



بررسی رابطه تغییرات مکانی ترسیب کربن خاک با عناصر اقلیمی دما و بارش در سال‌های اخیر (منطقه مطالعه حوضه آهنگران)

اسما جعفری^۱، حمیده سفیدی^۲، میلاد رحیمی^۳*

^۱ کارشناس ارشد مهندسی منابع طبیعی_ مدیریت مناطق بیابانی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز

^۲ کارشناس ارشد بیابان‌زدایی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی کرج دانشگاه تهران

^۳ دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست؛ نور

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۷/۲۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۹/۱۳

چکیده

شناخت عوامل فیزیکی و مدیریتی موثر بر ذخیره کربن آلی در خاک می‌تواند به ارتقاء باروری خاک و حفظ محیط‌زیست کمک کند. بنابراین بررسی رابطه تغییرات مکانی ترسیب کربن خاک با عناصر اقلیمی دما و بارش جهت مطالعه و بکارگیری روش‌های کاربردی برای محاسبه میزان ترسیب کربن مدل‌های مطالعاتی هم‌چون RothC اهمیت فراوانی دارند. در مطالعه حاضر کارایی مدل RothC جهت برآورد کربن آلی ذخیره شده در مراتع کوهستانی حوزه مِـرَگ سرفیروزآباد، استان کرمانشاه مورد بررسی قرار گرفته است. نمونه‌گیری در قالب یک طرح تصادفی مدیریت شده با استفاده از ۴۵ نقطه شعاع ۲۰ کیلومتری در خاک سطحی انجام گرفت. ورودی‌های 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 می‌باشد. خروجی مدل شامل کربن آلی خاک با چهار بخش فعال (IOM^۱)، (DPM^۲)، (RPM^۳)، (BIO^۴) و یک بخش جدا (HUM^۵) بود که هر بخش بسته به ویژگی‌های خودش تجزیه می‌شود. در این پژوهش سه دوره زمانی نمونه برداری گردید که به ترتیب سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۸۹ و آخرین آمار در پاییز ۹۶ برداشت شده است. نهایتاً مدل RothC بعد از کالیبراسیون در دوره‌های 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 ۰٫۱۱ و هم‌چنین MBI به ۰٫۰۵ رسیده است که سبب شده فاکتور کارکرد مدل ۰٫۹۶- باشد و دقت بالای مدل RothC مورد تأکید قرار می‌گیرد. نتایج نشان می‌دهد که مقدار کربن کل ذخیره برای مراتع ۴٫۴۸ تن در هکتار و این مقدار در کشاورزی سطح پایین تری دارد و به مقدار ۴٫۳۶ تن در هکتار می‌رسد. در کل کلیه شاخص‌ها نشان دهنده اثر زراعت بر تضعیف ذخیره کربن در تمام مراحل دارد.

واژه‌های کلیدی: Roth C، پوشش زمین، تغییرات آب و هوا، کوهستان

¹ Inert Organic Matter

² Decomposable Plant Material

³ Resistant Plant Material

⁴ Microbial Biomass

⁵ Humified Organic Matter

مقدمه

بعد از انقلاب صنعتی غلظت دی اکسیدکربن با نرخ افزایش ۵/۱ppm در سال به غلظت ۳۶۰ppm افزایش یافت که این افزایش در سال‌های اخیر به حدود ۳۰ درصد رسیده و به مرز بحرانی ۴۵۰ ppm نزدیک می‌شود (Barker, 2007) افزایش تراکم دی اکسید کربن از طریق جذب طول موج‌های بازتابی، باعث افزایش گرمایش جهانی و در نتیجه تغییر اقلیم گردیده است (Arévalo, Olofsson, and Woodcock 2019). تغییر اقلیم با تاثیر بر رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک و همچنین عناصر غذایی، بر پوشش گیاهی و ترکیب گونه‌ها اثر می‌گذارد (Cheddadi, Guiot, and Jolly 2001) و به دلیل تغییر در زیتوده (بقایای مواد، زیتوده هوایی و زیرزمینی) به نظر می‌رسد بر ذخیره کربن آلی و در نتیجه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نیز اثرگذار است (Rattan Lal et al., 2003). به عبارت دیگر تخریب خاک، به کاهش حاصلخیزی، کاهش مقدار و کیفیت زیتوده برگشتی به خاک و در نتیجه کاهش ذخیره کربن آلی خاک می‌انجامد؛ افزایش نگرانی‌ها در زمینه گرمایش جهانی و تغییر اقلیم موجب شده است که به خاک و قابلیت آن در ترسیب کربن به صورت پایدار توجه ویژه‌ای شود (لال، ۲۰۰۱). در سال‌های اخیر و توجه به ماده آلی خاک در رابطه با ترسیب کربن افزایش یافته (Houghton, 2003) و دستیابی به افزایش ترسیب کربن خاک به عنوان روش مناسبی برای کاهش تراکم CO₂ اتمسفری در مجامع علمی و سیاسی جهان مطرح شده است (Rattan Lal et al., 2003). تغییر و نوسانات میزان درجه حرارت سطح کره زمین، تغییرات محسوسی در بسیاری از سامانه‌های کشاورزی و اکوسیستم‌های طبیعی ایجاد می‌کند که در نهایت موجب کاهش تنوع زیستی، افزایش وسعت کویرها و کاهش سطح اکوسیستم‌های طبیعی خواهد شد. بنابراین جلوگیری یا تعدیل گرمایش زمین، با بهره‌گیری از روش‌های آسان و ارزان قیمت، امری ضروری به نظر می‌رسد. به منظور کاهش میزان دی اکسیدکربن، استفاده از روش‌های بیولوژیک

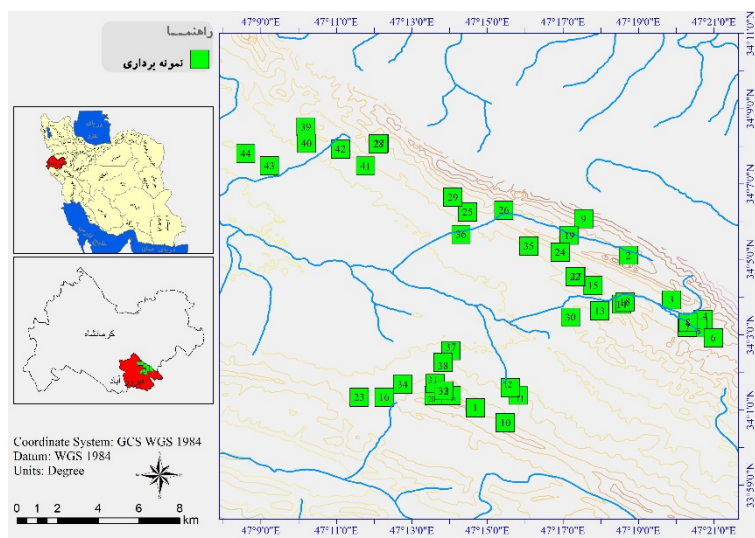
شامل زیتوده گیاهی و خاک تحت آن، به عنوان بهترین و عملی‌ترین راهکار، پیشنهاد شده است (IPCC, 2014) ترسیب کربن راهکاری بیولوژیکی به منظور مقابله با پدیده تغییر اقلیم می‌باشد که منتج به کاهش دی اکسیدکربن جو، ایجاد تعادل در غلظت گازهای گلخانه‌ای و پایداری اکوسیستم‌های طبیعی خواهد شد. جذب کربن بوسیله پوشش گیاهی و ذخیره سازی آن در خاک تحت پوشش به عنوان فرایند ترسیب کربن شناخته می‌شود که علاوه بر ارزیابی قیمت بودن آن نسبت به روش‌های مکانیکی از مزایای جانبی دیگر مانند افزایش حاصلخیزی خاک نیز برخوردار است (Semenov et al., 2010). به طور طبیعی، ۷۵ درصد کربن موجود در اکوسیستم‌های خشکی در خاک ذخیره شده است (اسماعیلی، ۱۳۹۷) و افزایش ذخیره جهانی کربن، از طریق ترسیب دوباره دی اکسیدکربن اتمسفری در خاک راهکاری مناسب به شمار می‌آید (R. Lal, 2004) خاک‌های جهان را سومین منبع اصلی کربن تخمین زده است که در خود چیزی حدود ۴ برابر کربن موجود در زیست توده گیاهی و ۳/۳ برابر کربن موجود در اتمسفر، کربن ذخیره کرده است (Bayat, 2020). Saeb and Bakhtiyari 2020). نیز در تحقیقات خود خاک‌ها را مخزن اصلی کربن آلی در اکوسیستم مرتعی معرفی نمودند. به همین دلیل با مدنظر قرار دادن اهمیت زیست توده ریشه در اکوسیستم‌های مرتعی، خاک سطحی مراتع (ریزوسفر) می‌تواند به عنوان یکی از مهم‌ترین مخازن ترسیب کربن مدنظر قرار گیرد. در مقیاس جهانی، مراتع حدود نیمی از کل خشکی‌های زمین را در بر گرفته‌اند و ذخیره کربن آلی آنها برابر با ۱۰ درصد کل ذخایر کربن بیوماس اکوسیستم‌های خاکی می‌باشد. اهمیت مرتع در ترسیب کربن و کاهش گرمای زمین زمانی بارزتر می‌گردد که یادآور شویم پتانسیل ترسیب کربن مراتع در حدود پانصد میلیارد تن کربن در سال، در سطح کره زمین می‌باشد (فریده، مجید، کرباسی، عبدالرضا، ۱۳۸۶). با توجه به گستره مراتع در کشور ایران، جذب بیولوژیک کربن طی فرآیند فتوسنتز و نگهداشت آن در خاک

مکانی ترسیب کربن خاک و تغییرات اقلیمی در کوهستان مورد مطالعه قرار دهد. بنابراین تأمین و تعیین اعتبار مدل Rothamsted Carbon Model (RothC) در برآورد تغییرات ذخیره کربن آلی در مراتع کوهستانی حوضه آهنگران، انجام می‌گردد و سپس در صورت موفقیت، شبیه سازی پتانسل ترسیب-کربن با استفاده از مدل RothC در دیگر مراتع کوهستانی با توجه به نقش‌های تغییرات اقلیمی و مدیریت اراضی صورت می‌گیرد.

