دوره‌ی ۳۴، شماره‌ی ۴، شماره‌ی پیاپی ۱۳۳، زمستان ۱۴۰۰، صفحه‌های ۱۴۹-۱۳۵
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2021.355443.1426

پژوهش‌های آبخیزداری

مقاله‌ی پژوهشی

CC BY

نقش کاربری زمین و متغیرهای فیزیکی خاک در مقدار کربن آلی در عرصه‌های پخش‌سیلاب ایستگاه کوثر

محمدجواد روستا
(نویسنده‌ی مسئول)* دانشیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
مجتبی پاک‌پرور
استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
سید مسعود سلیمان‌پور
استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
مریم عنایتی
کارشناس‌ارشد بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

*رایانامه‌ی نویسنده‌ی مسئول: m.roosta@areeo.ac.ir

تاریخ ارسال: ۱۳ خرداد ۱۴۰۰ تاریخ پذیرش: ۲۹ شهریور ۱۴۰۰

چکیده
به‌دلیل تأثیر ویژگی‌های خاک و نوع کاربری زمین بر مقدار ذخیره‌ی کربن در خاک و کاهش اثرهای منفی تغییر اقلیم، این پژوهش با هدف ارزیابی‌کردن تأثیر ویژگی‌های فیزیکی خاک و نوع کاربری زمین بر مقدار کربن آلی خاک در عرصه‌های پخش‌سیلاب دشت گربایگان فسا (ایستگاه کوثر) در سال ۱۳۹۹ انجام شد. کاربری‌های بررسی‌شده جنگل دست‌کاشت آکاسیا (*Acacia salicina* Lindl.)، جنگل دست‌کاشت اوکالیپتوس (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.)، مرتع دست‌کاشت آتریپلکس (*Atriplex lentiformis* (Torr.) Wats.)، و مرتع طبیعی بود که همگی با پخش‌سیلاب آبیاری می‌شود. افزون‌براین، مرتع بی‌پخش‌سیلاب تیمار شاهد گرفته شد. با نمونه‌برداری در سه تکرار از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاکِ کاربری‌های گوناگون (۱۵ نمونه‌ی مرکب) درصدهای شن، لای، رس و رطوبت اشباع خاک، جرم‌مخصوص ظاهری و حقیقی، درصد تخلخل، نسبت پوکی و مقدار کربن آلی سنجیده شد. داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی تحلیل آماری شد، و میانگین‌ها با آزمون دانکن در تراز ۵٪ مقایسه شد. نتیجه‌ی تحلیل پراش داده‌ها نشان داد که از میان متغیرهای بررسی‌شده، تأثیر تیمار کاربری زمین بر درصد شن، لای، لای+رس، رطوبت‌اشباع، و تخلخل، جرم مخصوص ظاهری، و نسبت پوکی و کربن آلی در تراز ۱٪، و بر درصد رس در تراز ۵٪ معنی‌دار شد. مقایسه‌ی میانگین کربن آلی در کاربری‌های گوناگون نشان داد که در جنگل اوکالیپتوس با ۱/۶۸٪ بیش‌ترین، و در کاربری شاهد با ۰/۱۴ ٪ کم‌ترین است. تفاوت آماری درصد کربن آلی در کاربری آکاسیا با آتریپلکس و مرتع معنی‌دار نشد. برای دست‌یافتن به مدل روش وایازی گام‌به‌گام به‌کار برده‌شد. ویژگی‌های فیزیکی خاک و نوع کاربری متغیرهای مستقل، و مقدار کربن آلی متغیر وابسته گرفته شد. نتیجه نشان داد که لای ۷۷/۰ ٪ از تغییر کربن آلی را توجیه می‌کند. برپایه‌ی روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، با درنظر گرفتن دو محور اول حدود ۹۱/۷۰ ٪ از تغییر توجیه‌پذیر بود، به‌طوری که محور اول ۶۹/۷۱٪ و محور دوم ۲۱/۹۹٪ از تغییر را توجیه کرد. نوع کاربری ۹۱/۴۰٪، شن ۸۴/۳۰ ٪، و جرم مخصوص ظاهری ۸۲/۷۰ ٪ با کربن آلی همبستگی منفی نشان داد، در حالی که رطوبت اشباع ۹۰/۳۰٪، لای+رس ۸۴/۸۰٪، تخلخل ۸۰/۷۰٪، نسبت پوکی ۷۹/۱۰٪، لای ۷۸/۵۰٪، و رس ۷۸/۵۰٪ با کربن آلی خاک همبستگی مثبت نشان داد.

