

## بررسی تغییرات کربن آلی خاک و اعتبار سنجی مدل Roth C جهت برآورد آن در مناطق کوهستانی

زینب اقبالیان<sup>۱</sup>، بهنار عطائیان\*<sup>۲</sup>، و یحیی پرویزی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۲۸

### چکیده

کربن آلی خاک در اکوسیستم های خشکی مهم ترین جزء چرخه جهانی کربن محسوب می شود که در رابطه با کنترل چالش های مربوط به گرمایش زمین نقش عمده ای ایفا می کند. جهت مطالعه و بکارگیری روش های کاربردی و کنترل انتشار این گاز بهره گیری از مدل های مطالعاتی همچون RothC اهمیت فراوانی دارد. در مطالعه حاضر در حوضه سرفیروز آباد استان کرمانشاه، از مدل ROTH C26-3 (ROTH) برای شبیه سازی تغییرات کربن آلی در خاک استفاده شد. در نهایت صحت مدل سازی نشان داد که مقدار RMSE برای منطقه مورد نظر کمتر از ۰/۱۱ و همچنین MBI 0 به ۰/۰۵ رسیده است که سبب شده فاکتور کارکرد مدل ۰/۹۶- باشد و دقت بالای مدل RothC در این منطقه کوهستانی مورد تأکید قرار گیرد. همچنین بیشترین جز HUM و کمترین جز به DPM اختصاص دارد. میزان متوسط ذخیره کربن در زراعت برابر با حدود ۵۲/۷۲ تن در هکتار و متوسط CO<sub>2</sub> خارج شده نیز حدود ۱/۴ تن در هکتار می باشد که تقریباً حدود ۲/۶۵ درصد از میزان کربن ذخیره شده در این سال به صورت CO<sub>2</sub> از خاک خارج شده است. میزان متوسط ذخیره کربن در مدیریت مراتع برابر با حدود ۵۳/۲۰ تن در هکتار و متوسط CO<sub>2</sub> خارج شده نیز حدود ۱/۲۸ تن در هکتار می باشد که تقریباً حدود ۲/۴۰ درصد از میزان کربن ذخیره شده در این سال به صورت CO<sub>2</sub> از خاک خارج شده است.

واژه های کلیدی: کربن آلی، ترسیب کربن، ارزیابی صحت، RothC، سرفیروزآباد.

<sup>۱</sup> دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.

<sup>۲</sup> استادیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. (نویسنده مسئول مکاتبات: attaeian94@gmail.com)

<sup>۳</sup> دانشیار، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، ایران.

## مقدمه

تغییر اقلیم با تأثیر بر رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک و همچنین عناصر غذایی، بر پوشش گیاهی و ترکیب گونه‌ها اثر می‌گذارد (۸) و به دلیل تغییر در زی‌توده گیاهی (لاشبرگ، زی‌توده هوایی و زیرزمینی) به نظر می‌رسد بر ذخیره کربن آلی و در نتیجه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نیز اثرگذار است (۱۷). در سال‌های اخیر و توجه به ماده آلی خاک در رابطه با ترسیب کربن افزایش یافته (۱۳) و دستیابی به افزایش ترسیب کربن خاک به‌عنوان روش مناسبی برای کاهش تراکم CO<sub>2</sub> اتمسفری در مجامع علمی و سیاسی جهان مطرح شده است افزایش تراکم دی اکسید کربن از طریق جذب طول موج‌های بازتابی، باعث افزایش گرمایش جهانی و در نتیجه تغییر اقلیم می‌گردد (۴). به‌منظور کاهش میزان دی‌اکسیدکربن، استفاده از روش‌های بیولوژیک جذب کربن شامل زی‌توده گیاهی و خاک تحت آن، به‌عنوان بهترین و عملی‌ترین راهکار، پیشنهاد شده است. ترسیب کربن فتوسنتزی راهکاری بیولوژیک به‌منظور تعدیل تغییرات اقلیمی می‌باشد که منتج به کاهش دی اکسیدکربن اتمسفری، ایجاد تعادل در غلظت گازهای گلخانه‌ای و پایداری اکوسیستم‌های طبیعی خواهد شد. جذب کربن بوسیله پوشش گیاهی و ذخیره‌سازی آن در خاک تحت پوشش به‌عنوان فرآیند ترسیب کربن<sup>۱</sup> شناخته می‌شود که علاوه بر مقرون به صرفه بودن آن نسبت به روش‌های مکانیکی، از مزایای جانبی دیگر مانند افزایش حاصلخیزی خاک و کنترل فرسایش خاک نیز برخوردار است (۱۷). ترسیب کربن راهکاری بیولوژیک به‌منظور مقابله با پدیده تغییر اقلیم می‌باشد که منتج به کاهش دی‌اکسیدکربن جو، ایجاد تعادل در غلظت گازهای گلخانه‌ای و پایداری اکوسیستم‌های طبیعی خواهد شد. جذب کربن بوسیله پوشش گیاهی و ذخیره‌سازی آن در خاک تحت پوشش به‌عنوان فرآیند ترسیب کربن شناخته می‌شود که علاوه بر ارزان قیمت بودن آن نسبت به روش‌های مکانیکی از مزایای جانبی دیگر مانند افزایش حاصلخیزی خاک نیز برخوردار است (۲۵). روش‌های متعددی جهت برآورد کربن آلی خاک و روند تغییرات آن پیشنهاد شده است که به دو روش میدانی و مدلسازی تفکیک می‌گردند. که هر یک با توجه به اهداف، شرایط منطقه، بودجه مورد نیاز، امکانات و زمان مورد استفاده قرار می‌گیرد. از جمله رایج‌ترین مدل‌های موجود در بررسی تغییرات پتانسیل ترسیب کربن می‌توان از مدل‌های RothC، Invest و Century نام برد. مدل Rothamsted Carbon Model (RothC) یکی از پرکاربردترین مدل‌های مطالعات در بحث ترسیب کربن آلی اکوسیستم‌های طبیعی و کشاورزی می‌باشد. این مدل در ابتدا به منظور بررسی تغییرات کربن آلی خاک‌های کشاورزی ساخته و سپس در طیف وسیعی از خاک‌ها و شرایط اقلیمی در غرب و مرکز اروپا مورد مطالعه قرار گرفته است (۱۰). در پژوهشی به مطالعاتی در خصوص تعیین اعتبار مدل Roth C جهت برآورد توان ترسیب کربن خاک بوم‌نظامی بازسازی شده در شرایط اقلیمی متفاوت پرداخته شد. نتایج حاصل از این مطالعات نشان داد که مدل مذکور قابلیت استفاده در بوم نظام‌های نواحی گرم و خشک را دارد و می‌تواند تغییرات کربن آلی خاک را در طی زمان به خوبی

برآورد نماید (۱۰). پژوهش‌هایی در مراتع استان کرمانشاه با هدف بررسی تأثیر ۵ ساله مدیریت‌های متداول مرتعی (حفاظت‌شده، چرای مفرط، مرتع آتش‌سوزی شده، مرتع تبدیل‌شده به باغات و زراعت دیم) بر کربن‌آلی خاک انجام دادند. نتایج حاصل از این پژوهش‌ها مشخص نمود که مدیریت‌های یاد شده تأثیر معناداری بر مقدار کربن‌آلی خاک دارند (۱۱).

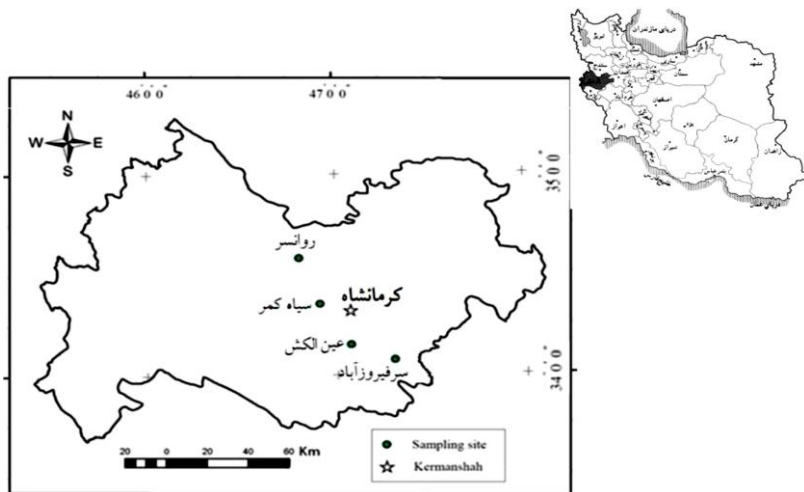
در مطالعه‌ای با هدف بررسی تأثیر مدیریت قرق بر میزان و تغییرات ترسیب و مدیریت کربن خاک و با دیدگاه اقتصادی در برخی خاک‌های مراتع دشت پنتی ایزه و منطقه دیمه رامهرمز در استان خوزستان پرداختند. نتایج نشان داد که برآورد ارزش اقتصادی ترسیب کربن طی قرق در مراتع مطالعاتی بسیار قابل توجه بوده و موجب افزایش ۱۷ و ۱۲/۷ درصدی ارزش ترسیب کربن در منطقه ایزه و رامهرمز گردیده است (۱۹). در نتایج تجزیه و تحلیل آماری مطالعه‌ای با هدف برآورد ظرفیت ترسیب کربن در مزارع نیشکر مطالعه موردی: کشت و صنعت شهرستان اهواز، بیان شد که درصد رس، میزان پتاسیم و درصد سیلت خاک به ترتیب از مهم‌ترین اجزای تأثیرگذار بر ترسیب کربن خاک می‌باشند (۳). در مطالعه‌ای به کاربرد مدل RothC در شبیه‌سازی اثر تغییرات اقلیمی بر انتشار کربن دی‌اکسید و ذخایر کربن آلی خاک اقلیم نیمه خشک خراسان رضوی پرداخته شد. مدل‌سازی تغییرات اقلیمی تا پایان قرن جاری با اعمال افزایش دما و کاهش بارندگی انجام شد که نتایج بیانگر کاهش همه ذخایر کربن فعال مدل بود، چنان‌که مخازن مواد گیاهی تجزیه‌پذیر، مواد گیاهی مقاوم، زیست‌توده میکروبی، مواد آلی هوموسی شده و کل کربن آلی خاک به ترتیب معادل ۲/۴۱، ۲/۷۲، ۲/۵۱، ۱/۰۴ و ۱/۳۲ درصد نسبت به شرایط عدم وقوع تغییرات اقلیمی کاهش و میزان انتشار تجمعی کربن دی‌اکسید از خاک، ۱/۲۶ درصد افزایش نشان داد. افزایش دما باعث افزایش ضریب تصحیح دما (a) به میزان ۲/۲۰ درصد شد که منجر به افزایش سرعت تجزیه کربن آلی و تلفات کربن به شکل کربن دی‌اکسید شده است؛ اگرچه باعث افزایش تولید خالص اولیه بوم‌نظام نیز گردید. کاهش بارندگی و افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل نیز باعث کاهش ضریب تصحیح رطوبت (b) به میزان ۰/۲۳ درصد شد؛ این فرآیند از یک سو با کاهش فعالیت ریزجانداران موجب کاهش تجزیه زیستی کربن و انتشار کربن دی‌اکسید از خاک شده است؛ اما از سوی دیگر موجب کاهش درصد پوشش گیاهی و پیرو آن به دام انداختن کربن دی‌اکسید طی فرایند فتوسنتز و انتقال آن به خاک می‌گردد (۵). از آنجاکه روند تخریبی مراتع و تغییرات آب و هوایی تغییرات محسوسی را در پوشش گیاهی و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک ایجاد کرده است، مطالعه حاضر با هدف تعیین اعتبار مدل Rothamsted Carbon (RothC Model) در برآورد تغییرات ذخیره کربن‌آلی در مراتع کوهستانی حوضه سرفیروز آباد استان کرمانشاه، انجام می‌گردد و سپس در صورت موفقیت، شبیه‌سازی پتانسل ترسیب-کربن با استفاده از مدل RothC در دیگر مراتع کوهستانی پیشنهاد خواهد شد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