روش انجام تحقیق

محدوده مورد مطالعه: حوضه آهنگران با مساحت ۲۳۲۲/۵ در ۲۳ کیلومتری شمال غرب کرمانشاه واقع شده که مختصات جغرافیایی محدوده مورد مطالعه از ۴۵° ۴۲' ۴۶" تا ۴۱° ۴۸' ۴۶" طول شرقی و ۳۷° ۳۴' ۳۴" تا ۳۴° ۳۹' ۳۷" عرض شمالی می‌باشد. محدوده مورد مطالعه از شرق به کوه خورین و از غرب به کوه چلواره محدود می‌گردد. از مناطق مسکونی موجود در محدوده مطالعاتی می‌توان به آهنگران و چشمه پنبه اشاره نمود. حداقل ارتفاع در حوضه ۱۳۳۵/۸ و حداکثر ارتفاع ۲۳۸۱/۱ متر از سطح دریا می‌باشد (شکل ۱).

اکوسیستم‌های مرتعی یا همان ترسیب کربن از جمله راهکارهای عملی و مناسب به‌شمار می‌آید. در ایران مراتع با بیش از ۸۶ میلیون هکتار وسعت، ۵۴ درصد عرصه حیاتی کشور را تشکیل می‌دهد و نقش اساسی در توسعه پایدار دارند که در صورت احیا و مدیریت صحیح، این مناطق قابلیت ترسیب حدود یک میلیارد تن کربن آلی به ارزش ۲۰ میلیون تن نفت را دارند (محمود منوچهر و فرخ، ۱۳۹۵). روش‌های مورد استفاده جهت برآورد کربن آلی خاک و تغییرات آن متفاوت می‌باشد که عمدتاً به دو روش میدانی و مدل‌سازی تقسیم 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 می‌توان از RothC، Invest و Century نام برد. مدل Rothamsted Carbon Model (RothC) از پرکاربردترین مدل‌های مطالعات در بحث ترسیب کربن آلی خاک می‌باشد. از مزایای این مدل سادگی و در دسترس بودن ورودی‌های آن می‌باشد و به‌همین دلیل توجه طیف وسیعی از محققان را به‌خود جلب نموده‌است (Jenkinson, Science, 2008). با توجه به مطالعات صورت گرفته؛ مطالعه اخیر هدف دارد که اهمیت اثر مدیریت در رابطه تغییرات



شکل ۱- نقشه منطقه مورد مطالعه

براساس تقسیم‌بندی به‌عمل آمده با سیستم اقلیم‌نمای آمبرژه، دو اقلیم نیمه‌مرطوب سرد، مرطوب سرد در منطقه مورد مطالعه حوضه مرگ سرفیروز آباد آهنگران وجود دارد. متوسط درجه حرارت سالیانه ۲۵ ساله حدود ۸٫۸۶ درجه سانتی‌گراد است. ماه‌های دی و مرداد به ترتیب با متوسط دمای ۱/۱ و ۲۳/۲ درجه سانتی‌گراد به ترتیب سردترین و گرمترین ماه‌های سال به‌شمار می‌رود (گزارش سازمان هواشناسی، ۱۴۰۰). با بررسی ارقام و اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی منطقه سر فیروز آباد و کنگاور، میانگین بارندگی سالیانه ۷۹۰ میلی‌متر است که بیشترین بارندگی در فروردین ماه و کمترین آن در ماه‌های تیر و مرداد رخ می‌دهد (کرباسی و همکاران، ۱۳۸۶). الگوی بارش مدیترانه‌ای بوده و بخش اعظم بارندگی در فصول سرد سال نازل می‌شود در این حوضه، با توجه به پارامترهای اکولوژیکی، گیاهان متعددی رشد یافته است که به‌طور عمده شامل انواع بوته‌ها، گندمیان، درختچه و درخت می‌باشد. در مجموع حدود ۸۷۷۰ هکتار از اراضی حوضه را مراتع با درجات پوشش متفاوت و تیپ‌های نسبتاً متنوع می‌پوشانند (Miller et al., 2004).

بخشی از این مراتع مشجر و بخشی از آنها نیز در واقع عرصه‌های جنگلی بوده‌اند که تخریب شده‌اند. این بخش از مراتع، عرصه‌های جنوب و جنوب شرق حوضه را شامل می‌شود. نیمی از این مراتع دارای وضعیت ضعیف یا فقیر و مابقی دارای وضعیت متوسط می‌باشد. بهبود شرایط زیستگاهی در نقاط بکرتر در دامنه شمالی بویژه از حیث خاک، باعث ظهور برخی گونه‌های متوقع‌تر شده که خود از شواهد بهبود وضعیت باروری خاک بویژه کربن آلی است.

روش نمونه‌برداری: روش نمونه‌برداری تصادفی-سیستماتیک به‌دلیل یکسان بودن روش نمونه‌گیری با سال‌های قبل استفاده شد و نقاط نمونه‌گیری نزدیک به نقاط نمونه‌گیری در سالهای ۱۳۸۲، ۱۳۸۸ و بهار ۱۳۹۳ انتخاب شد، از آنجا که مشخصات جی پی اس نقاط نمونه‌گیری سال‌های پیش موجود بودند در کاوش میدانی بازبایی شدند و نمونه‌گیری مجدد از آن محل‌ها انجام شد (شکل ۱). کلاً ۴۵ نمونه گرفته شد

که ۲۳ نمونه در مراتع و ۲۲ نمونه در عرصه‌های کشاورزی بود.

برآورد میزان رسوب کربن آلی در خاک از عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری نمونه‌های خاک در نقاط نمونه‌گیری در سالهای ۱۳۸۲، ۱۳۸۸ و بهار ۱۳۹۳ و همچنین فصل پاییز ۱۳۹۶ برداشت گردید نمونه‌ها در کیسه‌های نمونه‌گیری قرار گرفته و پس از کدگذاری نمونه‌ها جهت آنالیز و اندازه‌گیری کربن آلی به آزمایشگاه مرکز تحقیقات منابع طبیعی و کشاورزی استان کرمانشاه منتقل گردید.

اندازه‌گیری کربن آلی: روش مورد استفاده در این اندازه‌گیری روش والکلی-بلاک می‌باشد که خاک را با اسید سولفوریک غلیظ و بی کرومات مجاور کرده بعد از اتمام واکنش اکسیداسیون و احیا زیادی بی کرومات باقیمانده با فرو آمونیوم سولفات تیترو می‌گردد (Zhou et al., 2019).

الف: مراحل تیمار جهت استخراج کربن آلی:

۱) بیکرومات 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 سانتی‌گراد به مدت سه ساعت خشک گردد) را دقیقاً 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 مدت ۱۵ دقیقه
۳) فرو آمونیوم سولفات ۰/۵ نرمال $\text{FeSO}_4(\text{NH}_4) \cdot \text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

مقدار ۱۹۶٫۰۸ گرم فرو آمونیوم سولفات را توزین در بالن یک لیتری حل نمایید. مقدار ۱۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ به آن اضافه و پس از سرد شدن به حجم یک لیتر رسید

۴) معرف ارتو فنانترولین فرو ۰/۲۵ مولکول گرم در لیتر مقدار ۱۴/۸۵ گرم ارتو فنانترولین مونو هیدرات را وزن و ۹۵/۶ گرم سولفات فرو $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 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 میلی‌متری عبور می‌دهیم. به‌طوری‌که تمام خاک از الک رد شود (فقط ذرات شن درشت تر از ۰/۵

مدل ROTH C26-3: مدل ROTH C26-3 (ROTH) برای شبیه‌سازی تغییرات کربن آلی در خاک ارائه شده است. در این مدل، منحصراً به عوامل خاکی توجه نشده و مقدار کربن گیاهی که سالیانه از زیتوده هوایی به خاک اضافه می‌شود، در مدل گنجانده شده است. با استفاده از این مدل می‌توان چگونگی تجزیه کربن آلی وارده در شرایط خاک و آب و هوای منطقه موردنظر و تاثیر نهایی آن را بر کربن آلی خاک معلوم نمود (Ponce-Hernandez, 2004). در ادامه به شرح مختصری از این مدل پرداخته شده است. اطلاعات مربوط به این مبحث از برداشت شده است (Coleman and Jenkinson, 2008).

ویژگی‌های مدل Roth: مدل Roth برای سیکل کربن آلی در خاک‌های غیر باتلاقی است که اثرات نوع خاک، دما، رطوبت و پوشش گیاهی را با استفاده از یک دوره ماهانه برای محاسبه کل کربن آلی، زیست‌توده میکروبی کربن بررسی می‌کند. مدل Roth تغییرات در مواد آلی را محاسبه نموده که به پنج جز اساسی، ماده آلی خنثی (IOM^۴)، ماده گیاهی مقاوم به تجزیه (DPM^۵)، ماده گیاهی مقاوم به تجزیه (RPM^۶)، زیست‌توده میکروبی (BIO^۷) و مواد آلی هوموسی شده (HUM^۸) تقسیم می‌شود. دو جزء DPM و RPM مربوط به تجزیه بقایای گیاهی بوده و دو جز BIO و HUM مربوط به تجزیه مواد آلی خاک است (شکل ۳) (Nemoto, 2010).