واژگان کلیدی: ایستگاه کوثر، پخش‌سیلاب، کربن آلی، مدل ذخیره‌ی کربن، ویژگی‌های فیزیکی خاک

مقدمه

شـاهدهای تاریخـی و جغرافیایی بیان‌گـر روی‌داد بارش‌های نامنظم زمانی و مکانی و تناوب سیل و خشک‌سالی در منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک است. دوره‌های خشک طولانی به‌شدت بر تولید در زیست‌بوم‌های طبیعی به‌ویژه جنگل‌ها و مرتع‌های این منطقه‌ها اثر می‌کنـد. کم‌بود رطوبت عاملی محدودکننده برای تولید گیاهی در این ناحیه‌ها است. مشاهده‌ی اثرهای به‌جا مانده از روش‌های جمع آوری باران و سـیل در منطقه‌های گوناگون نشـان‌دهنده‌ی پیشـینه‌ی دیرینِ چاره‌اندیشـی ایرانیان برای رویارویی با این بحران‌ها اسـت. درِ میان این روش‌ها، اندیشه‌ی بهره‌برداری از سـیلاب به‌شیوه‌ی گسـتراندن آن در عرصه‌های هموار، برای تولید محصول کشاورزی، مرتعی، و جنگلی جایگاه ویژه‌یی دارد. تغذیه‌ی آبخوان‌ها، مهار سیل، و بهبود شاخص‌های گیاهی (مرتعـی، جنگلی، زراعی، و مانند آن) از هدف‌های مهم پخش‌سیلاب در زمین‌های خشک و نیمه‌خشک کشور، از جمله دشت گربایگان در شهرستان فسا در جنوب شرقی استان فارس است (کوثر ۱۹۹۱).

بررسـی‌های انجام‌شـده در منطقه‌های گوناگون دنیا از جمله ایران نشـان‌دهنده‌ی تأثیر مثبت پخش‌سـیلاب بر ویژگی‌های فیزیکی، شـیمیایی و زیسـتی خاک اسـت (صادقی و فرهی ۱۹۸۴، کیاحیرتـی و همـکاران ۲۰۰۲، رهبـر و کوثر ۲۰۰۲، سکوتی‌اسکویی و همکاران ۲۰۰۴، سلیمانی و همکاران ۲۰۰۵، رادر و ویتـون ۱۹۸۹، هیرسـت و ابراهیـم ۱۹۹۶، مک‌دول و شـارپلی ۲۰۰۱، فونسکا ۲۰۰۳، سررشـته داری و اسکیدمور ۲۰۰۵). نتیجـه‌ی پژوهش رهبر و کوثـر (۲۰۰۲) در گربایگان فسـا کاهش اسیدی‌بودن و افزایش مقدار عنصرهای پرمصرف و کم‌مصرف در عرصه‌های پخش‌سـیلاب در مقایسه با عرصه‌های بی‌پخش‌سـیلاب بود. نتیجه‌ی قاسـمی و همـکاران (۲۰۰۹) در ایسـتگاه پخش‌سـیلاب تنگستان بوشـهر برای ارزیابی اثر پخش‌سـیلاب بر ویژگی‌های خاک نشـان داد که بافت خاک، اسـیدی‌بودن، هدایت الکتریکی، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم در قطعه‌های سـیل‌گرفته و شاهد اختلاف معنی‌دار داشت. رادر و ویتـون (۱۹۸۹) افزایش فعالیت آنزیـم نیتروژناز را در زمین متأثر از پخش‌سیلاب در رواندا گزارش کردند. هیرست و ابراهیم (۱۹۹۶) گـزارش کردند کـه در بنگلادش در ته‌نشسـت‌های پخش‌سـیلاب ماده‌ی آلی، نیتروژن، پتاسـیم، کلسیم، گوگرد، منیزیـم و منگنز بیش‌تر از خاک سـطحیِ بی‌پخش‌سـیلاب، و مـس و روی کم‌تر از آن بود. نتیجـه‌ی پژوهش‌های صادقی و فرهی (۱۹۸۴)، سکوتی‌اسـکویی و همـکاران (۲۰۰۴)، کوثر (۱۹۹۷)، لیفلد و همکاران (۲۰۰۵) و سررشته‌داری و اسکیدمور (۲۰۰۵) بیان‌گـر افزایش معنی‌دار کربن آلی خاک بر اثر کنش پخش‌سیلاب است.

افزایش توان حفظ رطوبت خاک سبب ایجاد شرایط مساعد برای رشد گیاه در خاک رویشگاه می‌شود. احتمالاً وضعیت آبی خاک عامل مهم تعیین‌کننده‌ی مقدار رشـد گیـاه و ذخیره‌ی کربن اسـت (وانگ و همکاران ۲۰۱۲). از آن‌جا که بافت خاک عاملی مهم در ذخیره‌ی کربن اسـت، و بررسی‌های نادری و همکاران (۲۰۰۰) نقش ته‌نشـینی مواد معلق سـیلاب را در تغییر بافت خاک از شنی به شـنی متوسط در گربایگان نشان داد، افزایش توان نگاه‌داری آبِ به‌کارروندە در خاک در این پدیده مؤثر است. بر اثر پخش‌سـیلاب محیط مناسبی برای رشـد گیاهان ایجاد می‌شـود، زیرا در این محیط عنصرهای غذایی بیش‌تر (از جمله افزوده‌شـدن یون‌های نیترات و آمونیوم با سیلاب واردشده)، و ظرفیت نگه‌داری آب نیز بیش‌تر است، که به تکثیر خودبه‌خودی پوشـش‌گیاهی و گونه‌های مهاجم کمک می‌کند (کوثر ۱۹۹۲، یزدیان و کوثر ۲۰۰۳).