پژوهش حاضر با هدف بررسی برآورد پتانسیل ترسیب کربن در مراتع ییلاقی و کوهستانی همچنین بوته‌زارهای استان کرمانشاه به مساحت ۲۴۶۲۲ کیلومتر مربع در ضلع غربی کشور و در محدوده ۳۲

درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی انجام شد (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

### روش تحقیق

#### روش نمونه برداری و تجزیه تحلیل آزمایشگاهی

جهت برآورد میزان ذخیره کربن آلی در عمق ۰-۲۰ سانتی متری خاک مراتع مورد مطالعه، ۴۴ نمونه خاک در آبان ماه ۱۳۹۶ برداشت گردید. چروش نمونه برداری تصادفی-سیستماتیک و نقاط نمونه-برداری منطبق با اندازه گیری های انجام شده در مطالعات سال های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۸ (۲۰) و ۱۳۹۱ (۱۲) قرار داشته است که شامل دو کاربری کشاورزی و مرتع می باشد. سپس نمونه ها کدگذاری و جهت آنالیز و اندازه گیری خصوصیات خاک به آزمایشگاه مرکز تحقیقات منابع طبیعی و کشاورزی استان کرمانشاه منتقل می گردد. پارامترهای کربن آلی به روش والکلی-بلک، بافت خاک بروش هیدرومتری، درصد آهک، جرم مخصوص ظاهری، درصد اشباع خاک و درصد سنگریزه اندازه گیری شدند.

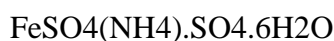
#### اندازه گیری کربن آلی

روش مورد استفاده در این اندازه گیری روش والکلی-بلاک می باشد که خاک را با اسد سولفوریک غلیظ و بی کرومات مجاور کرده بعد از اتمام واکنش اکسیداسیون و احیا زیادی بی کرومات باقیمانده با فروآمونیم سولفات تیترو می گردد.

الف: محلول های لازم

(۱) بی کرومات پتاسیم یک نرمال: مقدار ۴۹/۰۴ گرم بی کرومات پتاسیم (اگر بی کرومات حاوی کلوخه باشد باید قبل از توزین خرد و در حرارت ۲۰۰ تا ۱۵۰ درجه سانتی گراد به مدت سه ساعت خشک گردد) را دقیقا با ترازوی حساس توزین و پس از حل نمودن در بالن ژوژه حجم آن را به یک لیتر رسید.

(۲) اسید سولفوریک غلیظ ۹۶ درصد



(۳) فرو آمونیوم سولفات ۰/۵ نرمال

مقدار ۱۹۶/۰۸ گرم فروآمونیم سولفات را توزین در بالن یک لیتری حل نمایید. مقدار ۱۵ میلی-

لیتر اسید سولفوریک غلیظ به آن اضافه و پس از سرد شدن به حجم یک لیتر رسید.

(۴) معرف ارتوفنانترولین فرو ۰/۰۲۵ مولکول گرم در لیتر

مقدار ۱۴/۸۵ گرم ارتوفنانترولین مونو هیدرات را وزن و ۶/۹۵ گرم سولفات فرو  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  به آن اضافه بعد از حل شدن حجم بالن را به یک لیتر رسید.

ب-روش کار: مقدار ۵ تا ۱۰ گرم خاک کاملاً کوبیده و از الک ۰/۵ میلی متری عبور می دهیم به طوری که تمام خاک از الک رد شود (فقط ذرات شن درشت تر از ۰/۵ میلی متر روی الک بماند) در این مرحله برای کوبیدن هاون فولادی یا آهنی استفاده نشود. باید از هاون جنس چینی یا عقیق استفاده شود. به این ترتیب که یک گرم خاک را (اگر میزان کربن آلی از ۲/۵ درصد بیشتر باشد، خاک کمتری باید توزین شود) در بالن ۵۰۰ میلی لیتر ریخته و به آن ده میلی لیتر کرومات پتاسیم یک نرمال اضافه و به آرامی تکان دهید تا ذرات در محلول پراکنده شود. ۲۰ میلی لیتر اسد سولفوریک غلیظ را خیلی سریع به طور مستقیم به محلول اضافه بلافاصله به آرامی تکان داده تا خاک با مواد مخلوط و به مدت یک دقیقه تکان داده و بگذارید به مدت نیم ساعت به حال خود بماند. سپس ۲۵۰ میلی لیتر آب مقطر اضافه کنید و بعد از سرد شدن ده قطره ارتوفنانترولین اضافه و با فرو آمونیوم سولفات تیترا نمایید. به محض اینکه محلول به رنگ سبز لجنی درآمد تیترا را قطع کرده و حجم معرفی فرو آمونیوم سولفات را بدست می آورید. همیشه در اندازه گیری کربن آلی از نمونه شاهدیا blank استفاده کنید.

#### اندازه گیری بافت خاک

به طور کلی دو نوع بافت سبک و بافت سنگین وجود دارد، در بافت سبک ذرات تشکیل دهنده این نوع خاک درشت هستند و فاصله بین آنها زیاد است. چسبندگی بین آنها کم و گاه در حد صفر است. در بافت سنگین دقیقاً نقطه مقابل بافت سبک است. ذراتی بسیار ریز با فاصله خیلی کم گاه در حد صفر و چسبندگی بین آنها زیاد می باشد. خاک های رسی در این کلاس قرار می گیرند. بافت خاک توسط سه پارامتر ماسه<sup>۱</sup>، سیلت<sup>۲</sup>، رس<sup>۳</sup> که هر کدام یکی از اضلاع مثلث بافت خاک را تشکیل می دهد.

روش کار: ۵۰ گرم خاک نرم خشک شده در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد را با ترازو وزن می کنیم و در داخل ارلن ریخته و ۵۰ سی سی محلول کالگون ۵ درصد و حدود ۳۰۰ سی سی آب مقطر به آن اضافه می کنیم سپس ارلن را به مدت ۲۴ ساعت روی شیکر افقی به هم می زنیم. سپس محتویات ارلن را در داخل استوانه ای یک لیتری می ریزیم و به طور کامل شستشو می دهیم تا که تمام ذرات خاک داخل ارلن شسته شوند و داخل استوانه بریزیم سپس استوانه را با آب به حجم یک لیتر می رسانیم سپس با همزن دستی به مدت یک دقیقه مخلوط را هم زده و همزمان با خارج کردن همزن کرنومتر را روشن نموده و هیدرومتر را به آرامی در داخل مخلوط (سوسپانسیون) شناور می کنیم. پس از-

۱- sand

۲- silt

۳- clay

۴۰ ثانیه اولین قرائت هیدرومتر را انجام می‌دهیم. در این مدت شن ته‌نشین شده و آنچه در مخلوط باقیمانده رس و سیلت می‌باشد. بنابراین قرائت اول هیدرومتر مقدار رس و سیلت را نشان می‌دهد. پس از تصحیح حرارتی و کالگن نوع بافت خاک مشخص می‌شود که بافت خاک حوضه مورد نظر از نوع سیلتی می‌باشد.

### ساختار مدل

مدل ROTH C26-3 بمنظور شبیه‌سازی تغییرات کربن آلی خاک ارائه شده است. با استفاده از این مدل می‌توان چگونگی تجزیه کربن آلی وارده در شرایط خاک، آب و هوا و کاربری مورد نظر و تأثیر نهایی آنها بر ذخیره کربن آلی خاک را بررسی کرد (۷ و ۲۲). در این مدل ذخیره مواد آلی خاک به به دو بخش اصلی فعال و غیرفعال و پنج جزء تفکیک شده است. بخش غیر فعال شامل ماده آلی بی اثر (IOM)<sup>۱</sup> و بخش فعال شامل ماده -گیاهی تجدیدپذیر (DPM)<sup>۲</sup>، ماده گیاهی مقاوم (RPM)<sup>۳</sup>، زیست-توده میکروبی (BIO)<sup>۴</sup> و مواد آلی هوموسی شده (HUM)<sup>۵</sup> است. دو جزء DPM و RPM مربوط به تجزیه بقایای گیاهی بوده و دو جز BIO و HUM مربوط به تجزیه مواد آلی خاک است (۱۸) که ضرایب تفکیکی مشخصی در مدل برای هر جزء تعریف شده است. ضرایب تصحیح دما a، رطوبت b، پوشش خاک c و ثابت سرعت تجزیه سالانه k در جدول (۱) خلاصه شده است (۷).