متغیرهای ورودی مدل

بارندگی ماهانه: تبخیر و تعرق ماهانه: بارندگی (میلی‌متر) و تبخیر (میلی‌متر) از سطح آزاد برای محاسبه کمبود رطوبت خاک سطحی (TSMD^۹) به کار می‌روند و دستیابی به آن‌ها برای محاسبه TSMD آسان‌تر از اندازه‌گیری ماهانه واقعی کمبود رطوبت خاک سطحی است. اگر میزان تبخیر از سطح آزاد در

میلی‌متر روی الک بماند) در این مرحله برای کوبیدن‌هاون فولادی یا آهنی استفاده نشود. باید ازهاون 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 میلی‌لیتر ریخته و به آن ده میلی‌لیتر کرومات پتاسیم یک نرمال اضافه و به آرامی تکان دهید تا ذرات در محلول پراکنده شود. ۲۰ میلی‌لیتر اسد سولفوریک غلیظ را خیلی سریع به‌طور 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 میلی‌لیتر آب مقطر اضافه کنید و بعد از سرد شدن ده قطره ارتو فنانترویلین اضافه و با فرو آمونیوم سولفات تیتیر نمایید. به محض اینکه محلول به رنگ سبز لجنی درآمد تیتیر راقطع کرده و حجم معرفی فرو آمونیوم سولفات را بدست می‌آورید. همیشه در اندازه‌گیری کربن آلی از نمونه شاهد یا blank استفاده کنید.

اندازه‌گیری بافت خاک: بافت خاک از سه پارامتر ماسه ۱، سیلت ۲، رس ۳ تشکیل شده که هرکدام یکی از اضلاع مثلث بافت خاک را تشکیل می‌دهد. ۵۰ گرم خاک نرم خشک شده در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد را با ترازو وزن کرده، در داخل ارلن ریخته و ۵۰ سیسی محلول کالگون ۵٪ و حدود ۳۰۰ سیسی آب مقطر به آن اضافه کرده سپس ارلن را به مدت ۲۴ ساعت روی شیکر افقی به هم زده و محتویات ارلن را با آب مقطر به حجم یک لیتر رسانده و به مدت یک دقیقه همزده و همزمان با ورود هیدرومتر زمان‌گیری را انجام می‌دهیم. پس از ۴۰ ثانیه اولین قرائت 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.

⁴ Inert Organic Matter

⁵ Decomposable Plant Material

⁶ Resistant Plant Material

⁷ Microbial Biomass

⁸ Humified Organic Matter

⁹ Top Soil Moisture Deficit

¹ Sand

² Silt

³ Clay

دسترس نباشد، می‌توان متوسط تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه را با استفاده از داده‌های هواشناسی تعیین و به کمک رابطه (۱-۳) تبخیر از سطح آزاد را محاسبه و شبیه‌سازی نمود (Coleman و Jenkinson, 2008).

(۱)

Evaporation = 'Mean potential transpiration' / 0.75
 که در آن، Evaporation: تبخیر از سطح آزاد، Mean potential transpiration: متوسط تبخیر و تعرق پتانسیل می‌باشد. متوسط ماهانه درجه حرارت هوا: درجه حرارت هوا بیشتر از دمای خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد، زیرا درجه حرارت هوا به آسانی قابل دستیابی است. در سطح خاک، متوسط ماهانه درجه حرارت هوا نشان‌دهنده متوسط ماهانه درجه حرارت خاک می‌باشد. در صورتی که درجه حرارت خاک در عمق ۲۰ سانتی‌متری نشان‌دهنده تفاوت تنها ۱+ درجه سانتی‌گراد متوسط ماهانه درجه حرارت هوا می‌باشد.

مقدار رس: درصد رس برای محاسبه مقدار آب در

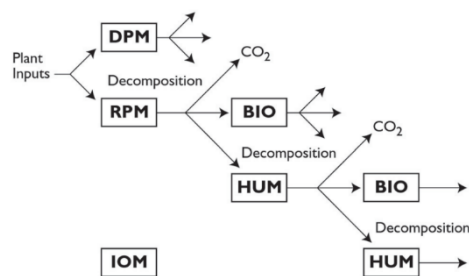
دسترس گیاه که در خاک می‌تواند نگه داشته شود، به کار می‌رود. همچنین، درصد رس بر تجزیه موادآلی اثر می‌گذارد.

نسبت DPM/RPM: نسبت ماده گیاهی قابل تجزیه به ماده گیاهی مقاوم به تجزیه بوده که نشان‌دهنده نرخ تجزیه مواد گیاهی ورودی می‌باشد.

پوشش خاک: این متغیر برای نشان دادن مزروعی بودن یا بایر بودن خاک ضروری است، زیرا تجزیه در خاک بایر سریع‌تر از خاک مزروعی انجام می‌شود و در خاک مزروعی سطح خاک دیرتر خشک می‌شود.

ورود بقایای گیاهی: مقدار بقایای گیاهی که ماهانه به خاک اضافه می‌شود (تن در هکتار در ماه).

مقدار کود دامی ۱۰ FYM: این ورودی متفاوت از ورودی بقایای تازه گیاهی در نظر گرفته شده است (تن در هکتار در ماه). عمق لایه نمونه‌برداری شده خاک: به‌طور معمول خاک سطحی (سانتی‌متر)، لایه صفر تا ۲۳ سانتی‌متر می‌باشد.



شکل ۳ - ساختار مدل RothC-26.3 (Coleman and Jenkinson, 2008)

مدل و به‌طور کلی در هر جا که نیاز به پیش‌بینی میزان کربن آلی در خاک با استفاده از بقایای گیاهی و کوددهی باشد، می‌بخشد.

کالیبراسیون مدل: با تغییر فاکتورهای اقلیمی ورودی مدل (دما، بارندگی) و نیز پوشش خاک، ضرایب تجزیه a, b, c مرتبط به دما و پوشش خاک به‌صورت خودکار درون مدل تغییر می‌یابد. بنابراین با وارد کردن اطلاعات اقلیمی به‌عنوان ورودی مدل که داده‌های سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۸ خواهد بود. سرعت تجزیه وابسته به دما، رطوبت خاک و وضعیت پوشش گیاهی ماهیانه برای منطقه مورد مطالعه تغییر می‌یابد. از آنجا که داده‌های کربن آلی به‌صورت مستقیم اندازه‌گیری شده و این پارامتر در کالیبراسیون مدل Roth C از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، ورودی‌های مدل به نحوی تغییر می‌یابند که نتایج شبیه‌سازی شده حاصل از مدل با مقادیر اندازه‌گیری شده در سال‌های مورد نظر برابر گردد. این مرحله کمک خواهد کرد تا ضرایب تجزیه مناسب با منطقه مورد مطالعه و اکوسیستم‌های مرتعی کوهستانی در مدل به‌درستی محاسبه گردد.

تعیین اعتبار مدل: جهت تعیین اعتبار مدل از داده‌های سال بهار، تابستان و پاییز ۱۳۹۶ استفاده می‌گردد. هر چند که در صورت امکان استفاده از داده‌های زمانی طولانی‌تر در هر مدلی می‌تواند به تعیین اعتبار دقیق‌تری از مدل بیانجامد اما محدودیت‌های زمانی و مالی این امکان را در طول این پایان‌نامه فراهم نخواهد کرد. همچنین به منظور امکان استفاده از سه

مدل Roth به مقادیر پارامتری ابتدایی DPM, RPM, BIO, HUM نیاز دارد که مقدار اولیه آن‌ها شناخته شده نیست و فقط مقدار کربن آلی خاک (SOC) پارامتر قابل دسترس و اندازه‌گیری می‌باشد. به‌منظور دستیابی به تخمینی از مقادیر بخش‌های مختلف کربن آلی خاک، مدل می‌تواند در یک مرحله مقادیر این پارامترها را از مقادیر موجود کربن آلی خاک شبیه‌سازی کند. مرحله مهم در آماده‌سازی داده‌ها، اجرای سناریوهای مدل است که مجموعه‌ای از محاسبات ضروری برای تخمین مقدار ماهانه کربن آلی می‌باشد. پژوهش حاضر، روندی برای محاسبات سریع ارائه می‌کند که از مزارع محصول شروع می‌شود و زیست توده روی زمین را نیز برآورد می‌کند. به‌منظور دستیابی به نتایج واقعی از این مدل، کالیبره کردن شبیه‌سازی مدل از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است، شبیه‌سازی باید در سایت‌های مستقل انجام شود و تجزیه‌های آزمایشگاهی کربن آلی خاک باید قابل اعتماد بوده تا بتوان نتایج رضایت‌بخشی را بوسیله مدل شبیه‌سازی نمود.

در مجموع، مدل RothC ویژگی‌هایی نظیر قابلیت یادگیری، قابلیت تعمیم، ساختار ساده (Nemoto, 2010)، دسترسی آسان به اطلاعات، سهولت استفاده از مفروضات، تعداد کم پارامترهای مورد نیاز (Zimmermann et al 2006)، قابلیت اجرا برای یک منطقه وسیع (Shirato, 2005) را دارد. این ویژگی‌ها کارایی بالایی به مدل، در بعضی کاربردها مانند سازگاری با شرایط منطقه، سطح دقت تخمین‌های

ریاضی مناسب نظیر تبدیل لگاریتمی، نمائی، کاکس باکس، بسته به نوع هدف و نیز ماهیت متغیرها، استفاده شد. برای تعیین همبستگی بین داده‌ها یا متغیرهای اندازه‌گیری شده، ضرایب همبستگی بین داده‌ها محاسبه و در یک ماتریس همبستگی ارائه شد تا قضاوت اولیه در خصوص ارتباط آماری و منطقی بین متغیرها انجام شود.

معیارهای ارزیابی: در این پژوهش نتایج حاصل از روش‌های مختلف تحلیل و برآورد، براساس معیارهای آماری، شامل ریشه دوم میانگین مربعات خطای تخمین (RMSE)، میانگین خطای اریبی (MBE) و ضریب کارائی (EF) ارزیابی شدند. برای محاسبه این شاخص‌ها از روابط (۲ تا ۶) استفاده شد (Schumpf et al., 2011; Khalil et al., 2013).

ریشه دوم میانگین مربع خطا (RMSE): این معیار به صورت زیر محاسبه شده و هر قدر به صفر نزدیکتر باشد، بیانگر خطای کمتر روش است.