سـیکس و همکاران (۲۰۰۲) با بررسـی رابطـه‌ی بین درصد لای+رس با مقـدار کربن متصل به لای+رس در سـه کاربری علف‌زار، جنـگل و زراعت نتیجه گرفتند کـه بیش‌ترین مقدار کربـن بـه ذره‌هـای لای و رس در حد ظرفیت اشـباع آن‌ها چسبیده است. اسـتیوارت و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی مقدار کربـن پیوندیافته بـه ذره‌های لای و رس در هشـت آزمایش مزرعه‌یی درازمدت در آمریکا و کانادا دریافتند که مقدار اشـباع کربن این ذره‌ها با درصد لای+رس خاک همبستگی مثبت دارد. قریشی و همکاران (۲۰۱۳) ظرفیت ترسیب کربن در خاک سه مرتع گوناگون در شهرسـتان خوی را بررسـی کردند و نتیجه گرفتند که بین مقدار کربن ترسیب‌شده با درصد رطوبت اشباع خاک رابطه‌ی مثبتی هست.

افزایش نگرانی‌ها از گرم‌شـدن جهان و تغییر آب‌وهوای ناشـی از گازهای گلخانه‌یی باعث شـده اسـت که به خاک و توان آن در ذخیـره کردن کربن توجه ویژه‌یی شـود. خاک با ذخیره‌ی حدود ۵۳٪ از کربنِ خشـکی‌ها بزرگ‌ترین ذخیره‌گاه کربن آلی در سطح زمین است (پسـت و کن ۲۰۰۰)، به‌طوری که مقدار کربن ذخیره‌شـده (ته‌نشست شده) در خاک ۲۴۰۰ میلیارد تن برآورد شـده است که بیش از سه برابر مقدار آن (۸۰۰ میلیارد تن) در نیوار است (کوچی و همکاران ۲۰۱۵)، زیرا کربن بخش اصلی ماده‌ی آلی خاک اسـت. ماده‌ی آلی خاک با افزایش‌دادن ظرفیت نگـه‌داری آب در خاک، نگه‌داری و دسـت‌رس کردن عنصرهای غذایی، و پایداری خاک نقش مهمی در سلامت خاک و زیست‌بوم دارد (کونانت ۲۰۱۱). یکی از مهم‌ترین سنجه‌ها در ارزیابی کیفیت خاک، ویژگی‌های فیزیکی (فیزیکی) آن اسـت، زیرا این ویژگی‌ها در واکنش بـه تغییر کاربری یا مدیریت‌های گوناگون تغییر می‌کند (پولادی و همکاران ۲۰۱۳). بافت خاک که برای توصیف‌کردن توزیع مقدار ذره‌های معدنی به‌کار می‌رود عاملی مهم و مؤثر بر تجمع‌یافتن ماده‌ی آلی در خاک دانسـته می شـود (دکسـتر ۲۰۰۴). به‌طورکلی ذره‌های رس و لای از

ماده‌ی آلی در برابر تجزیه‌ی میکروبی حفاظت می‌کند (سیکس و همکاران ۲۰۰۲).

اسکات و همکاران (۲۰۰۰) با هدف بررسی اثر کاربری زمین بر ترسیب کربن خاک در نیوزیلند، با این فرض که تغییر در کاربری زمین یا نوع پوشش زمین بر مقدار ترسیب کربن خاک مؤثر است، مدل پایش ملی کربن خاک را طراحی کردند. این مدل بر داده های خاک، اقلیم، نوع کاربری زمین، و رده‌ی آن پایه‌گذاری شد. آن‌ها با به‌کار بردن داده‌های خروجی مدل نتیجه گرفتند که بافت خاک بیش‌ترین همبستگی با مقدار ترسیب کربن در خاک دارد.

ذخیره‌ی کربن خاک در تأثیر عامل‌های طبیعی و مدیریتی است. پی و همکاران (۲۰۱۰) تأکید کردند که ذخیره‌ی کربن در خاک ارتباط نزدیکی با ویژگی‌های خاک دارد، و به شاخص پستی‌بلندی-رطوبت وابسته است. استیوارت و همکاران (۲۰۰۸) دریافتند که ذخیره‌ی کربن در خاک متأثر از پایداری مواد آلی در خاک است، که خود وابسته به مقدار ذره‌ی رس و لای است. فرناندز-گتینو و همکاران (۲۰۱۰) و پرز-بیجارانو و همکاران (۲۰۱۰) بر تأثیر گونه‌های گیاهی و شرایط رشد آن‌ها بر ذخیره‌ی کربن در خاک تاکید کردند. اسکلاپ و همکاران (۲۰۰۸) نوع کاربری زمین را عامل اصلی مؤثر بر ذخیره‌ی کربن خاک گزارش کردند. نوع و ترکیب گونه‌ها با تأثیر در ورودی کربن به خاک، بر مقدار کربن و ذخیره‌ی کربن اثر می‌کند. کلاهچی و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی ترسیب کربن در گیاهان بوته‌یی غالب و خاک مرتع‌های قرق‌شده در حیدره‌ی همدان نتیجه گرفتند که کربن آلی خاک با جرم مخصوص ظاهری، رطوبت وزنی، مقدار تولید گیاهی، درصد پوشش گیاهی، و درصد لاش‌برگ همبستگی دارد.