جدول ۱- ضرایب تصحیح دما a، رطوبت b، پوشش خاک c و ثابت سرعت تجزیه سالانه k

ضرایب	a	b	c	k
محاسبات	$\frac{47.9}{\left(1 + e^{\frac{106}{7m+18.3}}\right)}$	$b = 0.2 + (1.0 - 0.2) \times \frac{(\max.SMD - acc.SMD)}{(\max.SMD - 0.444\max.SMD)}$	$CS = 10000 \times \%SOC \times Bd \times d$	$Yt = Y(1 - e^{-abckct})$

ورود اطلاعات در این مدل در قالب دو فایل مجزا صورت می‌گیرد. یک فایل برای وارد نمودن اطلاعات خاک و آب و هوا و فایل دیگر برای اطلاعات مدیریتی زمین، استفاده می‌شود. در فایل آب و هوا، اطلاعات مربوط به متوسط دمای ماهانه، مجموع بارش ماهانه و مجموع تبخیر از هوای آزاد ماهانه و در نهایت میزان درصد رس خاک و عمق خاک وارد می‌شود. ایجاد یک فایل ورودی آب و هوا برای هر سایت نمونه‌برداری موردنیاز است. فایل ورودی مدیریتی زمین نیاز به جمع‌آوری و لحاظ داده‌های جزئی مربوط به برآورد کربن (مقدار بقایای گیاهی، کود دامی و حالت تناوب (شخم یا پوشیده از گیاه) دارد که بستگی به نوع پوشش گیاهی و کاربری زمین دارد. از آنجا که معمولاً اندازه‌گیری مقادیر ماده آلی به تفکیک DPM, RPM, BIO, HUM و IOM امکان پذیر نیست برآورد این مقادیر با استفاده از ضرایب تبیین شده در مدل و میزان کربن آلی خاک (SOC) انجام می‌شود. مدل RothC ویژگی‌هایی نظیر قابلیت یادگیری، قابلیت تعمیم، ساختار ساده (۱۸)، دسترسی آسان به اطلاعات،

۱- Inert Organic Matter

۲- Decomposable Plant Material

۳- Resistant Plant Material

۴- Microbial Biomass

۵- Humified Organic Matter

سهولت استفاده از مفروضات، تعداد کم پارامترهای مورد نیاز (۳۱) را دارد که امکان استفاده و اجرا برای یک منطقه وسیع با کارایی بالا (۲۶) را فراهم می‌سازد.

## مدلسازی

### کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل

اطلاعات خاک، اطلاعات کاربری و مدیریت اراضی و اطلاعات اقلیم و تعیین ضرایب مربوط به تصحیح دما، رطوبت و پوشش خاک با استفاده از مطالعات انجام شده در منطقه در سال‌های ۱۳۸۲، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۱ صورت گرفت. پارامترهای ورودی و ضرایب مدل تا رسیدن به نتایج مطلوب شبیه‌سازی شده اصلاح شده تا در نهایت مقادیر شبیه‌سازی شده حاصل از مدل با مقادیر اندازه‌گیری شده در سال‌های مذکور برابر گردد. این مرحله کمک خواهد کرد تا ضرایب تجزیه مناسب با منطقه مورد مطالعه و اکوسیستم‌های مرتعی کوهستانی در مدل به‌درستی محاسبه گردد.

جهت تعیین اعتبار مدل داده‌های پائیز ۱۳۹۶ مورد استفاده قرار گرفت.

سپس نتایج حاصل از مدلسازی با استفاده از پارامترهای ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای اریبی (MBE) و ضریب کارایی (EF) ارزیابی شد (Schrumpf et al., 2011; Khalil et al., 2013).

ریشه دوم میانگین مربع خطا (RMSE): در این تحقیق به دلیل استفاده از خطای نسبی، مقدار RMSE نسبت به متوسط مقدار اندازه‌گیری شده‌ها محاسبه شده است. این معیار به صورت زیر محاسبه شده و هر قدر به صفر نزدیکتر باشد، بیانگر خطای کمتر در فرایند مدلسازی است.

$$RMSE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - Q_i)^2}{n} \right]^{1/2} \times \frac{100}{Q} \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن: RMSE میانگین ریشه دوم خطا، n تعداد داده‌ها، i شاخص تعداد داده‌ها،  $Q_i$  مقدار اندازه‌گیری شده،  $P_i$  مقدار پیش‌بینی شده،  $\bar{Q}$  متوسط مقدار اندازه‌گیری شده است.

میانگین انحراف خطا (MBE): این متغیر در حقیقت اختلاف بین میانگین مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی است و بیانگر انحراف از میانگین است. این مقدار می‌تواند مثبت یا منفی باشد که نشان دهنده برآورد بیشتر (منفی) و یا کمتر (مثبت) از میانگین داده‌ها می‌باشد. این معیار نیز هر قدر به صفر نزدیکتر باشد، نشان دهنده اختلاف کمتر مقادیر برآورد شده نسبت به مقادیر مشاهده‌ای می‌باشد. در شرایطی که مقدار متغیر MBE برابر صفر باشد، مدل متغیر مورد نظر را به طور دقیق برآورد می‌کند.

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_o - Q_e)}{n} \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در آن: MBE میانگین خطای اریبی، n تعداد داده‌ها، i شاخص تعداد داده‌ها،  $Q_o$  مقدار مشاهده شده،  $Q_e$  مقدار پیش‌بینی شده می‌باشد.

کارایی مدل‌سازی (EF): این شاخص مقادیر برآورد شده را با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه می‌کند. حداکثر مقدار این آماره برابر یک است. مقدار منفی EF بیانگر این است که میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده برآوردی بهتر از مقادیر برآورد شده را دارد. چنانچه تمامی مقادیر برآوردی و اندازه‌گیری

شده برابر هم باشد، مقدار عددی این شاخص یک خواهد بود.

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2} \quad (\text{رابطه ۳})$$

که در آن: EF کارائی مدل سازی، n تعداد داده‌ها، i شاخص تعداد داده‌ها،  $Q_i$  مقدار اندازه‌گیری شده،  $P_i$  مقدار پیش‌بینی شده،  $\bar{Q}$  متوسط مقدار اندازه‌گیری را نشان می‌دهد.

### بررسی و تحلیل آماری داده‌ها

در این مطالعه بمنظور شناخت برخی پارامترهای مؤثر بر کربن آلی منطقه پس از بررسی نرمالیتی و همگنی واریانس داده‌های برداشت شده در سال ۱۳۹۶ توسط آزمون شاپیرو-ویلک و لون، از آزمون همبستگی و رگرسیون خطی در نرم‌افزار آماری SPSS ۷.۲۵ استفاده شد.

### نتایج

نتایج بیانگر مقدار متوسط کربن ذخیره در سطح مراتع منطقه حدود ۲/۰۵ درصد و در سطح کاربری کشاورزی حدود ۲/۱۳٪ می‌باشد که در کاربری کشاورزی پراکندگی و واریانس بالاتری نسبت به مراتع دیده می‌شود (جدول ۳).

جدول ۳- پارامترهای آماری کربن آلی خاک در کاربری‌های کشاورزی و مرتع منطقه مورد مطالعه

کشاورزی	مرتع		کشاورزی	استاندارد خطا
	آماره	استاندارد خطا		
۰/۲۹	۲/۰۵۹۸	۰/۱۳۰۹۱	۲/۱۳	۰/۲۹
۲/۰۹۵	۱/۹۸۰۰		۲/۰۹۵	
۱/۲۵	۰/۵۱۴		۱/۲۵	
۱/۱۲۲	۰/۷۱۷۰۲		۱/۱۲۲	
۰/۲۳	۰/۸۳		۰/۲۳	
۳/۴۹	۳/۵۵		۳/۴۹	
۳/۲۶	۲/۷۲		۳/۲۶	
۰/۵۹۷	۰/۳۱۷	0.833	-۰/۱۶۲	۰/۵۹۷
۱/۱۵۶۹	-۰/۷۴۵	0.29993	-۱/۶۲۳	۱/۱۵۶۹

سایر خصوصیات اندازه‌گیری شده در این مطالعه به تفکیک دو کاربری در جدول زیر خلاصه شده است. مقدار آهک در نقاط نمونه‌برداری نسبتاً بالا بوده و حدود ۲۴ درصد است. بافت خاک‌ها در اغلب نمونه‌ها سنگین و بافت رسی و رسی سیلتی بیشترین فراوانی را دارد. از سوی دیگر، سنگین بودن بافت، نشانه‌ای از مقادیر بالای درصد رطوبت اشباع با مقدار متوسط ۵۳,۵۷ درصد است. مقادیر سنگریزه سطحی متغیر و تقریباً میانگین ۳۳ تا ۳۷ درصد حجمی متغیر است (جدول ۴).



جدول ۴- پارامترهای آماری خصوصیات خاک در کاربری های کشاورزی و مرتع منطقه مورد مطالعه

کشاورزی	مرتع		
	استاندارد خطا	میانگین	استاندارد خطا
۰/۳۰	۲/۱۴	۰/۱۳	کربن ذخیره در خاک
۲/۶۷	۲۴/۳۵	۲/۷۸	درصد آهک
۲/۱۵	۵۳/۵۷	۰/۸۰	درصد رطوبت اشباع
۵/۰۴	۳۳/۵۷	۳/۳۶	درصد سنگ ریزه
۲/۷۳	۴۰/۷۴	۱/۳۶	رس
۲/۰۴	۳۶/۳۱	۰/۹۴	سیلت
۴/۲۸	۲۲/۹۶	۱/۳۳	شن

در منطقه مورد مطالعه، به دلیل سنگینی بافت خاک، با وجود سنگ ریزه و شن، شرایط فیزیکی خاک برای نفوذ بیشتر آب بهبود یافته است. در نتیجه، آب نفوذی افزایش، پوشش گیاهی بیشتر و تراکم تر و در نهایت، میزان ذخیره کربن آلی خاک افزایش یافته است.

نتایج حاصل از تحلیل همبستگی بین متغیرهای مورد بررسی و کربن آلی خاک در کاربری های کشاورزی و مرتع منطقه مورد مطالعه بیانگر اثر منفی و معنی دار بین آهک و ذخیره کربن خاک است ( $r = -0/41$ ) که نشان می دهد مقادیر بالای آهک، موجب کاهش فعالیت بیولوژیک و توسعه ذخایر کربن خاک می شود. آهک روی حلالیت و جذب عناصر غذایی و فعالیت های زیستی در خاک اثر منفی داشته به طوری که، وقتی میزان آهک از ۳۰ درصد بیشتر باشد، با افزایش آهک حاصلخیزی خاک و میزان رشد گیاه کمتر شده، در نتیجه ذخیره کربن آلی خاک کاهش می یابد. همچنین، سیلت نسبت به رس شرایط جذب و نگهداری آب و عناصر غذایی کمتری دارد. به عبارت دیگر، هر چه سیلت بیشتر باشد، میزان رس کمتر بوده و میزان حاصلخیزی خاک کمتر شده که باعث کاهش کربن آلی خاک می شود. همچنین، هر چه رطوبت اشباع بیشتر باشد، بدین معنی است که خاک آب بیشتری دریافت نموده که روی تراکم پوشش گیاهی و رشد ریشه اثر مثبت دارد. بنابراین، در درازمدت باعث افزایش ذخیره کربن آلی در خاک می شود. از سوی دیگر، وجود مقدار کم درصد شن در منطقه می تواند با قوام ساختمان خاک، شرایط بیولوژیک را برای توسعه ذخیره کربن مساعد نماید (جدول ۵). در این مطالعه مهمترین عامل مؤثر بر کاهش کربن آلی درصد آهک و بیشترین عامل در افزایش آن درصد رطوبت اشباع و سپس ارتفاع است.