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - Q_i)^2}{n} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

در نتایج مورد بررسی به دلیل استفاده از خطای نسبی، مقدار RMSE نسبت به متوسط مقدار اندازه‌گیری شده‌ها محاسبه شده است.

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - Q_i)^2}{n} \right]^{\frac{1}{2}} \times \frac{100}{\bar{Q}} \quad (4)$$

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^{۱۴} (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

سری داده زمانی جهت اعتبار سنجی این مدل با مولف مدل، دکتر کولمن مکاتبه شد و ایشان نیز امکان استفاده از مدل Roth C را در مطالعات کوتاه مدت تایید نمودند. سپس مدل به صورت خروجی ماهیانه اجرا می‌گردد و سه داده شبیه سازی شده بدست خواهد آمد. جهت تعیین اعتبار مدل داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده، از پارامترهای آماری R^2 ، RMSE^{۱۱} و PE^{۱۲} استفاده می‌گردد.

محاسبه ذخیره کربن خاک: برای محاسبه ذخیره کربن خاک بر حسب تن در هکتار از رابطه (۲) (Nieto et al., 2013; Qin et al., 2013) استفاده شد.

$$CS = 10,000 \times \%SOC \times Bd \times d \quad (2)$$

که در آن: CS ذخیره کربن بر حسب تن بر هکتار، SOC درصد کربن آلی خاک، Bd جرم مخصوص ظاهری بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب و d عمق نمونه‌برداری خاک بر حسب متر است.

بررسی و تحلیل آماری داده‌ها

ابتدا داده‌های جمع‌آوری شده در منطقه مورد مطالعه را وارد محیط نرم‌افزاری SPSS۲۵ نموده و پس از تعیین داده‌های پرت و تصمیم‌گیری راجع به این داده‌ها، داده‌های پرت کنار گذاشته شدند. سپس، ویژگی‌های آمار توصیفی داده‌ها که شامل مقادیر میانگین، حداکثر، حداقل و دامنه داده‌ها، واریانس، انحراف معیار، ضریب تغییرات، چولگی و کشیدگی است، به صورت جداولی تهیه شد.

هیستوگرام فراوانی داده‌ها و منحنی نرمال آن‌ها ترسیم و برای آزمون نرمال بودن داده‌ها، از آزمون کولموگروف اسمیرنوف استفاده شد. بیشتر متغیرهای اندازه‌گیری و ثبت شده، دارای توزیع نرمال بودند که از طریق شاخص‌های آماری چولگی و کشیدگی داده‌ها نیز این موضوع تایید شد. توزیع آماری برخی متغیرها حاکی از آن است که از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کنند. برای نرمال نمودن این دسته از داده‌ها، از یک تبدیل

¹³ Root Mean Square Error

¹⁴ Mean Bias Error

¹¹ Root Mean Square Error

¹² Performance Efficiency

شدت بهره برداری می باشد جهت تحلیل بیشتر موضوع کشیدگی و چولگی منفی در زمین‌های کشاورزی روندی رو به زوال کربن معدنی را نشان میدهد (جدول ۱). باتوجه به نتایج حاصل تفاوت معنی داری بین گروه کربن ذخیره در خاک موجود در مراتع با کشاورزی وجود دارد (شکل ۲).

داده‌ها می‌باشد. این معیار نیز هر قدر به صفر نزدیکتر باشد، نشان دهندهٔ 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.

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_o - Q_e)}{n} \quad (5)$$

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

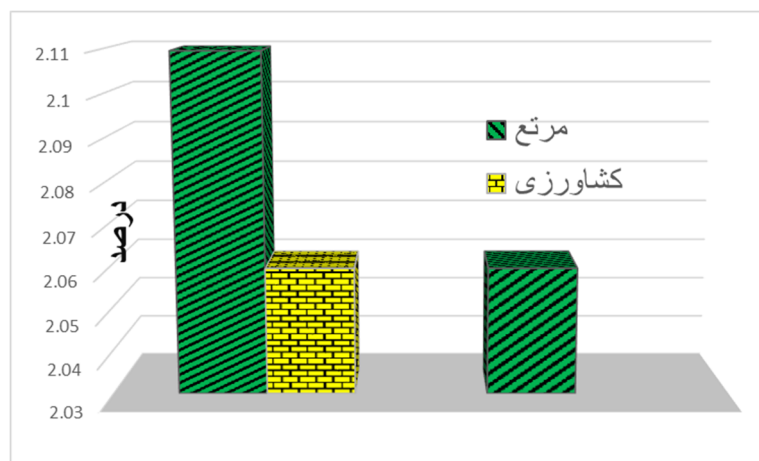
کارایی مدل‌سازی (EF)^{۱۵}: این شاخص مقادیر برآورد شده را با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه می‌کند. حداکثر مقدار این آماره برابر یک است. مقدار منفی EF بیانگر این است که میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده برآوردی بهتر از مقادیر برآورد شده را دارد. چنانچه تمامی مقادیر برآوردی و اندازه‌گیری شده برابر هم باشد، مقدار عددی این شاخص یک خواهد بود.

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2} \quad (6)$$

که در آن: EF کارایی مدل‌سازی، n تعداد داده‌ها، i شاخص تعداد داده‌ها، Qi مقدار اندازه‌گیری شده، Pi مقدار پیش‌بینی شده، $\bar{Q}$ متوسط مقدار اندازه‌گیری را نشان می‌دهد. در این مطالعه نتایج پیش‌بینی سری‌های زمانی مستخرج از مدل با نقاط واقعیت میدانی از نظر کربن آلی مقایسه و استدلال گردیده است.

نتایج

آنالیز اولیه حاصل از مطالعات آزمایشگاهی نشان میدهد که کربن ذخیره در خاک موجود در سطح مراتع (۲,۰۵٪ در هکتار) به وضوح کمتر از سطوح کشاورزی (۲,۱۳٪ در هکتار) در طول سال می‌باشد. این امر همراه است با واریانس بسیار بالای موجود در زمین‌های کشاورزی و در مقابل جالب توجه است که نوعی ثبات در مراتع دیده می‌شود. دلیل اصلی این موضوع استفاده کشاورزان محلی از کودهای مختلف و



نمودار ۱: فراوانی کربن ذخیره در نمونه‌های مناطق کشاورزی و مراتع مورد مطالعه

جدول ۱: آماره کربن ذخیره در خاک در نمونه‌های مناطق کشاورزی و مراتع

	مرتع		کشاورزی	
	آماره	استاندارد خطا	آماره	استاندارد خطا
میانگین	2.0598	0.13091	2.13	0.29
میانه	1.9800		2.095	
واریانس	0.514		1.25	
انحراف معیار	0.71702		1.122	
کمترین	0.83		0.23	
بیشترین	3.55		3.49	
دامنه	2.72		3.26	
کشیدگی	0.317	0.833	-0.162	0.597
چولگی	-0.745	0.29993	-1.623	1.1569

جدول ۲: مطالعه خاک شناسی در نمونه‌های مناطق کشاورزی و مراتع

	مرتع		کشاورزی	
	میانگین	استاندارد خطا	میانگین	استاندارد خطا
کربن ذخیره در خاک	2.06	0.13	2.14	0.30
درصد آهک	24.75	2.78	24.35	2.67
درصد اشباع	53.60	0.80	53.57	2.15
درصد سنگ ریزه	37.93	3.36	33.57	5.04
رس	44.85	1.36	40.74	2.73
سیلت	41.34	0.94	36.31	2.04
شن	13.80	1.33	22.96	4.28

خورد. مقدار آهک در نقاط نمونه برداری 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،

در ادامه آنالیز آماره‌ها بازگو کننده شباهت محیط نمونه برداری از بسیاری از جهت از جمله درصد آهک، درصد اشباع و درصد سنگ ریزه می باشد. اما تفاوت عمده در ساختار خاک و نسبت‌های آن به چشم می

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 ۲).

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 متراکم تر و در نهایت، میزان ذخیره کربن آلی خاک افزایش یافته است در مراتع گون زار، با افزایش درصد سنگ و سنگ ریزه و شن در بافت خاک، ذخیره کربن افزایش یافته است. نکته قابل توجه دیگر، همبستگی منفی و معنی دار بین آهک و ذخیره کربن خاک است ($r = -0.41$) که نشان می‌دهد مقادیر بالای آهک، موجب کاهش فعالیت بیولوژیک و توسعه ذخایر کربن خاک می‌شود. آهک روی حلالیت و جذب عناصر غذایی و فعالیت‌های زیستی در خاک اثر منفی داشته به طوری که، وقتی میزان آهک از ۳۰ درصد بیشتر باشد، با افزایش آهک فعالیت میکروبی در خاک و میزان رشد گیاه کمتر شده، در نتیجه ذخیره کربن آلی خاک کاهش می‌یابد. 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 در نتیجه CEC کاهش می‌یابد و میزان حاصلخیزی خاک کمتر شده باعث کاهش کربن آلی خاک می‌شود. 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 می‌شود. از سوی دیگر، وجود مقدار کم درصد شن در منطقه می‌تواند با قوام ساختمان خاک، شرایط بیولوژیک را برای توسعه ذخیره کربن مساعد نماید (جدول ۳).

از میان عوامل تشکیل دهنده خاک، اقلیم تأثیر ویژه ای بر نوع خاک‌ها و ویژگی‌های آنها از جمله کربن

آلی خاک دارد. کربن آلی خاک معمولاً در هر شرایط از بارش با کاهش دما افزایش می‌یابد. در نتیجه بررسی تأثیر مدیریت اراضی بر کربن آلی خاک، رابطه خطی بین کربن آلی و رس خاک گزارش کردند. اما مهمترین عامل موثر بر کاهش کربن آلی درصد آهک و بیشترین عامل در افزایش آن درصد اشباع است. در کل می‌توان به این نتیجه رسید که در سایت نمونه برداری ما معیارهای (اقلیم، تبخیر، دما، رس، درصد سنگریزه و درصد آهک) اثر منفی بزرگی بر کاهش ذخیره کربن آلی خاک دارند. در مقابل نیز شش عامل (ارتفاع، شیب به نسبت ناچیز، درصد اشباع، شن، سیلت و بارندگی) بر افزایش کربن آلی اثر گذارند. به همین دلایل، بین ذخیره کربن با درصد رس رابطه معنی دار و منفی و با درصد رطوبت اشباع و شن رابطه معنی دار و مثبت ($p < 0.01$) وجود دارد. از سوی دیگر، بین درصد سنگ ریزه با ذخیره کربن رابطه معنی دار و مثبت و با درصد آهک رابطه معنی دار و منفی ($p < 0.05$) برقرار است.