نتیجه‌ی پژوهش‌های دیناکاران و کریشنایا (۲۰۰۸) نشان داد که نوع پوشش تأثیر معنی‌داری بر ذخیره‌ی کربن خاک می‌گزارد. به طوری که مقدار ترسیب کربن در خاک بستگی به مقدار ورودی کربن به خاک از راه بازمانده‌های گیاهی و هدررفت کربن از راه تجزیه دارد. تفاوت در مقدار کربن آلی رویشگاه‌های گوناگون به‌دلیل متفاوت بودن گونه‌های گیاهی است، به‌همین‌دلیل توان ذخیره‌ی کربن به گونه‌ی گیاهی، ویژگی‌های خاک (مکان) و شیوه‌ی مدیریت بستگی دارد (مورتنسن و شومن ۲۰۰۲). جنگل‌کاری با برخی از گونه‌ها مانند اوکالیپتوس ممکن است با افزایش‌دادن سن توده، ویژگی‌های فیزیکی گوناگونی از جمله جرم مخصوص ظاهری را کاهش و تخلخل را افزایش دهد (سردابی و همکاران ۲۰۱۰). سینگ و همکاران (۲۰۰۳) نیز نشان دادند که مقدار مواد آلی خاک، و به‌دنبال آن مقدار کربن ترسیب‌شده در خاک در واحد سطح به عامل‌هایی مانند جرم مخصوص ظاهری خاک بستگی دارد. نتیجه‌ی وایازی گام‌به‌گام نیز نشان داد که ویژگی‌های بافت خاک، جرم مخصوص ظاهری و اسیدی‌بودن به‌ترتیب از مهم‌ترین عامل‌های مؤثر بر ذخیره‌ی کربن آلی در خاک بود (مهدوی و همکاران ۲۰۱۶). شیدای‌کرکج و همکاران (۲۰۱۷) با روش وایازی گام‌به‌گام نتیجه گرفتند که از نظر مجموع تاثیر مستقیم و نامستقیم، ویژگی‌های فیزیکی خاک تأثیری بیش‌تر از ویژگی‌های شیمیایی بر مقدار کربن آلی خاک دارد، و مقدار کربن آلی خاک با درصد رس، لای، و رطوبت اشباع همبستگی مثبت، و با اسیدی‌بودن و هدایت الکتریکی همبستگی منفی داشت.

کاوه و همکاران (۲۰۱۵) با به‌کار بردن سه روش وایازی گام‌به‌گام، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)، و تحلیل خوشه‌یی عامل‌های مؤثر بر ذخیره‌ی کربن را بررسی کردند. این پژوهشگران دریافتند که در روش وایازی گام‌به‌گام سه متغیر درصد لای، درصد رطوبت اشباع و درصد آهک حدود ۲۷ ٪ از تغییر ذخیره‌ی کربن آلی خاک را توجیه می‌کند. در روش تجزیه به عامل‌های اصلی متغیرهای ارتفاع، درصد لای، درصد آهک، و درصد رطوبت اشباع حدود ۲۷٪ از تغییر ذخیره‌ی کربن آلی خاک، و در روش تحلیل خوشه‌یی درصد آهک، درصد لای و درصد رطوبت اشباع ۳۲ ٪ از تغییر ذخیره‌ی کربن آلی خاک را توجیه کرد. کاشی‌زنوزی و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی عامل‌های مؤثر بر کربن آلی خاک به‌روش PCA نتیجه گرفتند که عامل‌های خاکی مانند درصد لای و رس در عمق ۱۵ و ۴۵ سانتی‌متری و عامل‌های محیطی تبخیر و دما بیش‌ترین تاثیر در تغییر کربن آلی خاک دارد.

بسته به عامل‌هایی مانند ویژگی‌های خاک، اقلیم، و کاربری، خاک می‌تواند همچون ذخیره‌گاه کربن یا منشأ انتشار آن عمل کند (یاسمین و همکاران ۲۰۱۷). کاهش مقدار کربن آلی خاک ممکن است بر انتشار گازهای گلخانه‌یی به جو و گرم‌شدن جهان تأثیر منفی کند. از سوی دیگر، افزایش ذخیره‌ی کربن در خاک ممکن است باعث کاهش فقر و افزایش امنیت غذایی شود (شیفر و همکاران ۲۰۱۸).

یکی از راه‌کارهای مهم در برآوردکردن مقدار ذخیره‌ی کربن آلی در خاک مدل‌سازی است. مدل‌های گوناگونی تهیه شده است که از مهم‌ترین آن‌ها مدل‌های Century و RothC است (برانسیکووا و همکاران ۲۰۱۰). از آن‌جا که مدیریت زمین موثرترین عامل تغییر کربن آلی در خاک دانسته شده است، و مواد آلی خاک بزرگ‌ترین منبع کربن آلی در خاک‌های منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک است، شناخت عامل خاکی مؤثر بر ذخیره‌ی کربن در آن بسیار مهم و ضروری است. ضرورت دیگر انجام این پژوهش این است که با شناخت عامل‌های مؤثر بر ذخیره‌ی کربن آلی در خاک می‌توان با راه‌کارهای مدیریتی مناسب، ضمن افزایش دادن مقدار کربن آلی و توسعه‌دادن ظرفیت ذخیره‌ی کربن در خاک، علاوه بر

بهبوددادن حاصل‌خیزی (بـــاروری)، پایداری تولید، و حفاظت خاک، اثر منفی تغییر اقلیم را تا حد زیادی کاهش داد. رطوبت کافی در خـــاک عاملی تأثیرگزار بر رشـــد گیاهان گوناگون در منطقه‌های خشک و نیمه خشک است و پخش‌سیلاب می‌تواند تا حدی رطوبت لازم برای رشد گیاهان را در این منطقه‌ها تامین کند، و نامستقیم بر مقدار کربن آلی در خاک تأثیر بگزارد. هدف از این پژوهش، سنجیدن مقدار همبستگی ویژگی‌های فیزیکی خـــاک و نوع کاربری با مقدار کربن آلی در خاک، و دادن مدلی برای عرصه‌های پخش‌سیلاب در ایستگاه کوثر است.