جدول ۵- روابط همبستگی کربن آلی خاک با سایر خصوصیات خاک در منطقه مورد مطالعه

تبخیر	بارندگی	دما	رس	سیلت	شن	درصد سنگریزه	درصد اشباع	درصد آهک	شیب	ارتفاع	ذخیره کربن
۰/۲۵-	۰/۳۰	۰/۳۲-	**۰/۲۶	۰/۱۶	**۰/۲۴	*۰/۲۹-	**۰/۶۶	*۰/۴۱-	۰/۰۱	۰/۴۰	ذخیره کربن

### بررسی روابط خطی بین ذخیره کربن آلی و پارامترهای مورد بررسی

نتایج آنالیز رگرسیون گام به گام در جدول (۶) خلاصه شده است. معادله بدست آمده نشان می‌دهد متغیرهای درصد رطوبت اشباع و ارتفاع قابلیت پیش‌بینی کربن آلی خاک را با ضریب تبیین  $R^2 = 0/5$  دارند. مقدار آماره دوربین-واتسون که برابر  $2/20$  است نیز بیانگر اثر خودهمبستگی خود همبستگی داخلی بسیار پایین است.

جدول ۶- خلاصه نتایج آزمون رگرسیون خطی

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				Durbin-Watson	
					R Square Change	F Change	df1	df2		Sig. F Change
۱	<sup>a</sup> ۰/۶۵۹	۰/۴۳۵	۰/۴۲۱	۰/۶۴۹۴۰	۰/۴۳۵	۳۲/۳۰۳	۱	۴۲	۰/۰۰۰	
۲	<sup>b</sup> ۰/۷۰۹	۰/۵۰۳	۰/۴۷۸	۰/۶۱۶۴۹	۰/۰۶۸	۵/۶۰۵	۱	۴۱	۰/۰۲۳	۲/۱۹۵
a. Predictors: (Constant), S.P										
b. Predictors: (Constant), S.P, elevation										
c. Dependent Variable: O.C										

خلاصه نتایج آماره‌های مدل رگرسیونی در جدول زیر خلاصه شده است.

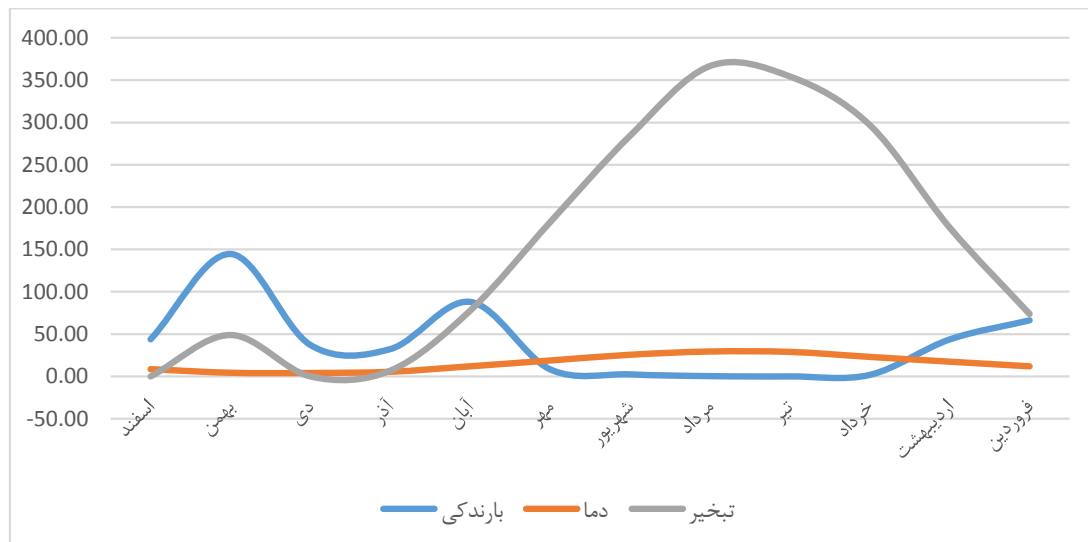
جدول ۷- آماره‌های مدل خطی رگرسیون

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	۰/۶۴۰۸	۳/۲۳۰۰	۲/۰۸۳۹	۰/۶۰۵۲۷	۴۴
Std. Predicted Value	۲/۳۸۴-	۱/۸۹۴	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰	۴۴
Standard Error of Predicted Value	۰/۰۹۳	۰/۲۸۸	۰/۱۵۳	۰/۰۴۹	۴۴
Adjusted Predicted Value	۰/۵۸۸۳	۲/۲۲۰۵	۲/۰۸۵۶	۰/۶۰۹۷۰	۴۴
Residual	۱/۳۴۷۰۱-	۱/۷۴۹۹۹	۰/۰۰۰۰۰	۰/۶۰۱۹۸	۴۴
Std. Residual	۲/۱۸۵-	۲/۸۳۹	۰/۰۰۰	۰/۹۷۶	۴۴
Stud. Residual	۲/۲۸۷-	۲/۹۸۶	-۰/۰۰۱	۱/۰۲۰	۴۴
Deleted Residual	۱/۴۷۵۷۰-	۱/۹۳۶۲۹	۰/۰۰۱۷۱-	۰/۶۵۷۹۹	۴۴
Stud. Deleted Residual	۲/۴۱۸-	۳/۳۳۴	۰/۰۰۳	۱/۰۵۸	۴۴
Mahal. Distance	۰/۰۰۶	۸/۴۱۳	۱/۹۵۵	۱/۹۸۹	۴۴
Cook's Distance	۰/۰۰۰	۰/۳۱۶	۰/۰۳۲	۰/۰۷۰	۴۴
Centered Leverage Value	۰/۰۰۰	۰/۱۹۶	۰/۰۴۵	۰/۰۴۶	۴۴

a. Dependent Variable: O.C

### کالیبراسیون مدل Roth C

داده‌های هواشناسی مستخرج از آمار ایستگاه‌های سینوپتیک استان کرمانشاه (شکل ۲) و همچنین داده‌های برداشت صحرائی طی مراحل زیر کالیبره گردید.



شکل ۲- اقلیم منطقه مورد مطالعه

### تعیین فاکتور کیفیت بقایا (DPM/RPM)

از مقدار پیش فرض مدل برای کاربری کشاورزی و مرتع یعنی ۱/۴۴ استفاده شد (جدول ۸).

### تعیین مقادیر بقایای گیاهی

برای تعیین مقادیر بقایای گیاهی، با وارد کردن داده‌های هواشناسی، مدیریت زمین، فاکتور کیفیت بقایا، مقدار کربن اندازه‌گیری شده در سال نمونه‌برداری مدل به طور معکوس اجرا شده و مقادیر بقایای گیاهی هر ماه به خاک برگشت داده می‌شود و محاسبه می‌شود (جدول ۸) لازم به ذکر است که مقادیر بقایای گیاهی بر اساس ماه‌های دارای پوشش، نوع مدیریت و مقدار کل کربن اندازه‌گیری شده در فایل زمین وارد شده و بعد از اجرای معکوس تصحیح گردید.

جدول ۸- ویژگی‌های کربن آلی در مدل

وزن ظاهری خاک	IOM	میانگین سالانه	کربن آلی خاک (تن در هکتار)	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	نوع کاربری
۱/۲۵	۴/۴۸	۳/۲۲	۵۲/۷۴	۱/۴۸	۰/۴۱۴	۰/۴۱۴	۰/۴۱۴	مرتع
۱/۲۲	۴/۳۶۳	۳/۱۴	۵۱/۴۹	۱/۸۹۱۴	۰/۶۳۶۹	۰/۴۲۴	۰/۱۹۳	کشاورزی

بعد از تعیین نسبت DPM/RPM و مقادیر بقایای گیاهی برگشتی خاک برای هر ماه، مدل به حالت (Equilibrium) اجرا گردید، تا مخزن کربن به حالت تعادل برسد و مقادیر کربن محاسبه شده به مقدار اندازه‌گیری شده نزدیک گردد و پارامترهای اعتبارسنجی محاسبه شود.