رابطه بین ذخیره کربن با متغیرهای فیزیکی و مدیریتی حوضه، مورد مطالعه قرار گرفت تا بتوان متغیرهای مؤثر بر ذخیره کربن آلی خاک را از بین متغیرهای فیزیکی و مدیریتی خاک تعیین نمود. چراکه، بررسی روابط همبستگی نشان داد ذخیره کربن آلی خاک با بیش از یک متغیر مستقل دارای همبستگی معنی دار است. از این رو، استفاده از مدل‌های رگرسیونی که در قسمت‌های بعدی ارائه شده، به منظور تخمین ذخیره کربن که متکی به اطلاعات ویژگی‌های حوضه هستند، می‌تواند مفید واقع شود. بدین منظور، به بررسی روابط خطی و غیرخطی چندمتغیره پرداخته شد. در صورت وجود رابطه معنی دار بین متغیرهای فیزیکی و مدیریتی با متغیر ذخیره کربن، می‌توان در نقاط فاقد آمار حوضه، ذخیره کربن را برآورد نمود.

جدول ۳: روابط همبستگی در نمونه‌های مناطق کشاورزی و مراتع

اقلیم	تبخیر	بارندگی	دما	رس	سیلت	شن	درصد سنگریزه	درصد اشباع	درصد آهک	شیب	ارتفاع	ذخیره کربن
-0.26	-0.25	0.30	-0.32	-0.26	0.16	0.24	-0.29	0.66	-0.41	0.01	0.40	ذخیره کربن

ارتفاع	0.40		-0.06	-0.33	0.22	-0.02	0.08	0.06	-0.09	-0.76	0.62	-0.52	-0.67
شیب	0.01	-0.06		-0.10	-0.05	0.23	-0.18	-0.06	0.17	0.12	-0.17	0.08	-0.20
درصد آهک	-0.41	-0.33	-0.10		-0.50	0.03	-0.20	-0.15	0.23	0.34	-0.26	0.32	0.36
در صد اشیاع	0.66	0.22	-0.05	-0.50		-0.23	0.48	0.30	-0.53	-0.22	0.22	-0.18	-0.22
درصد سنگریزه	-0.29	-0.02	0.23	0.03	-0.23		-0.09	-0.33	0.25	0.10	-0.09	0.10	-0.16
شن	0.24	0.08	-0.18	-0.20	0.48	-0.09		0.17	-0.84	-0.07	0.03	-0.10	-0.15
سیلت	0.16	0.06	-0.06	-0.15	0.30	-0.33	0.17		-0.68	0.02	-0.15	0.11	-0.02
رس	-0.26	-0.09	0.17	0.23	-0.53	0.25	-0.84	-0.68		0.05	0.06	0.01	0.12
دما	-0.32	-0.76	0.12	0.34	-0.22	0.10	-0.07	0.02	0.05		-0.92	0.87	0.62
بارندگی	0.30	0.62	-0.17	-0.26	0.22	-0.09	0.03	-0.15	0.06	-0.92		-0.91	-0.53
تبخیر	-0.25	-0.52	0.08	0.32	-0.18	0.10	-0.10	0.11	0.01	0.87	-0.91		0.57
اقلیم	-0.26	-0.67	-0.20	0.36	-0.22	-0.16	-0.15	-0.02	0.12	0.62	-0.53	0.57	

جدول ۴ نشان می‌دهد در مدل رگرسیون گام به گام با ورود تک تک معیارها به مدل در دو مرحله مدل توانسته است به حل معادله کربن ذخیره در خاک با رابطه همبستگی $0.7/$ دست پیدا کند. در گوشه دیگر مقدار R Square نشان می‌دهد با معیارهای مدنظر می

توان 50% تغییرات را درست پیشبینی نمود. در اینجا خالی از لطف نیست که اشاره‌ای به آماره دوربین-واتسون نمود که مقدار $2/20$ را نشان می‌دهد که به نحوی بازگو کننده خودهمبستگی داخلی بسیار پایین است و معیارها اثر خودهمبستگی ناچیزی دارند.

جدول ۴- خلاصه مدل خطی رگرسیون نمونه‌های مناطق کشاورزی و مراتع

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	
1	.659 ^a	.435	.421	.64940	.435	32.303	1	42	.000	
2	.709 ^b	.503	.478	.61649	.068	5.605	1	41	.023	2.195

a. Predictors: (Constant), S.P

b. Predictors: (Constant), S.P, elevation

c. Dependent Variable: O.C

نتایج حاصل از آنالیز رگرسیون گام به گام نشان می‌دهد (جدول ۵) با مقدار عرض از مبدا $-6,028$ در

معادله درصد اشباع با ضریب اولیه $0,090$ و ارتفاع با $0,002$ قرار دارد.

جدول ۵: ضرایب مدل خطی رگرسیون نمونه‌های مناطق کشاورزی و مراتع

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-3.190	.933		-3.419	.001
	S.P	.098	.017	.659	5.684	.000
2	(Constant)	-6.028	1.490		-4.044	.000
	S.P	.090	.017	.601	5.319	.000
	elevation	.002	.001	.267	2.367	.023

a. Dependent Variable: O.C

جدول ۶: آماره‌های مدل خطی رگرسیون نمونه‌های مناطق کشاورزی و مراتع

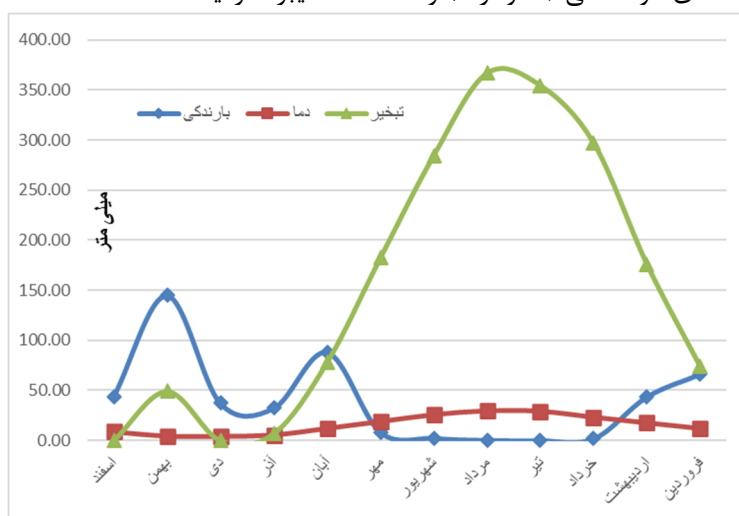
	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	.6408	3.2300	2.0839	.60527	44
Std. Predicted Value	-2.384	1.894	.000	1.000	44
Standard Error of Predicted Value	.093	.288	.153	.049	44

Adjusted Predicted Value	.5883	3.2205	2.0856	.60970	44
Residual	-1.34701	1.74999	.00000	.60198	44
Std. Residual	-2.185	2.839	.000	.976	44
Stud. Residual	-2.287	2.986	-.001	1.020	44
Deleted Residual	-1.47570	1.93629	-.00171	.65799	44
Stud. Deleted Residual	-2.418	3.334	.003	1.058	44
Mahal. Distance	.006	8.413	1.955	1.989	44
Cook's Distance	.000	.316	.032	.070	44
Centered Leverage Value	.000	.196	.045	.046	44

a. Dependent Variable: O.C

همچنین داده‌های برداشت صحرائی طی مراحل زیر
کالیبره گردید:

مدل روتامستد با استفاده از داده‌های هواشناسی
مستخرج از آمار ایستگاه‌های هواشناسی (نمودار ۳) و



نمودار ۳: میانگین سه متغیر (تبخیر، دما و بارندگی) در منطقه مورد مطالعه
در ایستگاه سرفیروز آباد

مدل به‌طور معکوس اجرا شده و مقادیر بقایای گیاهی
هر ماه به خاک برگشت داده می‌شود و محاسبه می
شود (جدول ۷) لازم به ذکر است که در ابتدا فایل
زمین لازم بود مقادیر بقایای گیاهی بر اساس ماه‌های
دارای پوشش، نوع مدیریت و مقدار کل کربن اندازه
گیری شده وارد شود. این مقادیر بعد از اجرای
معکوس اصلاح گردید.

تعیین فاکتور کیفیت بقایا (DPM/RPM): در این
پژوهش برای فاکتور بقایا از مقدار پیش فرض مدل
برای کاربری کشاورزی و مرتع یعنی ۱/۴۴ استفاده
شد (جدول ۷).