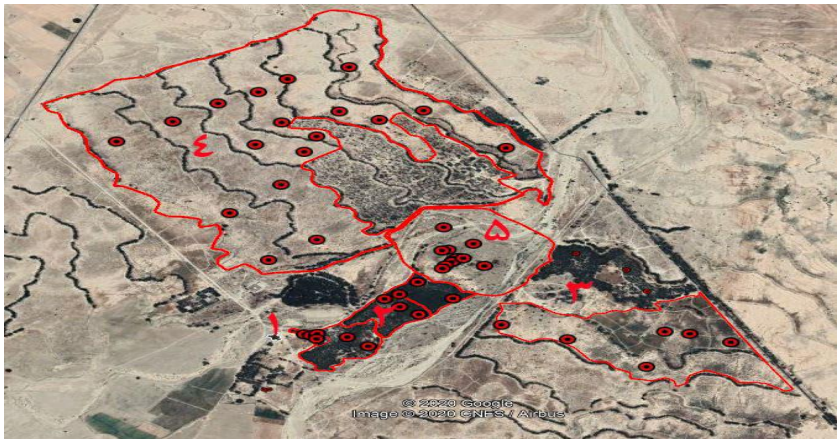
مواد و روش‌ها

این پژوهش در ســـال ۱۳۹۹ در ایستگاه تحقیقاتی، آموزشی و ترویجی پخش‌ســـیلاب و آبخوان‌داری کوثر، در دشت گربایگان فســـا انجام شد. پخش‌ســـیلاب برای تغذیه‌ی آبخوان‌ها از سال ۱۳۶۱ در پهنه‌یی به وســـعت ۲۰۳۰ هکتار در این دشـــت اجرا شده است. ایســـتگاه کوثر در ۵۰ کیلومتری جنوب‌شرقی فسا در موقعیت ′۳۸ °۲۸ عرض شـــمالی، و ′۵۵ °۵۳ طول شرقی بر مخروط افکنه‌ی آبخیز ۱۹۲ کیلومتر مربعی بیشه‌زرد در بخش شـــیب‌کوه و دهستان میان‌ده است. شـــیب عمومی منطقه ۶٪ و بیـــن خط ارتفاعی ۱۱۴۰ تا ۱۱۶۰ متر از تراز دریا اســـت. بر پایه‌ی آمار ۲۳ ســـاله (۱۳۹۷–۱۳۷۵) شاخص‌های آب‌وهوایی منطقه‌یی که ایســـتگاه در آن واقع شـــده به این شـــرح است: میانگین بارش سالانه ۲۱۹mm، دمای بیشینه ۴۶ °C، دمای کمینه ۸- °C، میانگین دمای ســـالانه ۲۰ °C، میانگین تبخیر ســـالانه ۲۵۴۸ mm، و متوسط تعداد روزهای یخبندان ۲۷ روز در سال (قهاری ۲۰۱۹).

کاربری‌هایی که از آن‌ها برای ســـنجش ۱۰ ویژگی درصد شن، لای، رس، لای+رس، رطوبـــت اشـــباع خـــاک، جرم‌مخصوص ظاهـــری و حقیقی خـــاک، درصـــد تخلخل، نســـبت پوکی و درصد کربن آلی نمونه‌برداری شـــد جنگل دست‌کاشت آکاسیا (*Acacia salicina Lindl*) در شبکه‌ی بیشه‌زرد ۴ با مساحت ۰/۶۰ هکتار، جنگل دست‌کاشت اوکالیپتوس (*Eucalyptus camaldulensis Dehnh.*) در شبکه‌ی بیشه‌زرد ۴ با وسعت ۱۵/۲۲ هکتار (فاصله‌ی درختان کاشـــته در دو کاربری جنگل آکاســـیا و اوکالیپتوس ۳×۳ متر)، مرتع کاشـــته با آتریپلکس (*Atriplex lentiformis (Torr.) Wats.*) در شـــبکه‌ی رحیم‌آباد (وســـعت ۳۴/۸ هکتار، فاصله‌ی بوته‌های آتریپلکس کاشته شده ۴×۴ متر)، مرتع طبیعی با مساحت ۱۴۲/۵ هکتار در شبکه‌ی بیشه‌زرد ۱ (گیاهان بوته‌یی غالب در این مرتع سیاه‌گینه (*Dendrostellera lessertii (Wikstr.) Van Tiegh.*)، گل‌آفتابـــی (*Heliantemum lippii (L.) Pers.*)، و درمنـــه (*Artemisia sieberi Besser.*))، و مرتع شـــاهد (بی‌پخش‌سیلاب) با مساحت ۱۰/۰ هکتار در شبکه‌ی بیشه‌زرد ۱ (گیاهـــان بوته‌یـــی غالب ســـیاه‌گینه، گل‌آفتابـــی، و درمنه (*Artemisia sieberi Besser.*)).