جدول ۹- ویژگی‌های کربن آلی در مدل

کشاورزی		مراغ												
D14C	-۹۳/۳۸	-۹۳/۶۱	-۹۳/۹۵	-۹۰/۹۷	-۸۷/۱۰۷	-۸۳/۷۱	-۷۸/۶۵	-۸۱/۶	-۸۳/۸۵	-۸۴/۷۵	-۸۵/۲۵	-۸۵/۴۵	-۸۶/۷۷۰	-۱۰۴/۱۳۴۰
CO2	۰/۰۰۵۳	۰/۱۰۹۵۶	۰/۳۸۳۸	۰/۴۴۵۳	۰/۵۹۰۸	۰/۸۶۶۱	۱/۳۰۲۲	۱/۷۶۲۳	۲/۰۲۵۶	۲/۵۰۳۸	۲/۶۵۵۴	۲/۷۲	۱/۳۸۵	۱۵/۴۱۶
TOTAL	۵۲/۳۱۴۵	۵۲/۱۸۴۳	۵۱/۹۹۶	۵۲/۳۶۴۶	۵۲/۸۴۹	۵۳/۲۳۳۸	۵۳/۸۹۷۷	۵۳/۳۳۷۵	۵۳/۰۷۴۳	۵۲/۵۹۶۱	۵۲/۴۴۴۴	۵۲/۳۷۹۹	۵۲/۱۰	۶۳۲/۶۸۲
HUM	۴۰/۴۷۶	۴۰/۴۶۱	۴۰/۴۳۷	۴۰/۴۳۹	۴۰/۴۲۶	۴۰/۴۳۶	۴۰/۴۵۵	۴۰/۴۹۸	۴۰/۵۰۷	۴۰/۴۹۹	۴۰/۴۸۸	۴۰/۴۸۲	۴۰/۴۶۶	۴۸۵/۵۹۲
BIO	۱/۰۶۸	۱/۰۵۶	۱/۰۳۶	۱/۰۲۹	۱/۰۲۷	۱/۰۳۶	۱/۰۵۳	۱/۰۹۰	۱/۰۹۸	۱/۰۸۹	۱/۰۷۹	۱/۰۷۴	۱/۰۶۱	۱۲/۷۳۳
RPM	۶/۳۵۸	۶/۳۷۳	۶/۱۴۴	۶/۳۷۷	۶/۴۷۲	۶/۶۵۸	۶/۹۷۱	۶/۸۳۶	۶/۷۴۹	۶/۵۲۷	۶/۴۳۹	۶/۴۰۰	۶/۵۰۹	۷۸/۱۰۴
DPM	۰/۰۴۹	۰/۰۳۱	۰/۰۱۶	۰/۳۶۶	۰/۵۶۱	۰/۷۵۰	۱/۰۵۵	۰/۵۵۰	۰/۳۵۸	۰/۱۱۸	۰/۰۷۵	۰/۰۶۱	۰/۳۲۴	۳/۸۹۰
D14C	-۹۴/۹	-۹۵/۱۴	-۰/۴۸۹۵	-۹۲/۳۷	-۸۸/۵۲	-۸۵/۲	-۸۰/۱۷	-۸۳/۱۲	-۸۴/۳۸	-۸۶/۲۹	-۸۶/۷۹	-۸۶/۹۹	-۸۸/۳۷۹۱	-۱۰۵۹/۳۵
CO2	۰/۰۰۵۸	۰/۱۰۹۶۹	۰/۳۸۶۵	۰/۴۴۸۳	۰/۵۹۷۲	۰/۸۷۵۷	۱/۳۱۴۳	۱/۷۷۶۹	۲/۰۴۱۵	۲/۵۲۲۴	۲/۶۷۵	۲/۷۴	۱/۳۹۵	۱۵/۵۴۱
TOTAL	۵۲/۷۸۶۴	۵۲/۶۵۵۳	۵۲/۴۶۵۷	۵۲/۸۵۳۹	۵۳/۳۳۵	۵۳/۷۲۶۵	۵۴/۳۷۷۹	۵۳/۸۱۵۳	۵۳/۵۵۰۷	۵۳/۰۶۹۸	۵۲/۹۱۷۲	۵۲/۸۵۲۲	۵۲/۸۱۰	۶۳۸/۴۰۶
HUM	40.773	۴۰/۷۵۸۵	۴۰/۷۳۴۳	۴۰/۷۲۵۸	۴۰/۷۲۳۳	۴۰/۷۳۳۴	۴۰/۷۵۲۸	۴۰/۷۹۵۳	۴۰/۸۰۵۱	۴۰/۷۹۶۲	۴۰/۷۸۵۲	۴۰/۷۷۹۴	۴۰/۷۶۴	۴۸۹/۱۶۲
BIO	۰/۰۰۷۵۷	۱/۰۶۳۱	۱/۰۴۳	۱/۰۳۶۱	۱/۰۳۴۵	۱/۰۴۴	۱/۰۶۱۳	۱/۰۹۸۱	۱/۱۰۵۵	۱/۰۹۶۹	۱/۰۸۶۷	۱/۰۸۱۵	۱/۰۶۹	۱۲/۸۲۶
RPM	۶/۴۰۴	۶/۳۱۷۹	۶/۱۸۸۲	۶/۳۹۹۵	۶/۵۲۳۲	۶/۷۰۸۸	۷/۰۲۱۳	۶/۸۸۵۵	۶/۷۹۷	۶/۵۷۴۲	۶/۴۸۵۶	۶/۴۴۵۷	۶/۵۵۷	۷۸/۶۸۱
DPM	۰/۰۴۹۳	۰/۰۳۱۴	۰/۰۱۵۷	۰/۱۸۷	۰/۵۶۹۴	۰/۷۵۵۷	۱/۰۵۸۱	۰/۵۵۱۹	۰/۳۵۸۶	۰/۱۱۸۱	۰/۰۷۵۱	۰/۰۶۱۱	۰/۳۲۷	۳/۹۲۲
	فروزدین	اردبیل	خرداد	تیر	مراد	شهریزور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	میانگین	جمع

خلاصه نتایج اعتبارسنجی در جدول (۱۰) خلاصه شده است.

جدول ۱۰- آماره های اعتبار سنجی مدل

سال	کربن اندازه گیری شده	کربن پیش بینی شده	خطای باقی مانده	میانگین خطا	RMSE	MBE	EF
۸۱	۵۰/۶۵	۵۰/۷۳	۰/۰۸-	۰/۰۰۶۴			
۸۸	۴۹/۱۷	۴۹/۱۱	۰/۰۶	۰/۰۰۲۶	۰/۱۱	۰/۰۵-	۰/۹۶-
۹۱	۵۰/۲۲	۵۰/۴۲	۰/۱۹۶۳-	۰/۰۳۸۵۳۴			

با توجه به پارامترهای خطا RMSE و MBE که اعدادی نزدیک به صفر برآورد شده اند و همچنین پارامتر کارایی مدل با مقدار  $0/96-$  می توان نتیجه گرفت مدل توانایی پیش بینی و برآورد مقادیر کربن در مناطق کوهستانی را دارد. همچنین در مقایسه با سایر مناطق این اعداد مقدار قابل قبولی را نشان می دهند. برآورد تغییرات کربن آلی خاک برای سیستم های مختلف کشت در غرب آفریقا، (۲۸) شبیه سازی را برای ۸ تناوب و سه سناریوی مختلف مدیریتی انجام دادند. در مدیریت آیش با دقت و صحت بالایی ( $RMSE = 0/001$ ) میزان کربن آلی خاک را شبیه سازی نمودند. نتایج حاکی از آن است که تغییر کاربری در کوتاه مدت اثر معنیداری بر جریان دی اکسید کربن از خاک ندارد و بازده مدل برای جریان دی اکسید کربن اندازه گیری شده سالانه در اراضی زراعی با خاک ورزی معمولی  $ME = 0/6$ ،  $6/1 = RMSE$ ،  $4/2 = MAE$  و در اراضی زراعی کم خاک ورزی  $ME = 0/23$ ،  $8/1 = RMSE$ ،  $9/2 = MAE$  محاسبه شده و کم برآورد هم بوده است.

در بررسی رابطه تغییرات مکانی ترسیب کربن خاک با عناصر اقلیمی دما و بارش در سال های اخیر (منطقه مطالعه حوضه آهنگران) محققین به این نتیجه رسیدند که ورودی های مدل شامل متغیرهای مستقل (اقلیمی با آمار ۲۵ ساله؛ بارندگی ماهانه، تبخیر و تعرق ماهانه، متوسط دمای هوا) و بافت خاک و پوشش گیاهی منطقه می باشد. خروجی مدل شامل کربن آلی خاک با چهار بخش فعال (IOM)، (DPM)، (RPM)، (BIO) و یک بخش جدا (HUM) بود که هر بخش بسته به ویژگی های خودش تجزیه می شود. در این پژوهش سه دوره زمانی نمونه برداری گردید که به ترتیب سال های ۱۳۸۰، ۱۳۸۹ و آخرین آمار در پاییز ۹۶ برداشت شده است. نهایتاً مدل RothC بعد از کالیبراسیون در دوره های برداشت ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۹ برای ۱۳۹۶ اجرا شد و مشخص شد پارامتر تغییرات آب و هوایی اثر شدیدی بر ذخیره کربن آلی دارد. بنابراین خطای RMSE برای مدل مورد نظر کمتر از  $0/11$  و همچنین MBI به  $0/05$  رسیده است که سبب شده فاکتور کارکرد مدل  $0/96-$  باشد و دقت بالای مدل RothC مورد تأکید قرار می گیرد. نتایج نشان می دهد که مقدار کربن کل ذخیره برای مراتع  $4/48$  تن در هکتار و این مقدار در کشاورزی سطح پایین تری دارد و به مقدار  $4/36$  تن در هکتار می رسد. در کل کلیه شاخص ها نشان دهنده اثر زراعت بر تضعیف ذخیره کربن در تمام مراحل دارد. (۱۵).

در بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر ذخیره کربن آلی خاک با استفاده از مدل RothC در اراضی زراعی استان گلستان خروجی مدل های 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 شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده 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 CO<sub>2</sub> 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 (۲۳).

### برآورد اجزای تشکیل دهنده ماده آلی خاک منطقه

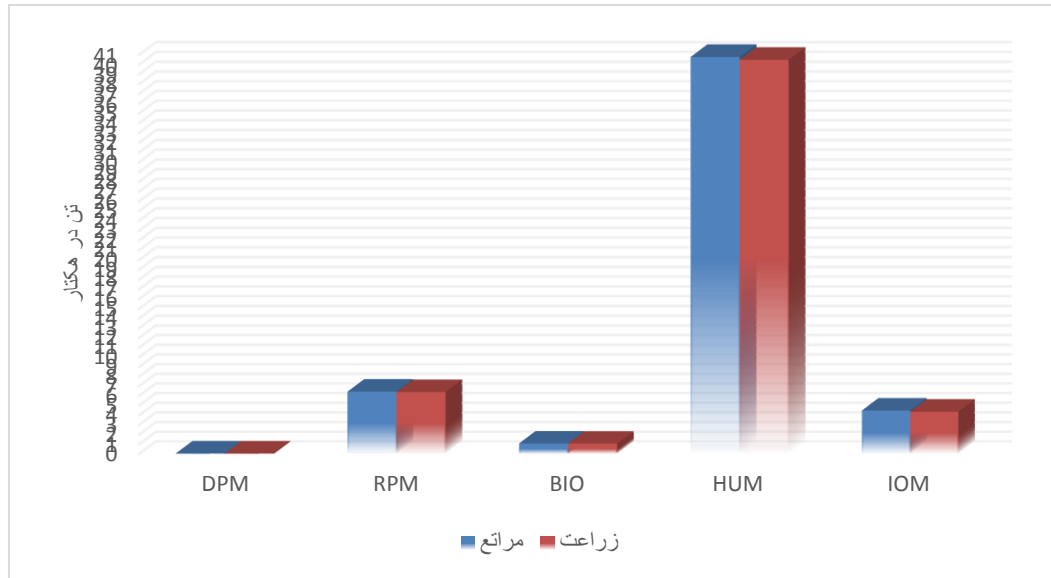
مدل Roth، می‌تواند به ردیابی بخش مهمی از تغییرات ذخایر کربن آلی خاک در سطح حوضه بپردازد. به عبارت دیگر، مدل Roth با استفاده از شناسایی پنج بخش ماده آلی (DPM, RPM, BIO, HUM, IOM) و اثرات و برهمکنش بین پنج بخش نامبرده با کربن آلی خاک، می‌تواند اثرات این بخش‌ها را در کمیت کربن آلی خاک مشخص کند. حال باید دید که از میان این بخش‌های مستقل دخیل در تغییرپذیری کربن آلی خاک، اعم از بقایای گیاهی و کربن آلی خاک، اولویت تأثیرگذاری از آن کدامیک از بخشها است. در این شبیه‌سازی، به بررسی پنج جز ماده آلی به صورت سالانه و برای کل حوضه پرداخته شده است (جدول ۱۱). نتایج نشان می‌دهد که مقدار کربن کل ذخیره برای مراتع ۴/۴۸ تن درهکتار و این مقدار در کشاورزی سطح پایین‌تری دارد و به مقدار ۴/۳۶ تن در هکتار می‌رسد. در کل کلیه شاخص‌ها نشان دهنده تضعیف ذخیره کربن آلی در کاربری کشاورزی در تمام مراحل دارد.

