area during the mid-growing season, three transects and eleven plots were selected using a systematic randomized sampling method. The positions of the transects were chosen based on the overall slopes of the area, and the plots were selected randomly along each transect using Google Earth software and GPS. Moreover, soil samples were taken from depths of 0-15 and 15-50 cm, which were then transferred to the laboratory for analysis. In this regard, a total of twenty-two soil samples and eleven aerial biomass samples were collected for further chemical analysis so that changes in soil and plant properties can be studied. Finally, various parameters such as soil and plant organic carbon, soil texture, pH, EC, bulk density, total nitrogen, nitrate, and ammonium were measured, followed by the performance of statistical analysis and linear correlation using SAS v.9.4 software.

Results and Discussion: Changes in the organic carbon content and their relationship with other parameters were investigated in the areas covered by Camphorosma Monspeliaca L. The results revealed no significant changes in organic carbon, acidity, total nitrogen content, nitrate, and ammonium at depths of 0-15 cm and 15-50 cm ($P>0.05$). Therefore, it can be argued that the presence of Camphorosma Monspeliaca L. species does not exert a significant influence on those parameters in surface and subsurface soils. On the other hand, notable changes were found in clay percentage and specific bulk density at both soil depths mentioned above. Moreover, Pearson's linear correlation analysis between soil parameters and organic carbon content indicated that except for silt percentage ($p>0.05$), there was no strong and significant relationship between the two. Generally, changes in soil organic carbon content, acidity, clay percentage, sand percentage, total nitrogen percentage, nitrate, and ammonium were found to have been aligned in the same direction. However, the organic carbon content showed an inverse relationship with other parameters. Therefore, it could be argued that except for silt percentage ($r=-0.41$, $p \leq 0.05$), there was no significant correlation between soil organic carbon and the other parameters.

1. Nature Engineering Department, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer
2. Nature Engineering Department, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer
3. Nature Engineering Department, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer

DOI: 10.22052/DEEJ.2024.253756.1029

While variations in soil organic carbon were generally expected to be found within the 0-50 cm depth, no significant changes were reported within the study area in this regard. In other words, the analysis of changes in soil organic carbon and linear correlations did not show any substantial difference in the organic carbon content between the surface and subsurface layers of the soil covered by *Camphorosma Monspeliaca* L, indicating that no significant alteration has occurred in soil organic carbon storage within the 0-50 cm depth of Qahavand rangelands which is dominantly covered by *Camphorosma Mmonspeliaca* L. The phenomenon could be attributed to the plant's morphology and root growth patterns, considering the fact that *Camphorosma Monspeliaca* L. is characterized by a deep robust root system that can extend up to a depth of six meters and cover an area of 60-70 cm, contingent upon the groundwater depth. Furthermore, the absence of noticeable changes in other key properties of both surface and subsurface soil may also be related to such a phenomenon.

Additionally, no significant correlation was found between the organic carbon storage in surface and subsurface layers of the soil and the plant's organic carbon. It should be noted that interactions among numerous factors play a crucial role in predicting soil carbon reservoirs and that inorganic carbon could potentially constitute a significant reservoir in Qahavand rangeland soils. Accordingly, it is recommended that a broader range of physical and chemical properties of both the soil and *Camphorosma Monspeliaca* L. be monitored to gain a comprehensive understanding of soil carbon sequestration within the region. Based on the average soil organic carbon content and soil bulk density, estimations suggest that the potential for soil organic carbon sequestration within the 0-50 cm depth of Qahavand rangelands approaches 90.9 tons per hectare.

Keywords: Carbon Sequestration, Qahavand Plain, *Camphorosma Monspeliaca* L., Soil Organic Carbon.