در کاربری‌های ۱ و ۲ از ســـال ۱۳۶۳ تاکنون، و در کاربری‌های ۳ و ۴ کنش‌های پخش‌سیلاب از سال ۱۳۶۱ تاکنون انجام شده اســـت. از هر کاربری با توجه به مســـاحت آن تعدادی نمونه‌ی ساده‌ی خاک از عمق ۳۰-۰ cm برداشته شد. با مخلوط‌کردن آن‌هـــا از هر کاربری ســـه نمونـــه‌ی مرکـــب و در مجموع ۱۵ نمونه‌ی مرکب برداشـــته شد. محل عرصه‌ها و موقعیت جاهای نمونه‌برداری در شکل ۱ نشان داده شده است. همه‌ی نمونه‌های خاک از میان درختان و بوته‌ها برداشته شد.

پس از تهیه‌ی نمونه‌ها، هوا خشـــک کردن و عبور دادن آن‌ها از



شکل ۱- جای عرصه‌ها و نمونه‌برداری. ۱. جنگل دست‌کاشت آکاسیا، ۲. جنگل دست‌کاشت اوکالیپتوس، ۳. مرتع کاشته‌شده با آتریپلکس، ۴. مرتع طبیعی، ۵. مرتع شاهد (بی‌پخش‌سیلاب).

الک ۲ میلی‌متری، بافت خاک به‌روش آب‌سنجی(هیدرومتری)، درصد رطوبت اشباع با اندازه‌گیری اختلاف وزن گل اشباع و گل خشک‌شده در کوره‌ی الکتریکی در دمای ۱۰۵ °C (بلک و هارتجی ۱۹۸۶)، جرم -مخصوص‌حقیقی به‌روش پیکنومتر (ژاکوب و کلارک ۲۰۰۲)، و درصد کربن آلی (SOC) نمونه‌ها به‌روش والکلی-بلاک (نلسون و سومرز ۱۹۸۶) اندازه‌گیری شد. جرم مخصوص ظاهری به‌روش استوانه سنجیده شد. درصد تخلخل (PS) و نسبت پوکی (VR) از رابطه‌ی ۱ و ۲ محاسبه شد (بلک و هارتجی ۱۹۸۶):

$$\% PS = (1-BD/PD) \times 100 \quad (1)$$

$$VR = PS /1- PS \quad (2)$$

بعد از اطمینان از پراکنش بهنجار (نرمال) داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف، تجزیه‌ی پراش داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی با نرم افزار آماری SAS انجام گرفت. میانگین‌ها با آزمون دانکن در تراز ۵ ٪ مقایسه شد. بر پایه‌ی پرشماری متغیرها، تغییرپذیری مقدار کربن آلی با روش‌های تحلیل چندمتغیره‌ی وایازی گام‌به‌گام با نرم‌افزار رایانه‌یی SPSS تحلیل شد. ویژگی‌های فیزیکی بررسی‌شده و نوع کاربری «متغیرهای مستقل»، و مقدار کربن آلی خاک «متغیر وابسته» برگزیده شد. برای سنجیدن رابطه‌ی بین مقدار کربن آلی با دیگر متغیرها، به‌دلیل بهنجار بودن داده‌ها از ضریب همبستگی پیرسون، و برای متغیر نوع کاربری از ضریب اسپیرمن بهره گرفته شد. برای سنجیدن مؤثرترین متغیرها بر مقدار کربن آلی خاک روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) با ایجاد ماتریس به دست‌آمده در برنامه‌ی PC-ORD به‌کار برده‌شد.

نتایج و بحث

نتیجه‌ی تجزیه‌ی پراش تأثیر کاربری‌های گوناگون بر ویژگی‌های فیزیکی بررسی‌شده و مقدار کربن آلی خاک در جدول ۱ و مقایسه‌ی میانگین آن‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است.

از میان متغیرهای بررسی‌شده تأثیر تیمار کاربری زمین بر درصد شن، درصد لای، لای+رس، درصد رطوبت‌اشباع، جرم‌مخصوص ظاهری، درصد تخلخل، نسبت پوکی و مقدار کربن آلی در تراز ۱٪، و بر درصد رس در تراز ۵٪ معنی‌دار شد (جدول ۱). از آن‌جا که مواد مادری و ویژگی‌های خاک در عرصه‌های گوناگون، قبل از انجام کنش‌های پخش‌سیلاب یکسان بود (کوثر ۱۹۹۱)، سیلاب ورودی به عرصه‌ها مشابه است و در شرایط اقلیمی مشابهی است. این تغییر را می‌توان به نوع کاربری زمین (نوع پوشش گیاهی) با گسترش سیلاب نسبت داد.

مقدار شن در کاربری شاهد (مرتع بی‌پخش‌سیلاب) با

جدول ۱- تجزیه‌ی پراش اثر کاربری بر ویژگی‌های فیزیکی و اندازه‌ی کربن‌آلی خاک.