جدول ۱۱- پنج جز تشکیل دهنده ماده آلی از کل کربن شبیه‌سازی شده در کل حوضه

	مراتع			زراعت		
	Amount	Radio Age	Delta Value	Amount	Radio Age	Delta Value
DPM	۰/۰۶۱۱	۳۹۱/۴۷-	۴۹/۹۳	۰/۰۶۰۹	۳۹۱/۴۷-	۴۹/۹۳
RPM	۶/۴۴۵۷	۴۵۱/۱۳-	۵۷/۷۵	۶/۳۹۹۶	۴۵۱/۱۳-	۵۷/۷۵
BIO	۱/۰۸۱۵	۴۰۳/۹۳-	۵۱/۶۲	۱/۰۷۳۷	۴۰۳/۹۳-	۵۱/۶۲
HUM	۴۰/۷۷۴۹	۱۷۲/۲۳-	۲۱/۶۷	۴۰/۴۸۲	۱۷۲/۲۳-	۲۱/۶۷
IOM	۴/۴۸۴۵	۵۰۰۰۰	۹۹۸/۰۲-	۴/۳۶۳۶	۵۰۰۰۰	۹۹۸/۰۲-
Total	۵۲/۸۵۲۲	۴۹۵/۳۴	۵۹/۷۹-	۵۲/۳۷۹۹	۴۸۱/۸۳	۵۸/۲-

در مدل Roth، کربن آلی خاک به پنج جزء اساسی (DPM, RPM, BIO, HUM, IOM) تفکیک می‌شود. در ابتدا بیشتر مواد گیاهی به DPM, RPM تقسیم می‌شوند که در همان زمان بقایای گیاهی در خاک می‌توانند پدیدار شوند. در این مدل کربن آلی خاک تثبیت شده، است که بوسیله زیست‌توده میکروبی تجزیه می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد بیشترین جز به HUM و کمترین جز به DPM اختصاص دارد. در شکل (۳) مقادیر بخش‌های مختلف ماده آلی که از برآورد تغییرات کربن آلی شبیه‌سازی شده استنتاج شده، در کل حوضه مشاهده می‌شود. همانطور که ملاحظه می‌شود، HUM توانسته بیشترین درصد از اجزای کربن سالانه را در سطح حوضه برآورد کند. بیشتر این توانمندی

مربوط به متغیرهای مدیریتی به کاربرده شده بوده است. با تفکیک این پنج دسته اجزای کربن آلی، تفاوت آنها در تعیین تغییرپذیری کربن آلی خاک است. متغیرهای مدیریتی چون برداشت بقایا، کوددهی و آیش بودن اراضی و سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی نقش مؤثرتری در تعیین تغییرپذیری کربن آلی در حوضه را دارا می‌باشد.



شکل ۳- مقادیر اجزای مختلف ماده آلی خاک در مدل Roth در منطقه

در یک نگاه کلی و با مشاهده وضعیت نمودار و ارقام جدول یادشده ملاحظه می‌شود که تغییرپذیری کربن آلی خاک منطقه در درجه اول تابع HUM است. از میان این اجزا نیز HUM حاکم بر حوضه، نقش تعیین کننده تری در تغییرپذیری کربن آلی در حوضه را نشان داده است. این جزء توانسته اثر نسبتاً معنی‌داری در تغییرپذیری کربن آلی خاک داشته باشد. با توجه به این اطلاعات، اولویت تأثیرگذاری بر تغییرات کربن آلی خاک در بخش زراعت حوضه به ترتیب اهمیت عبارتند از:

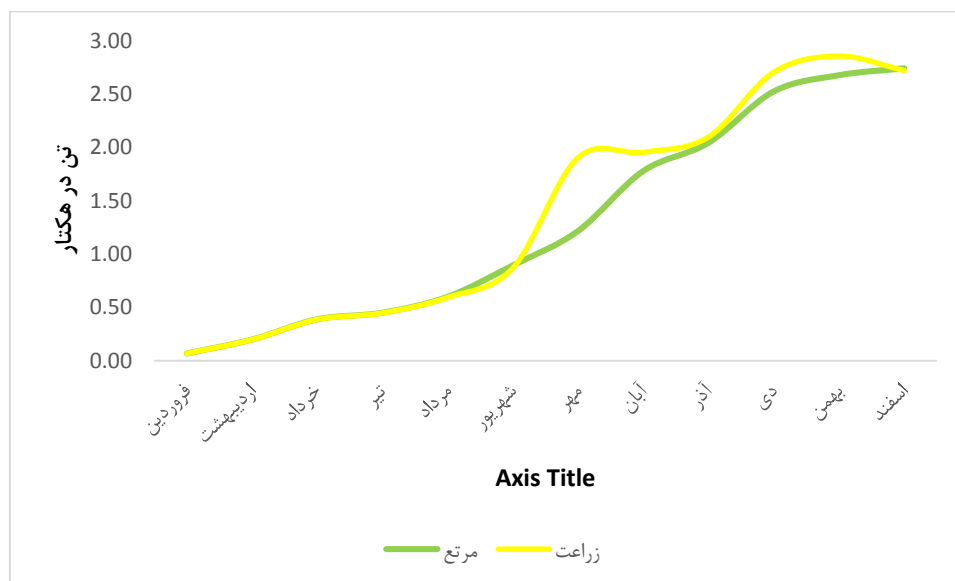
- ۱- HUM
- ۲- RPM
- ۳- BIO
- ۴- DPM

با توجه به بدیهی بودن تأثیر HUM در ارتقاء سطح کمی کربن آلی خاک، می‌توان گفت که مهمترین عامل مؤثر بر کمیت کربن آلی خاک، در بخش زراعی حوضه، عامل HUM است. این عامل نتیجه تجزیه بیشتر کربن آلی به RPM, DPM بوده است. مقدار HUM تجزیه حداکثری به HUM را نشان می‌دهد و RPM به-دلیل مقاوم بودن در برابر تجزیه در درجه دوم اهمیت قرار دارد. این نتایج با بررسی مشابهی که برای تعیین اجزای کربن آلی خاک در ایرلند جنوبی صورت گرفته مطابقت دارد. نتایج مطالعه (۳۰) نشان داد بیشترین مقدار به بخش HUM با ۶۲ درصد از کل کربن آلی خاک به همراه BIO با ۱/۶ درصد از کل کربن تعلق دارد و بخشهای DPM (۱/۲ درصد) و RPM (۱۲ درصد)

از کل کربن آلی خاک را به خود اختصاص داده است. همچنین مطالعات (۳۱) در برآورد اجزای کربن آلی با استفاده از مدل Roth در در سوئیس نشان داد در شرایط تعادل بیشترین قسمت کربن آلی خاک به صورت HUM نمایان شده و سپس RPM حدود ۱۴ درصد و IOM حدود ۹ درصد از کل کربن آلی است. و کمترین قسمت شامل DPM و BIO بوده که هر کدام حدود ۲ درصد را شامل می‌شود.

### بررسی میزان انتشار CO<sub>2</sub> از خاک منطقه

از آنجا که در چرخه کربن آلی عمده خروجی کربن در فرآیند تنفس و بصورت دی اکسید کربن صورت می‌گیرد که بعنوان یکی از اجزا چرخه کربن در اطلاعات خروجی در مدل Roth محاسبه می‌گردد. به عبارتی ورودی کربن گیاهی به دو بخش مهم DPM و RPM تقسیم شده که هر دو به شکل CO<sub>2</sub> (از سیستم خارج می‌شود) و نسبتی از آن به BIO+HUM تجزیه می‌شود که این نسبت بوسیله میزان رس خاک تعیین می‌شود. BIO و HUM نیز هر دو به CO<sub>2</sub> تجزیه می‌شوند. تغییرات انتشار CO<sub>2</sub> به دما، رطوبت و پوشش خاک توسط گیاه وابسته است. مدلسازی کربن آلی منطقه با استفاده از مدل Roth، مقدار متوسط انتشار CO<sub>2</sub> را در بازه زمانی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۹ را حدود ۱۰۹ تن در هکتار برآورد کرده است. مقادیر CO<sub>2</sub> خارج شده در دو کاربری مرتع و کشاورزی برای هر ماه به تفکیک مشخص شده است (شکل ۴).