برای تعیین مقادیر بقایای گیاهی، با وارد کردن
داده‌های هواشناسی، مدیریت زمین، فاکتور کیفیت
بقایا، مقدار کربن اندازه‌گیری شده و سال نمونه برداری

جدول ۷: ویژگی‌های کربن آلی در مدل

نوع کاربری	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	کربن آلی خاک (تن در هکتار)	میانگین سالانه	IOM	وزن ظاهری خاک
---------------	---------	----------	-------	-----	-------------------------------	----------------	-----	---------------------

مرتع	۰,۴۱۴	۰,۴۱۴	۰,۴۱۴	۱,۴۸	۵۲,۷۴	۳,۲۲	۴,۴۸	۱,۲۵
زراعت	۰,۱۹۳	۰,۴۲۴	۰,۶۳۶۹	۱,۸۹۱۴	۵۱,۴۹	۳,۱۴	۴,۳۶۳	۱,۲۲

جدول ۸: ویژگی‌های کربن آلی در مدل

زراعت									مرتع								
DI4C	-93.38	-93.61	-93.95	-90.97	-87.07	-83.71	-78.65	-81.6	-82.85	-84.75	-85.25	-85.45	-86.770	-	جمع		
CO2	0.0653	0.1956	0.3838	0.4453	0.5908	0.8661	1.2022	1.7623	2.0256	2.5038	2.6554	2.72	1.285	15.416			
TOTAL	52.3145	52.1843	51.996	52.3646	52.849	53.2438	53.8977	53.3375	53.0743	52.5961	52.4444	52.3799	52.10	632.682			
HUM	40.476	40.461	40.437	40.429	40.426	40.436	40.455	40.498	40.507	40.499	40.488	40.482	40.466	485.592			
BIO	1.068	1.056	1.036	1.029	1.027	1.036	1.053	1.090	1.098	1.089	1.079	1.074	1.061	12.733			
RPM	6.358	6.273	6.144	6.277	6.472	6.658	6.971	6.836	6.749	6.527	6.439	6.400	6.509	78.104			
DPM	0.049	0.031	0.016	0.266	0.561	0.750	1.055	0.550	0.358	0.118	0.075	0.061	0.324	3.890			
DI4C	-94.9	-95.14	-95.48	-92.37	-88.52	-85.2	-80.17	-83.12	-84.38	-86.29	-86.79	-86.99	-88.27	-1059.35			
CO2	0.0658	0.1969	0.3865	0.4483	0.5972	0.8757	1.2143	1.7769	2.0415	2.5224	2.675	2.74	1.295	15.541			
TOTAL	52.7864	52.6553	52.4657	52.8539	53.335	53.7265	54.3779	53.8153	53.5507	53.0698	52.9172	52.8522	52.810	638.406			
HUM	40.773	40.7585	40.7343	40.7258	40.7233	40.7334	40.7528	40.7953	40.8051	40.7962	40.7852	40.7794	40.764	489.162			
BIO	1.0757	1.0631	1.043	1.0361	1.0345	1.044	1.0613	1.0981	1.1055	1.0969	1.0867	1.0815	1.069	12.826			
RPM	6.404	6.3179	6.1882	6.3295	6.5232	6.7088	7.0213	6.8855	6.797	6.5742	6.4856	6.4457	6.557	78.681			
DPM	0.0493	0.0314	0.0157	0.278	0.5694	0.7557	1.0581	0.5519	0.3586	0.1181	0.0751	0.0611	0.327	3.922			
	فروزمین	اردمهشت	خرداد	تیر	مراد	شهرپور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	میانگین				

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 اندازه گیری شده در سال ۱۳۹۶ نزدیک گردد (جدول

۸). در نهایت خلاصه ارزیابی نتایج را می توان در جدول ۹ نشان داد.

جدول ۹: آماره های صحت سنجی مدل سازی

سال	کل کربن میدانی	پیشبینی	خطای باقی مانده	میانگین خطا	RMSE	MBI	EF
۸۱	50.65	50.73	-0.08	0.0064	0.11	-0.05	-0.96
۸۸	49.17	49.11	0.06	0.0036			
۹۱	50.22	50.42	-0.1963	0.038534			

(HUM, IOM) و اثرات و برهمکنش بین پنج بخش نامبرده با کربن آلی خاک، می تواند اثرات این بخش ها را در کمیت کربن آلی خاک مشخص کند. حال باید دید که از میان این بخش های مستقل دخیل در تغییرپذیری کربن آلی خاک، اعم از بقایای گیاهی و کربن آلی خاک، اولویت تأثیرگذاری از آن کدامیک از بخش ها است. در این شبیه سازی، به بررسی پنج جز ماده آلی به صورت سالانه و برای کل حوضه پرداخته شده است (جدول ۱۰).

نتایج نشان می دهد که مقدار کربن کل ذخیره برای مراتع ۴/۴۸ تن درهکتار و این مقدار در کشاورزی سطح پایین تری دارد و به مقدار ۴/۳۶ تن در هکتار می رسد. در کل کلیه شاخص ها نشان دهنده اثر زراعت بر تضعیف ذخیره کربن در تمام مراحل دارد.

در منطقه مورد مطالعه، با استفاده از مدل Roth ضریب همبستگی بین ۰/۴۳ تا ۰/۵۵ محاسبه شد. نتایج نشان داد شبیه سازی تغییرات زمانی کربن به عواملی چون اقلیم، بافت، مدیریت کوددهی بستگی داشته و توانستند ضریب همبستگی ۰/۸۹ را برای نتایج مدل بدست آورند. نتایج بدست آمده نشان داد میانگین مقادیر اندازه گیری شده متوسط کربن برآورد شده بین ۴۹/۱۱ تا ۵۰/۳۵ تن در هکتار بدست آمد. به عبارت دیگر، دامنه خطای تخمین مدل (RMSE) نسبت به میانگین مقادیر اندازه گیری شده کمتر از ۰/۴۵ درصد محاسبه شد.

مدل Roth، می تواند 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, IOM, HUM)

جدول ۱۰: پنج جز تشکیل دهنده ماده آلی از کل کربن شبیه سازی شده در کل حوضه

	مراتع			زراعت		
	Amount	Radio Age	Delta Value	Amount	Radio Age	Delta Value
DPM	0.0611	-391.47	49.93	0.0609	-391.47	49.93
RPM	6.4457	-451.13	57.75	6.3996	-451.13	57.75
BIO	1.0815	-403.93	51.62	1.0737	-403.93	51.62
HUM	40.7794	-172.23	21.67	40.482	-172.23	21.67
IOM	4.4845	50000	-998.02	4.3636	50000	-998.02
Total	52.8522	495.34	-59.79	52.3799	481.83	-58.2

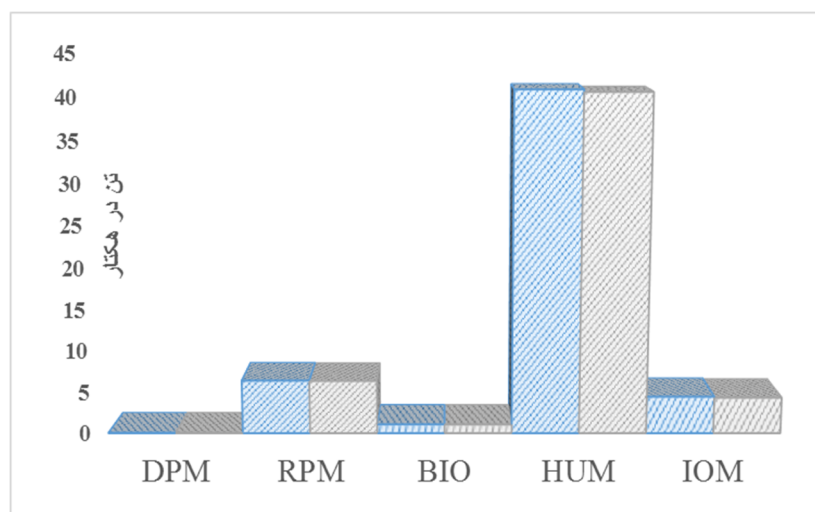
تثبیت شده، است که بوسیله زیست توده میکروبی تجزیه می شود.

بررسی ها نشان می دهد بیشترین جز به HUM و کمترین جز به DPM اختصاص دارد. در شکل (۴) مقادیر بخش های مختلف ماده آلی که از برآورد تغییرات کربن آلی شبیه سازی شده استنتاج شده، در

در مدل Roth، کربن آلی خاک به پنج جزء اساسی (DPM, RPM, BIO, HUM, IOM) تفکیک می شود. در ابتدا بیشتر مواد گیاهی به DPM, RPM تقسیم می شوند که در همان زمان بقایای گیاهی در خاک می توانند پدیدار شوند. در این مدل کربن آلی خاک

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

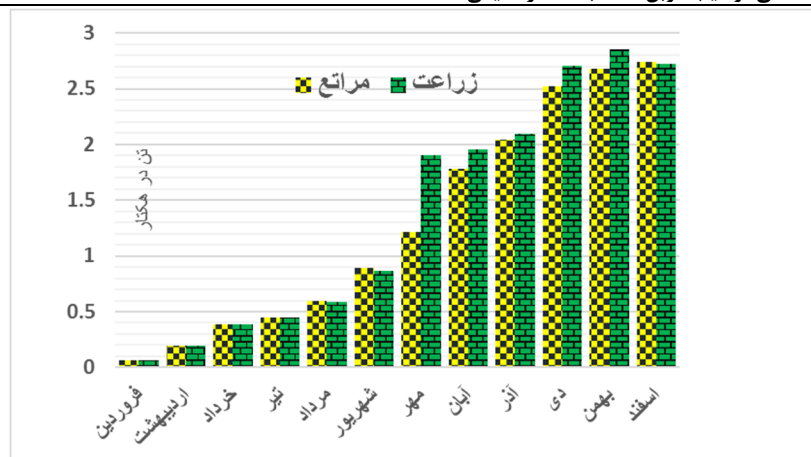
آلی، تفاوت آنها در تعیین تغییرپذیری کربن آلی خاک است. متغیرهای مدیریتی چون برداشت بقایا، کوددهی و آیش بودن اراضی و سیستم‌های مختلف خاکورزی نقش مؤثرتری در تعیین تغییرپذیری کربن آلی در حوضه را دارا می‌باشد.