منبع تغییر	کاربری	خطا	ضریب تغییر
درجه‌ی آزادی	۴	۱۰	-
شن	۳۰۹/۱۵۳**	۲۰/۸۳۲	۷/۳۱
لای	۱۸۳/۰۷۱**	۸/۶۵۹	۱۲/۰۰
رس	۲۸/۵۹۱*	۶/۹۴۷	۲۰/۴۰
لای+رس	۳۳۱/۵۵۳**	۱۹/۹۹۲	۱۲/۰۰
درصد رطوبت اشباع	۱۰۱/۹۶۴**	۱۱/۱۹۲	۱۰/۷۰
جرم‌مخصوص ظاهری	۰/۰۴۶**	۰/۰۰۴	۴/۵۴
درصد تخلخل	۵۷/۵۱۴**	۴/۹۵۰	۵/۰۰
نسبت پوکی	۰/۱۰۰**	۰/۰۰۸	۹/۴۹
کربن آلی	۱/۰۷۷**	۰/۰۴۳	۲۴/۰۸

** معنی‌دار در تراز ۱ ٪، *معنی‌دار در تراز ۵ ٪

جدول ۲- مقایسه‌ی میانگین متغیرهای فیزیکی و کربن آلی خاک در کاربری‌های گوناگون.

	کاربری				
ویژگی	آکاسیا	اوکالیپتوس	آتریپلکس	مرتع	شاهد
شن (٪)	۶۰/۶۰ ± ۵/۲۰bc	۵۲/۱۳ ± ۲/۴۸c	۵۴/۶۷ ± ۴/۳۲c	۶۷/۹۳ ± ۶/۹۳ab	۷۷/۰ ± ۲/۰۷a
لای (٪)	۲۴/۸۰ ± ۲/۰۷b	۳۳/۸۷ ± ۳/۲۷a	۲۸/۹۳ ± ۲/۹۱ab	۲۱/۲۷ ± ۳/۵۸b	۱۳/۲۷ ± ۲/۶۶c
رس (٪)	۱۴/۶۰ ± ۳/۱۱ab	۱۴/۰۰ ± ۱/۰۵ab	۱۶/۴۰ ± ۱/۵۶a	۱۰/۸۰ ± ۴/۰۰ab	۸/۷۳ ± ۲/۳۳b
لای+رس (٪)	۳۹/۴۰ ± ۵/۱۹ab	۴۷/۸۷ ± ۲/۴۸a	۴۵/۳۳ ± ۴/۳۲a	۳۲/۰۷ ± ۶/۹۳bc	۲۲/۰ ± ۰/۳۴c
رطوبت اشباع (٪)	۳۸/۲۶ ± ۵/۷۴a	۳۶/۳۱ ± ۱/۲۲a	۳۰/۷۳ ± ۴/۲۷ab	۲۴/۶۵ ± ۱/۳۰b	۲۷/۰۷ ± ۱/۲۲b
جرم‌مخصوص‌ظاهری (g/cm^3)	۱/۲۰ ± ۰/۰۷۶c	۱/۳۱ ± ۰/۰۲۶bc	۱/۴۹ ± ۰/۰۳۵a	۱/۴۲ ± ۰/۱۰۸ab	۱/۴۸ ± ۰/۰۱۰a
تخلخل (٪)	۵۵/۶۱ ± ۳/۱۶a	۴۹/۴۷ ± ۱/۲۶b	۴۵/۲۷ ± ۱/۳۸b	۴۶/۳۱ ± ۳/۲۹b	۴۵/۳۳ ± ۰/۵۷b
نسبت پوکی	۱/۲۶ ± ۰/۱۵a	۰/۹۸ ± ۰/۰۵b	۰/۸۳ ± ۰/۰۴۵b	۰/۸۷ ± ۰/۱۱b	۰/۸۳ ± ۰/۰۱۸b
کربن آلی (٪)	۰/۷۷ ± ۰/۳۱۹b	۱/۶۸ ± ۰/۳۲۳a	۰/۵۴ ± ۰/۰۸۵bc	۰/۳۳ ± ۰/۰۳۷bc	۰/۱۴ ± ۰/۰۱۰c

* در هر ردیف، میانگین‌های با علامت‌های مشترک از نظر آماری با آزمون دانکن در تراز احتمال ۵ ٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