شکل ۴- مقادیر CO<sub>2</sub> خارج شده در دو کاربری برای هر ماه

میزان متوسط ذخیره کربن در کاربری کشاورزی برابر با حدود ۵۲/۷۲ تن در هکتار بوده و متوسط CO<sub>2</sub> خارج شده نیز حدود ۱/۴ تن در هکتار می‌باشد که تقریباً حدود ۲/۶۵ درصد از میزان کربن ذخیره شده در این سال به صورت CO<sub>2</sub> از خاک خارج شده است. در مقابل نیز میزان متوسط ذخیره کربن در مدیریت مراتع برابر با حدود ۵۳/۲۰ تن در هکتار بوده و متوسط CO<sub>2</sub> خارج شده نیز حدود ۱/۲۸ تن در هکتار می‌باشد که تقریباً حدود ۲/۴۰ درصد از میزان کربن ذخیره شده در این سال به-



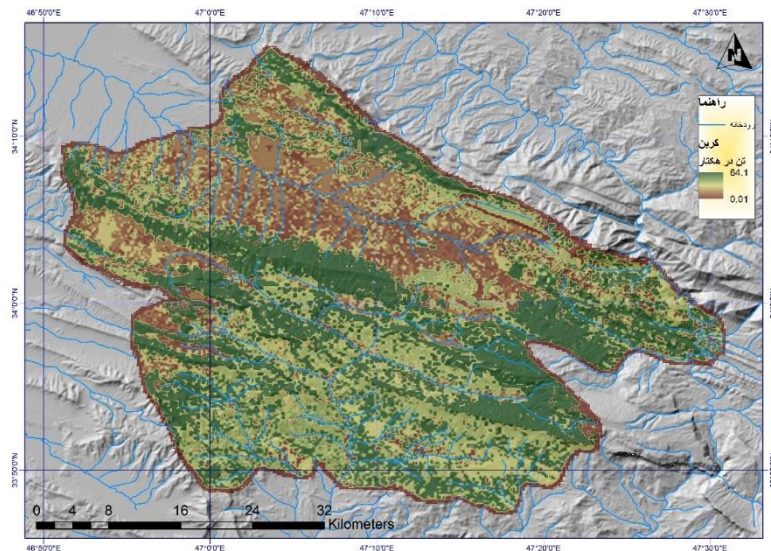
صورت CO<sub>2</sub> از خاک خارج شده است.

در پژوهش مقدار متوسط انتشار CO<sub>2</sub> از خاک را در ایالت موریسیا ۴/۲۷ تن کربن در هکتار گزارش دادند (۲). همچنین، نتایج (۲۱) نشان داد انتشار CO<sub>2</sub> از طریق خاک بین ۱/۵۸ تا ۲/۴۶ تن در هکتار برای محصول جو و مرتع در ایالت کلرادوی ایالات متحده می باشد.

### مدل مکانی ذخیره و ترسیب کربن

نتایج اولیه بررسی میدانی و نقشه های موجود کاربری اراضی منطقه نشان می دهد ۱۹ درصد مساحت منطقه را پوشش مرتع به خود اختصاص داده است. ۱۶ درصد جنگل های بلوط ۲۰-۵۰ ساله که نقش موثری در ترسیب بازی می کنند. در مقابل ۱۰ درصد منطقه دارای زراعت دیم و ۷ درصد زراعت آبی می باشد. مشخصاً درصد بالای از ناحیه مورد نظر از پوشش ضعیف و خاک های لخت تشکیل گشته است. با توجه نتایج میدانی مقدار کربن آلی در مدل بارگذاری گردید و مدل برای دوره اخیر مورد اجرا قرار گرفت است. سپس مدل مکانی کربن آلی منطقه مورد مطالعه تهیه شد. نتایج حاصل از مدل مکانی ترسیب کربن نشان می دهد که در منطقه سرفیروز آباد فعالیت شدید کشاورزی و عدم توجه به فعالیت های حفاظتی خاک و ذخیره کربن سبب نزول ذخیره کربن موجود در این حوضه گردیده است لذا در مقابل با توجه به اقدامات صورت گرفته در قسمت جنوبی حوضه مشخص است که رویه کشاورزی پایدار و توجه به کود دهی متناسب حضور و کشت متناوب سبب ارتقای ذخیره کربن گردیده است و شرایط نسبتاً معتدلی را سبب گردیده است.

نتایج کمی مدل نشان می دهد که در مناطق روستایی میزان ۲/۲ تن در هکتار کربن در خاک وجود دارد و در خاک های لمی و آهکی میزان ۲۶ و ۲/۳ تن کربن ذخیره بصورت متوسط در کل حوضه سرفیروز آباد دیده می شود. از کاربری های کشاورزی موجود کشت و زرع یونجه، گندم و جو و آیش ها به ترتیب مقدار ۱۷,۱، ۷,۷ و ۳/۴۱ تن در هکتار بصورت متناوب دیده می شود که با نتایج (۲۷) تفاوت اندکی دارد. برآوردها نشان می دهد که تیپ مرتعی متراکم سبب ایجاد ترسیب کربن به میزان ۴۸/۸۱ تن در هکتار می رسد که نسبت به برآوردهای ROTH مقدار دارای تفاوت ۵ تن در هکتار می باشد، البته این برآورد از کل حوضه بوده تفاوت مکانی که بصورت میانگین و تحت اثر عامل توپوگرافی همچون ارتفاع است در نظر نگرفته شد.



شکل ۵- ذخیره کربن موجود در بخش هلهشی و سرفیروز آباد

### بحث و نتیجه گیری

شناسایی روش‌های سازگاری و تعدیل اثرات تغییر اقلیم تحت تأثیر گازهای گلخانه‌ای اثر مهمی در پایداری زیست بوم‌های طبیعی دارد. ترسیب کربن در اکوسیستم‌های طبیعی و کشاورزی یک از گام‌های مهم در تعدیل تغییرات اقلیمی است. لذا اولین مرحله در تعدیل تغییرات اقلیمی شناسایی و برآورد اثر کاربری اراضی و مدیریت اراضی و پیش‌بینی بلند مدت این اثرات است که به کمک مدل‌های مانند مدل Roth C می‌گردد. ارزیابی و صحت‌سنجی مدل در کاربری‌ها و شرایط اقلیمی متفاوت یکی از پارمترهای مهم در این مسیر است. در این مطالعه مدل Roth C بمنظور برآورد کربن آلی مراتع و اراضی زراعی منطقه کوهستانی در غرب ایران استفاده شد. مدلسازی تجزیه و تغییرات کربن آلی ذخیره در خاک موجود در سطح مراتع مورد مطالعه (۲/۰۵ درصد در هکتار) کمتر از اراضی کشاورزی (۲/۱۳ درصد در هکتار) در طول سال می‌باشد. بالا بودن مقدار آهک حدود ۲۴ درصد و سنگین بودن بافت خاک در منطقه مورد مطالعه دو پارامتر تأثیر گذار در پتانسیل ترسیب کربن آلی در منطقه مورد مطالعه بشمار می‌آید. سنگین بودن بافت خاک، مقادیر بالای درصد رطوبت اشباع با متوسط ۵۳٫۵۷ درصد سبب استقرار پوشش گیاهی بیشتر و متراکم‌تر و در نهایت افزایش ذخیره کربن آلی خاک است. از طرفی نتایج همبستگی بیانگر رابطه منفی و معنی‌دار بین آهک و ذخیره کربن آلی خاک است ( $r = -0/41$ ) که نشان می‌دهد مقادیر بالای آهک، موجب کاهش فعالیت بیولوژیک و توسعه ذخایر کربن خاک می‌شود که با نتایج (۹، ۶) دارای شباهت ساختاری بوده است. ذخیره کربن با درصد رس رابطه معنی دار و منفی و با درصد رطوبت اشباع و شن رابطه معنی‌دار و مثبت ( $p < 0/01$ ) نشان داده است. از سوی دیگر، بین درصد سنگ ریزه با ذخیره کربن رابطه معنی‌دار و مثبت و با درصد آهک رابطه معنی‌دار و منفی ( $p < 0/05$ ) برقرار است که با نتایج (۱/۲۹) تقریباً مشابهت دارد. نتایج پژوهش (۲۹) نشان داد بین کربن آلی خاک با درصد سنگ‌ریزه و شن رابطه مثبت و معنی‌دار و با درصد سیلت و رس رابطه منفی و معنی‌دار وجود دارد. همچنین، نتایج (۱)

حاکی از آن است که ذخیره کربن آلی خاک با درصد سیلت خاک و درصد اشباع خاک همبستگی مثبت و معنی دار در سطح پنج درصد داشته و با درصد شن و سنگریزه خاک همبستگی منفی و معنی دار در سطح یک درصد دارد.

مدل سازی خطی یک راه حل ساده و آسان بود که در مطالعه نشان داد؛ رابطه همبستگی  $0/7$  رابطه ذخیره کربن و شرایط فیزیکی را بیان داشت. اثر این مدل محلی بر دقت مطالعات و بیان ویژگی های محیطی برای ذخیره کربن نشان دهنده اثر درصد اشباع و ارتفاع بر این مهم بود؛ این مورد بسیار توسط IPCC و بسیاری از مطالعات مختلف دیگر مورد تأکید قرار گرفته است. که متأسفانه در مدل های ROTHC و مدل مکانی تریب و ذخیره اشاره کوچکی به آن شده است. لذا یکی از دست آوردهای مهم این مطالعه معادله ذخیره کربن محلی بوده است. مدل RothC به حساسیت اقلیمی واکنش شدید دارد و در مطالعه بخصوص در مناطق کشاورزی بسیار مؤثر خود را نشان داده است. در این راستا مقدار RPM بسیار تغییر خواهد کرد. در نهایت امر صحت مدل سازی نشان می دهد که مقدار RMSE برای منطقه مورد نظر کمتر از  $0/11$  و همچنین MBI  $0/05$  است که سبب شده فاکتور کارکرد مدل  $0/96$ - باشد و دقت بالای مدل RothC مورد تأکید قرار گیرد و با بسیاری از مطالعات دیگر حتی نسبت قابل قبول تری را بخود بگیرد.

بررسی ها نشان داد بیشترین جز HUM و کمترین جز به DPM اختصاص دشت. متغیرهای مدیریتی چون برداشت بقایا، کود دهی و آیش بودن اراضی و سیستم های مختلف خاک ورزی نقش مؤثرتری در تعیین تغییرپذیری کربن آلی در حوضه را دارا بوده اند. میزان متوسط ذخیره کربن در کاربری کشاورزی برابر با حدود  $52/72$  تن در هکتار بوده و متوسط  $CO_2$  خارج شده نیز حدود  $1/4$  تن در هکتار می باشد که تقریباً حدود  $2/65$  درصد از میزان کربن ذخیره شده در این سال به صورت  $CO_2$  از خاک خارج شده است. در مقابل نیز میزان متوسط ذخیره کربن در مدیریت مراتع برابر با حدود  $53/20$  تن در هکتار بوده و متوسط  $CO_2$  خارج شده نیز حدود  $1/28$  تن در هکتار می باشد که تقریباً حدود  $2/40$  درصد از میزان کربن ذخیره شده در این سال به صورت  $CO_2$  از خاک خارج شده است. در بررسی زمانی خروجی کربن دی اکسید لازم است اقدامات متناسب در ماه های شهریور تا آبان صورت گیرد که از انتشار این گاز با چنین شیب سریعی جلوگیری گردد و به جریان طبیعی مراتع نزدیک تر باشد. نهایتاً مطالعه تغییرات جوی در سال های مختلف نشان داد اثر معنی داری از تغییرات جوی بر میزان ترسیب کربن وجود دارد هرچند که روند کاهشی این تغییرات دیده می شود. لذا پیشنهاد می شود که روند زمانی تغییرات کربن در مطالعات آتی در نظر گرفته شود و اثر مدیریت مرتعداری و آتش سوزی در مطالعات بررسی گردد. همچنین توسعه مدل های بومی در نظر گرفته شود.