شکل ۴- مقادیر اجزای مختلف ماده آلی خاک در مدل Roth در کاربری زراعت

در یک نگاه کلی و با مشاهده وضعیت نمودار و ارقام جدول یاد شده ملاحظه می‌شود که تغییرپذیری کربن آلی خاک در درجه اول تابع HUM است. 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 DPM, RPM بوده است. مقدار HUM تجزیه حداکثری DPM به HUM را نشان می‌دهد و RPM به دلیل مقاوم بودن در برابر تجزیه در درجه دوم اهمیت قرار دارد. ورودی کربن گیاهی به DPM و RPM تقسیم شده، اما هر دو DPM, RPM به CO₂ (از سیستم خارج می‌شود) و نسبتی از آن به BIO+HUM

تجزیه می‌شود که این نسبت به وسیله میزان رس خاک تعیین می‌شود. BIO و HUM هر دو تجزیه می‌شوند تا CO₂ و HUM بیشتری تشکیل شود. تغییرات میزان تجزیه به دما، رطوبت و درجه‌ای از خاک پوشیده از گیاه وابسته است. در مدل Roth کربنی که از سیستم خارج می‌شود به صورت CO₂ می‌باشد که پس از محاسبات لازم مدل توانست متوسط مقدار CO₂ را که در بازه زمانی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۰ از حوضه خارج می‌شود را حدود ۱۰۹ تن در هکتار برآورد کند. در شکل (۵) مقادیر CO₂ خارج شده در دو کاربری برای هر ماه به تفکیک مشخص شده است.

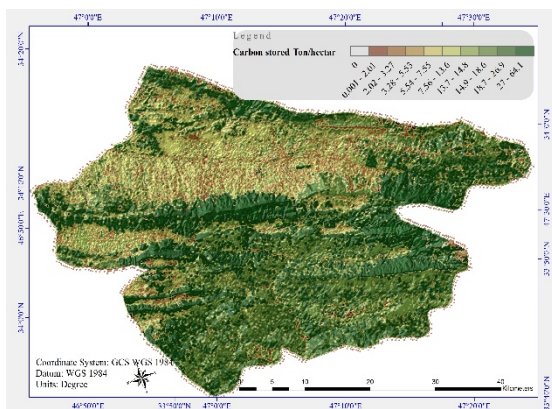


شکل ۵: مقادیر CO₂ خارج شده در دو کاربری برای هر ماه

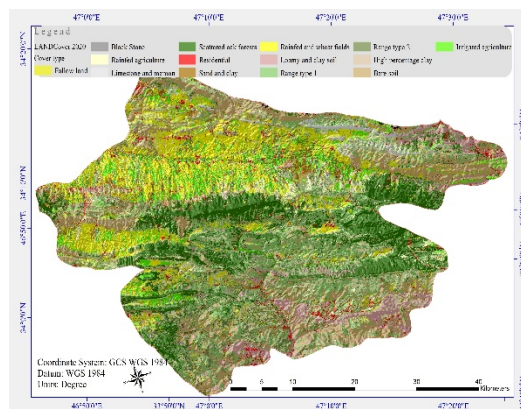
ترسیب کربن نشان می‌دهد که در منطقه سرفیروز آباد فعالیت شدید کشاورزی و عدم توجه به فعالیت‌های حفاظتی خاک و ذخیره کربن سبب نزول ذخیره کربن موجود در این حوضه گردیده است لذا در مقابل با توجه به اقدامات صورت گرفته در قسمت جنوبی حوضه مشخص است که رویه کشاورزی پایدار و توجه به کود دهی متناسب حضور و کشت متناوب سبب ارتقای ذخیره کربن گردیده است و شرایط نسبتاً معتدلی را سبب گردیده است. نتایج کمی مدل نشان می‌دهد که در مناطق روستایی میزان ۲/۲ تن در هکتار کربن در خاک وجود دارد و در خاک‌های لمی و آهکی میزان ۲۶ و ۲/۳ تن کربن ذخیره بصورت متوسط در کل حوضه سرفیروز آباد دیده می‌شود. از کاربری‌های کشاورزی موجود کشت و زرع یونجه، گندم و جو و آیش‌ها به ترتیب مقدار ۱۷، ۱ و ۷، ۷ و ۳، ۴۱ تن در هکتار بصورت متناوب دیده می‌شود برآوردها نشان می‌دهد که تیپ مرتعی متراکم سبب ایجاد ترسیب کربن به میزان ۴۸/۸۱ تن در هکتار می‌رسد که نسبت به برآوردهای ROTH مقدار دارای تفاوت ۵ تن در هکتار می‌باشد، البته این برآورد از کل حوضه بوده تفاوت مکانی که بصورت میانگین و تحت اثر عامل توپوگرافی همچون ارتفاع است در نظر نگرفته شد.

میزان متوسط ذخیره کربن در زراعت برابر با حدود ۵۲/۷۲ تن در هکتار بوده و متوسط CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ خارج شده نیز حدود ۲/۲۸ تن در هکتار می‌باشد که تقریباً حدود ۲/۴۰ درصد از میزان کربن ذخیره شده در این سال به صورت CO₂ از خاک خارج شده است.

نتایج اولیه از وضع موجود کاربری‌های موجود در حوضه منطقه مطالعه نشان می‌دهد ۱۹ درصد مساحت منطقه را پوشش مرتع به خود اختصاص داده است. ۱۶ درصد نیز جنگل‌های بلوط ۲۰-۵۰ ساله که نقش موثری در ترسیب بازی می‌کند. در مقابل ۱۰ درصد منطقه دارای زراعت دیم و ۷ درصد زراعت آبی می‌باشد. مشخصاً درصد بالای از ناحیه مورد نظر از پوشش ضعیف و خاک‌های لخت تشکیل گشته است. بنابراین با توجه به دستورالعمل‌های IPCC و نتایج میدانی مقدار کربن موجود در چهار بخش زیر و روی خاک، خاک و زیست توده در جدول راهنما مدل بارگذاری گردید و مدل برای دوره اخیر مورد اجرا قرار گرفت است (شکل ۶). نتایج حاصل از مدل مکانی



شکل ۷: ذخیره کربن مکانی
در دوره ۱۳۹۶



شکل ۶: نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۹۶ از ماهواره
Landsat

نتیجه‌گیری

از میان عوامل تشکیل دهنده خاک، اقلیم تأثیر ویژه‌ای بر نوع خاک‌ها و ویژگی‌های آنها از جمله کربن آلی خاک دارد. کربن آلی خاک معمولاً در هر شرایط از بارش با کاهش دما افزایش می‌یابد (Rajeev et al., 2021; Arcoumanis et al., 2008). طی پژوهشی عنوان داشته‌اند افزایش دما تا ۱۷ درجه باعث کاهش کربن آلی و افزایش بارش تا ۸۰ سانتی‌متر باعث افزایش کربن آلی خاک شده و پس از آن ثابت می‌شود. در مقیاس سایت‌ها کشاورزی در تیر به‌طور کامل پوشش گیاهی برداشت می‌شود و بیشتر ماه‌های سال را بدون پوشش می‌باشد که باعث می‌شود ورود بقایای گیاهی به خاک کمتر باشد و ذخایر کربن آلی خاک کاهش یابد. مطالعات متعدد بر این مبحث صحه گذاشته‌اند که خاک‌های رسی و خاک‌های لومی در مقیاس با خاک‌های شنی مواد آلی بیشتری دارند (Washington-allen et al., 2008). خاک‌های ریز بافت با تأثیر بر تجمع الگوی معدنی شدن بر ذخیره کربن آلی اثر دارند و مکانیسم شیمیایی و فیزیکی لازم را برای حفاظت از کربن آلی در مقابل تجزیه میکروبی دارند (Lefebvre et al., 2020). نیز در نتیجه تحقیق خود تحت عنوان بررسی تأثیر مدیریت اراضی بر کربن آلی خاک؛ رابطه خطی بین کربن آلی و رس خاک گزارش کردند.

در منطقه مورد مطالعه، با استفاده از مدل Roth ضریب همبستگی بین ۰/۴۳ تا ۰/۵۵ محاسبه شد. در

صورتی که (Cerri et al., 2010) در برزیل و افریقای جنوبی پژوهشی با استفاده از مدل Century انجام دادند، اثر مدیریت بقایای نیشکر بر پویایی کربن خاک ارزیابی شد. نتایج نشان داد شبیه‌سازی تغییرات زمانی کربن به عواملی چون اقلیم، بافت، مدیریت کوددهی بستگی داشته و توانستند ضریب همبستگی ۰/۸۹ را برای نتایج مدل بدست آورند. در گزارش (Farina et al., n.d.) شبیه‌سازی مقدار ذخیره کربن آلی خاک با استفاده از مدل Roth در کاربری‌های یونجه، مرتع و تاکستان در شمال شرقی ایتالیا مقایسه شده و نتایج نشان داد که مقدار ذخیره کربن در سطح خاک این کاربری‌ها بین ۴۸/۹ تا ۶۵/۴ تن در هکتار برآورد شده است. در پژوهش مشابهی، (Honma et al., 2016)، توانستند با اجرای مدل Roth در منطقه نیجر در غرب آفریقا، ضریب همبستگی ۰/۲۸ را بدست آورند. همچنین، در شمال چین در بررسی مقدار ذخیره کربن خاک برآورد شده با اجرای مدل Roth، در قطعاتی که از کود استفاده شده، ضریب همبستگی ۰/۵۵ و در قطعاتی که از کود استفاده نشده، این ضریب معادل ۰/۶۶ را بدست آوردند (Zhao et al., 2019). با علم به این که نتایج جدول ۱۰ نشان داد بالاترین ضریب همبستگی ۵۵٪ مربوط به کم خاک ورزی بوده است. نتایج بدست آمده نشان داد میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده متوسط کربن برآورد شده بین ۴۹/۱۱ تا ۵۰/۳۵ تن در هکتار بدست آمد. به عبارت دیگر، دامنه خطای تخمین مدل (RMSE) نسبت به

زراعی با خاکورزی معمولی $ME=0.6$ ، $RMSE=1.6$ ، $MAE=2.4$ و در اراضی کم خاکورزی $ME=0.23$ ، $RMSE=1.8$ ، $MAE=2.9$ محاسبه شده و کم برآورد هم بوده است. در مقایسه بررسی اثر عملیات خاکورزی و مدیریت بقایای محصول بر مقدار کربن آلی خاک نتایج نشان داد، استفاده از دو تکنیک خاکورزی حفاظتی و برگرداندن بقایا به خاک، در میان مدت (یک دوره نه ساله)، قادر است کربن آلی خاک را از ۴۲ تا ۶۶ درصد افزایش دهد (Vanlauwe et al., 2011). الگوهای مدیریت اراضی در کاربری زراعی به طرق مختلفی می‌تواند بر ذخیره کربن خاک اثر بگذارد. در عرصه‌های زراعی، کشاورزی حفاظتی با تکیه بر ارکان مهمی نظیر مصرف بهینه نهاده‌ها، خاکورزی حفاظتی، مدیریت بقایا و نظام تناوبی متناسب با شرایط خاک و منطقه قادر است به شکل مؤثری بر کمیت ذخیره کربن خاک تأثیر بگذارد. شبیه سازی مقدار کربن آلی خاک با استفاده از مدل Roth در سالهای ۱۹۷۸-۲۰۰۰ و ۲۰۲۰-۲۰۵۰ مقایسه شده و نتایج نشان داد که روند کربن در خاک با کاهش کمی در مقدار کربن آلی حدود ۳۱۷۰ گرم بر مترمربع تا سال ۲۰۵۰ است (Rattan Lal et al. 2003; R. Lal 2004; Avili and Malekshan 2019).

میانگین مقادیر اندازه گیری شده کمتر از ۴۵٪ درصد محاسبه شد. این نتیجه با یافته‌های زیر تا حدودی هم خوانی دارد (McFarquhar et al., 2001). با اجرای مدل Roth برای ۳۲ سایت مورد بررسی در اراضی کشاورزی اسلواکی در سال ۱۹۹۳، با مقدار میانگین ذخیره کربن مشاهداتی (۳۸ تن در هکتار) و شبیه سازی (۴۳ تن در هکتار)، $RMSE$ به‌عنوان معیار دقت/خطا ۲۹ درصد بدست آمد. در حالیکه برای سال ۲۰۰۲ با مقدار میانگین ذخیره کربن مشاهداتی (۴۶ تن در هکتار) و شبیه سازی (۴۴ تن در هکتار)، $RMSE$ به ۱۴ درصد کاهش یافت. در بررسی دیگری، با متوسط کربن آلی اندازه‌گیری شده بین ۳/۴۴ تا ۴/۰۵ تن در هکتار و متوسط کربن برآورد شده بین ۰/۵۴ تا ۰/۶۳ تن در هکتار، دامنه خطای تخمین مدل ($RMSE$) بین ۱۲/۶۵ تا ۲۹/۵۹ تن در هکتار بوده که به عنوان شاخص اختلاف بین کربن آلی اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده، این میزان خطا دلالت بر رضایتبخش بودن عملکرد مدل داشته است (Honma et al., 2016).

به منظور برآورد تغییرات کربن آلی خاک برای سیستم‌های مختلف کشت 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 اندازه‌گیری شده سالانه در اراضی

منابع

۱. اسماعیلی، محمود اعظمی، بیژن قهرمان، کاظم. ۱۳۹۷. "بررسی پتانسیل سیل خیزی حوزه آبخیز کشف رود مشهد بر اساس روش SCS در GIS". مدیریت حوزه آبخیز سال نهم (۱۷): ۲۶-۳۸.
 ۲. فاطمه رضایی؛ سامره فلاحتکار؛ هاشم داداش. ۲۰۰۸. "تغییرات فضایی- زمانی شکل شهرهای ساحلی و غیر ساحلی مازندران".
 ۳. فریده، عتابی، عباس‌پور، مجید، کرباسی، عبدازضا. ۱۳۸۶. "مدلسازی انتشار ذرات معلق با بکارگیری مدل ADMS "علوم و تکنولوژی محیط زیست ۱ (۹).
 ۴. محمود، بیات، نمیرانیان، منوچهر، پورشکوری، فرخ. ۱۳۹۵. "ارایه مدل‌های زادآوری و تعیین عوامل زنده و
- غیرزنده تأثیرگذار بر آن در جنگل‌های هیرکانی".
نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل ۲ (۲۴).
5. Arcoumanis, Constantine, Choongsik Bae, Roy Crookes, and Eiji Kinoshita. 2008. "The Potential of Di-Methyl Ether (DME) as an Alternative Fuel for Compression-Ignition Engines: A Review" 87: 1014-30. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2007.06.007>.
 6. Arévalo, Paulo, Pontus Olofsson, 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.

- Minimizing Arsenic and Cadmium Concentrations in Rice Grains.” *Environmental Science and Technology* 50 (8): 4178–85. <https://doi.org/10.1021/ACS.EST.5B05424>.
14. 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): 378–90. <https://doi.org/10.3402/tellusb.v55i2.16764>.
 15. IPCC. 2014. “Climate Change 2014 Synthesis Report Summary Chapter for Policymakers.” *Ipcc*, 31. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>.
 16. Jenkinson, DS, K Coleman - European Journal of Soil Science, and undefined 2008. 2008. “The Turnover of Organic Carbon in Subsoils. Part 2. Modelling Carbon Turnover.” *Wiley Online Library* 59 (2): 400–413. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2008.01026.x>.
 17. Lal, R. 2004. “Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security.” *Science* 304 (5677): 1623–27. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1097396>.
 18. Lal, Rattan, Rattan Lal, Thomas Iivari, and John M. Kimble. 2003. “Soil Degradation in the United States.” *Soil Degradation in the United States*, September. https://doi.org/10.1201/9780203496381/Lefebvre_David_Adrian_Williams_Jeroen_Meersmans_Guy_J.D._Kirk_Saran_Sohi_Pietro_Goglio_and_Pete_Smith.2020. “Modelling the Potential for Soil Carbon Sequestration Using Biochar from Sugarcane Residues in Brazil.” *Scientific Reports* 10 (1): 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-76470-y>.
 19. McFarquhar, G., Yang, P., Andreas Macke, and Baran, J. 2001. “A New Dynamical Subgrid Model for the Planetary Surface Layer. Part I: The Model and A Priori Tests.” *Journal of the Atmospheric Sciences* 59: 2458–78. January 2018: 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.01.013>.
 7. Avili, Ali Ghomi, and Milad Rahimi Malekshan. 2019. “Evaluation of Extent and Quality of Conservation Areas on Hyrcanian Forest Stability (Fomenat Sample Area).” *Quarterly Journal of Tourism Research*, 1 (3): 35–46.
 8. Barker, Terry. 2007. “Climate Change 2007: An Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change.” *Change* 446 (Nov.): 12–17. <https://doi.org/10.1256/004316502320517344>.
 9. Bayat, N., Saeb, K. and Bakhtiyari, A.R. 2020. “Biomonitoring of Hydrocarbons Using Seabirds’ Eggs and Bivalves in Nakhiloo Island, Persian Gulf, Iran.” *International Journal of Environmental Science and Technology* 17(3): 1511–28. <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02478-1>.
 10. Cerri, C.C., M.V. Galdos, ... SMF Maia - ... *Journal of Soil, and undefined* 2011. 2010. “Effect of Sugarcane Harvesting Systems on Soil Carbon Stocks in Brazil: An Examination of Existing Data.” *Wiley Online Library* 62(1): 23–28. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2010.01315.x>.
 11. Cheddadi, R., Guiot, J. and Jolly, D. 2001. “The Mediterranean Vegetation: What If the Atmospheric CO₂ Increased?” *Landscape Ecology* 16 (7): 667–75. <https://doi.org/10.1023/A:1013149831734>.
 12. Farina, R., Marchetti, A., Francaviglia, R., Napoli, R.- Agriculture, undefined ecosystems, and undefined 2017. n.d. “Modeling Regional Soil C Stocks and CO₂ Emissions under Mediterranean Cropping Systems and Soil Types.” *Elsevier*. Accessed February 8, 2022. <https://sci-hub.ren/> <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880916304182>.
 13. Honma, Toshimitsu, Hirotomo Ohba, Ayako Kaneko-Kadokura, Tomoyuki Makino, Ken Nakamura, and Hidetaka Katou. 2016. “Optimal Soil Eh, PH, and Water Management for Simultaneously

- Johan Six. 2011. "Agronomic Use Efficiency of N Fertilizer in Maize-Based Systems in Sub-Saharan Africa within the Context of Integrated Soil Fertility Management." *Plant and Soil* 339 (1): 35–50. <https://doi.org/10.1007/S11104-010-0462-7>.
24. Washington-allen, Robert A, R.D Ramsey, Neil E. West, and Brien E Norton. 2008. "Quantification of the Ecological Resilience of Drylands Using Digital Remote Sensing" 13 (1).
25. Zhao, Hewei, Xiangjun Chen, Guangzhen Wang, Yongfu Qiu, and Lin Guo. 2019. "Two-Dimensional Amorphous Nanomaterials: Synthesis and Applications." *2D Mater.* 6(3): 32002.
26. Zhou, Xia, Mengya Wang, Shuo Fang, Xiao Liu, and Ping Liu. 2019. "Effect of Alkaline Black Liquor Recycling on Alkali Combined with Ozone Pretreatment of Corn Stalk." *Molecules* 24 (15). <https://doi.org/10.3390/molecules24152836>.
- [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(2002\)059](https://doi.org/10.1175/1520-0469(2002)059).
20. Miller, A.J., Amundson, R., Burke, I.C., C Yonker - Biogeochemistry. 2004. "The Effect of Climate and Cultivation on Soil Organic C and N." *Springer* 67(1): 57–72. <https://doi.org/10.1023/B:BIOG.0000015302.16640.a5>.
21. Rajeev, Akshay, Charu Singh, Sanjeev Kumar Singh, and Prakash Chauhan. 2021. "Assessment of WRF-CHEM Simulated Dust Using Reanalysis, Satellite Data and Ground-Based Observations." *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, March, 1–15. <https://doi.org/10.1007/s12524-021-01328-3>.
22. 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): 3–15. <https://doi.org/10.3354/cr00865>.
23. Vanlauwe, Bernard, Job Kihara, Pauline Chivenge, Pieter Pypers, Ric Coe, and