### Refrenc:

- 1- Abdi, N., 2018. Investigating factors affecting soil organic carbon deposition in the protected area of Seventy Peaks of Arak. The third national conference on dealing with desertification and sustainable development of desert wetlands in Iran. Arak Islamic Azad University. 23 September. [In Persian]
- 2- Almagro, M., Ignacio Querejeta, J., Boix-Fayos, C. and Martínez-Mena. M., - 2013. Links between vegetation patterns, soil C and N pools and respiration rate under three different land uses in a dry Mediterranean ecosystem. *Journal Soils Sediments*, 13, pp.641-653.
- 3- Azizi, A., 2017. Estimation of carbon sequestration capacity in sugarcane fields, a case study: Ahvaz Shahestan Agriculture and Industry. The second national conference of knowledge and technology of agricultural sciences, natural resources and environment of Iran, Tehran. Pp. 1-5. [In Persian]
- 4- Arévalo, P., Pontus, O. and Curtis Woodcock, E., 2019. Continuous Monitoring of Land Change Activities and Post-Disturbance Dynamics from Landsat Time Series: A Test Methodology for REDD+ Reporting. *Remote Sensing of Environment*, no. January 2018: 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.01.013>.
- 5- Bagrifam, S., Delavar, M. A., Keshavarz, P. and Karmi, P., 1401. Application of the RothC model in simulating the effect of climate change on carbon dioxide emissions and organic carbon reserves in the semi-arid climate of Razavi Khorasan. *Water and soil*, 36(5), pp. 611-628. [In Persian]
- 6- Bleuler, M., Farina, R., Francaviglia, R., di Bene, C., Napoli, R. and Marchetti, A., 2017. Modelling the impacts of different carbon sources on the soil organic carbon stock and CO<sub>2</sub> emissions in the Foggia province (Southern Italy). *Agricultural Systems*, 157, pp. 258-268.
- 7- Coleman, K. and Jenkinson, D., 2014. RothC-A Model for the Turnover of Carbon in Soil-Model description and users guide. Rothamsted Research, Harpenden, UK.
- 8- Cheddadi, R., Guiot, J. and Jolly, D., 2001. The Mediterranean Vegetation: What If the Atmospheric CO<sub>2</sub> Increased? *Landscape Ecology*, 16 (7), pp. 667–75. <https://doi.org/10.1023/A:1013149831734>.
- 9- Diele, F., Marangi, C. and Martiradonna, A., 2021. Non-standard discrete RothC Models for soil carbon dynamics. *Axioms*, 10, pp. 56-67.
- 10- Fallahi, J., Rezvani Moghadam, P., Nasiri Mahalati, M. and Behdani, M. A., 2012. Determining the validity of the RothC model to estimate the carbon sequestration capacity of the reconstructed military soil under two different climate scenarios. *Water and Soil*, 27(3), pp. 656-668. [In Persian]
- 11- Ghaitouri, M., Heshmati, M., Parvizi. Y., 2013. The effect of pasture management on changes in soil organic carbon and soil grains in four regions of Kermanshah province. *Soil Research*, 27(3), pp. 349-357 [In Persian].
- 12- Ghaitouri, M., Heshmati, M., Roghani. M., 2018. The role of rain catchment surface systems in increasing soil moisture in drought conditions. *Iran Watershed Science and Engineering*, 13(47), pp.107-114. [In Persian]
- 13- Houghton. R.A., 2003. Revised Estimates of the Annual Net Flux of Carbon to the Atmosphere from Changes in Land Use and Land Management 1850–2000. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 55(2), pp. 378–90.
- 14- IPCC., 2014. Climate Change 2014 Synthesis Report Summary Chapter for Policymakers. *Ippc*, 31.

15- Jafari, A., Sefidi, H., Rahimi. M., 1401. Investigating the relationship between spatial changes of soil carbon deposition with climatic elements of temperature and precipitation in recent years (Ahangan basin study area). *Climate Change Research*, 3(12), pp. 1-20. [In Persian]

16- Khalil, M.I., Keily, G., Brein, P.O. and Muller, C., 2013. Organic carbon stocks in agricultural soils in Ireland using combined empirical and GIS approaches. *Geoderma*, 194, pp. 222–235. [In Persian]

17- Lal. R., 2013. Soil carbon management and climate change. *Carbon Management*, 4, pp. 439-462.

18- Nemoto. R., 2010. Long-term soil carbon changes in different agricultural management systems under past and future climate. Master's Thesis. Faculty of Science University of Bern. Pp. 1-52.

19- Oji, A., Landi, A., Hojjati. S., 2017. Carbon sequestration and estimation of its economic value in a part of flooded and grazed pastures in Khuzestan province. *Water and Soil Journal (Agricultural Sciences and Industries)*, 32(2), pp. 386-375. [In Persian]

20- Parvizi, Y., Gorji, M., Omid, M., Mahdian, M.H. and Amini, M., 2010. Determination of soil organic carbon variability of rainfed crop land in semi-arid region (neural network approach). *Modern Applied Science*, 4(7), pp. 25-38. [In Persian]

21- Paustian, K., Six, J., Elliott, E.T. and Hunt. H.W., 2000. Management options for reducing CO<sub>2</sub> emissions from agricultural soils. *Biogeochemistry*, 48, pp.147-163.

22- Ponce-Hernandez. R., 2004. Assessing carbon stocks and modeling win-win scenarios of carbon sequestration through land-use changes. FAO of the United Nations. Pp. 1-157.

23- Sabti, M., Kharmali, F., Selzani, A., Qanqarama, A., Eftekhari, K. and Dardipour. A., 2023. The effect of climate change on soil organic carbon storage using the C Roth model in Golestan province's agricultural lands. *Agricultural Engineering*, 4, pp. 341-355. [In Persian]

24- Schrumpf, M., Schulze, E.D., Kaiser, K. and Schumacher, J., 2011. How accurately can soil organic carbon stocks and stock changes be quantified by soil inventories? *Biogeosciences*, 8, pp.1193-1212.

25- Semenov, M.A., Donatelli, M., Stratonovitch, P., Chatzidaki, E. and Baruth, B., 2010. ELPIS: A Dataset of Local-Scale Daily Climate Scenarios for Europe. *Climate Research*, 44(1), pp. 3–15.

26- Shirato, Y. and Yokozawa, M., 2006. Acid hydrolysis to partition plant material into decomposable and resistant fractions for use in the Rothamsted carbon model. *Soil Biology and Biochemistry*, 38, pp. 812-816.

27- Temitope, f. O., Jamil, N. and Lawal Adekunle, K., 2019. Polyhydroxyalkanoates Synthesis by *Bacillus aryabhatai* C48 Isolated from Cassava Dumpsites in Southwestern, Nigeria. *Soil Microenvironment for Bioremediation and Polymer Production*. P 271.

28- Tojo soler, C.M., Bado, V.B., Traore, K., Mcnair bostick, W., Jones, J.W. and Hoogenboom, G., 2011. Soil organic carbon dynamics and crop yield for different crop rotations in a degraded ferruginous tropical soil in a semi-arid region: a simulation approach. *Journal of Agricultural Science*, 149, pp.579-593.

29- Varamesh, S., Hosseini, S.M. and Abdi, N., 2018. The effect of afforestation with broad-leaved species on carbon sequestration in the soil of Chitgar forest park. *Soil Research Journal (Soil and Water Sciences)*, 25(3): 187-196. [In Persian]

30- Xu, X., Liu, W. and Keily, G., 2010. Modeling the change in soil organic carbon of grassland in response to climate change: Effects of measured versus modeled carbon pools for initializing the Rothamsted Carbon model. Agriculture, Ecosystems and Environmen, AGEE-3784: P10.

31- Zimmermann, M., Leifeld, J., Schmidt, M., Smith, P. and Fuhrer, J., 2007. Measured soil organic matter fractions can be related to pools in the RothC model. European Journal of Soil Science, 58, pp. 658-667.

## Investigation of Soil Organic Carbon Changes and Validation of the Roth C Model to Estimate in Mountainous Areas

Zeynab Eghbalian<sup>۱</sup>, Behnaz Attaeian<sup>۲\*</sup>, Yahya Parvizi<sup>۳</sup>

### Abstract

Soil organic carbon in terrestrial ecosystems is considered the most important component of the global carbon cycle, which plays a major role in controlling global warming challenges. In order to study soil organic C fluctuations, it is very important to use study models such as RothC. In the present study, in the Serfirouz Abad basin of Kermanshah province, for the extraction of carbon, the clay-block method and the ROTH C26-3 (ROTH) model were used to simulate the organic carbon changes in the soil. Finally, the accuracy of the modeling showed that the RMSE value for the target area is less than 0.11, and the MBI has reached 0.05, which makes the performance factor of the model - 0.96, and the high accuracy of the RothC model is emphasized. be placed Also, the highest component is assigned to HUM and the lowest component to DPM. The average amount of carbon stored in agriculture is about 52.72 tons per hectare and the average CO<sub>2</sub> released is about 1.4 tons per hectare, which is about 65.2% of the amount of carbon stored this year in the form of CO<sub>2</sub>. It has come out of the ground. The average amount of carbon storage in rangeland is about 53.20 tons per hectare and the average CO<sub>2</sub> is released is about 1.28 tons per hectare, which is about 2.40% of the amount of carbon stored this year. CO<sub>2</sub> has been removed from the soil.

**Keywords:** Organic Carbon, Carbon Sequestration, Accuracy, RothC, Sarfirozabad.

---

<sup>۱</sup>Graduate Msc., Natural Engineering Department, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran.

<sup>۲</sup> Assistant Professor, Natural Engineering Department, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran (Author responsible: Attaeian@gmail.com).

<sup>۳</sup> Associate Professor, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Soil Conservation and Watershed Research Institute, Tehran, Iran.