۷۷/۰ ٪ بیش‌ترین، و در کاربری اوکالیپتوس با ۵۲/۱۳ ٪ کم‌ترین بود (جدول ۲). درصد شن در کاربری شاهد از نظر آماری در تراز ۵٪ تفاوت معنی‌داری با دیگر کاربری‌ها (به‌جز مرتع با پخش‌سیلاب) داشت. مقدار لای در جنگل اوکالیپتوس با ۳۳/۸۷ ٪ بیش‌ترین، و در کاربری شاهد با ۱۳/۲۷ ٪ کم‌ترین بود، هر چند مقدار لای در کاربری آتریپلکس از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با مقدار لای در کاربری اوکالیپتوس نداشت. تفاوت آماری میانگین درصد لای در همه‌ی کاربری‌ها با شاهد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقدار رس در کاربری آتریپلکس با ۱۶/۴۰ ٪ بیش‌ترین، و در کاربری شاهد با ۸/۷۳ ٪ کم‌ترین بود، از نظر آماری در تراز ۵٪ تفاوت معنی‌داری میان این دو کاربری بود. بین دیگر کاربری‌ها تفاوت آماری معنی داری مشاهده نشد (جدول ۲). مجموع لای و رس (لای+رس) در کاربری اوکالیپتوس با ۴۷/۸۷ ٪ بیش‌ترین، و در کاربری شاهد کم ترین بود، و تفاوت این دو معنی‌دار بود. کاربری‌های آکاسیا، اوکالیپتوس و آتریپلکس از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشت، ولی تفاوت با کاربری شاهد معنی‌دار بود (جدول ۲). درصد رطوبت اشباع در کاربری آکاسیا با ۳۸/۲۶ ٪ بیش‌ترین، و کاربری مرتع با ۲۴/۶۵ ٪ کم‌ترین بود، و تفاوت آماری این دو معنی‌دار بود. تفاوت معنی‌داری در درصد رطوبت اشباع میان کاربری‌های آکاسیا، اوکالیپتوس، و آتریپلکس نبود (جدول ۲). ویژگی جرم‌مخصوص ظاهری در کاربری‌های آتریپلکس و شاهد به‌ترتیب با ۱/۴۹ و $1/48 g/cm^3$ بیش‌ترین بود، هرچند از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با مقدار جرم‌مخصوص ظاهری در مرتع نداشت. جنگل آکاسیا و اوکالیپتوس به‌ترتیب با جرم‌مخصوص ظاهری ۱/۲۱ و $1/31 g/cm^3$ کم‌ترین اندازه را نشان داد، و تفاوت آن‌ها با جرم‌مخصوص ظاهری در مرتع و شاهد معنی‌دار بود (جدول ۲). ویژگی درصد تخلخل در جنگل آکاسیا با ۵۵/۶۱ ٪ بیش‌ترین بود، و تفاوت آماری آن با دیگر کاربری‌ها در تراز ۵٪ معنی‌دار شد (جدول ۲). نسبت پوکی در جنگل آکاسیا (۱/۲۶) بیش‌ترین بود و تفاوت آماری آن‌ها معنی دار شد (جدول ۲). درصد کربن آلی در جنگل اوکالیپتوس با ۱/۶۸ ٪ بیش‌ترین، و در کاربری شاهد با ۰/۱۴ ٪ کم‌ترین بود. تفاوت آماری درصد کربن آلی در کاربری آکاسیا با آتریپلکس و مرتع در تراز ۵٪ معنی‌دار نشد (جدول ۲).

جدول ۳- ضریب‌های همبستگی درصد کربن آلی با متغیرهای فیزیکی خاک و نوع پوشش گیاهی (نوع کاربری).

	SOC	PT	Sand	Silt	Clay	S+C	SP	BD	PS	VR
SOC	۱/۰۰۰									
PT	-۰/۶۵۵**	۱/۰۰۰								
Sand	-۰/۶۹۰**	۰/۷۰۰**	۱/۰۰۰							
Silt	۰/۷۷۰**	-۰/۶۸۳**	-۰/۹۷۱**	۱/۰۰۰						
Clay	۰/۳۶۷**	-۰/۶۰۳*	-۰/۸۲۵**	۰/۶۷۵**	۱/۰۰۰					
S+C	۰/۶۹۱**	-۰/۷۰۹**	-۰/۹۹۸**	۰/۹۶۷**	۰/۸۴۱**	۱/۰۰۰				
SP	۰/۵۸۰*	-۰/۸۱۸**	-۰/۶۷۴**	۰/۶۱۷*	۰/۶۲۴*	۰/۶۶۹**	۱/۰۰۰			
BD	-۰/۴۶۸	۰/۷۸۴**	۰/۴۳۶	-۰/۳۸۸	-۰/۴۵۵	-۰/۴۴۲	-۰/۷۷۴**	۱/۰۰۰		
PS	۰/۳۳۴	-۰/۷۷۷**	-۰/۳۷۸	۰/۳۱۱	۰/۴۵۰	۰/۳۸۴	۰/۷۹۱**	-۰/۹۷۱**	۱/۰۰۰	
VR	۰/۲۸۷	-۰/۷۶۸**	-۰/۳۵۲	۰/۲۸۱	۰/۴۳۶	۰/۳۵۷	۰/۷۹۰**	-۰/۹۵۶**	۰/۹۹۶**	۱/۰۰۰

Sand، درصد شن، Silt، درصد لای، Clay، درصد رس، S+C، درصد لای+رس، SP، درصد رطوبت اشباع خاک، BD، جرم‌مخصوص ظاهری، PS، درصد تخلخل، VR، نسبت پوکی، PT، نوع پوشش گیاهی، SOC، درصد کربن آلی خاک.

با روش وایـــازی گام‌به‌گام (جدول ۴) متغیر لای به معادله برده شد و معادله‌ی نهایی رابطه‌ی ۳ به‌دست آمد.

$$Y\ (SOC) = -0.741 + 0.059\ Silt \qquad R^2=77.0\ \%^{**} \qquad (۳)$$

برپایه‌ی مدل بـــرآورد مقدار کربن آلی خاک می‌توان گفت که در روش وایـــازی پیش‌رونده لای ۷۷/۰۰ ٪ از تغییر کربن آلی را توجیـــه می‌کند. با مقدار ضریب‌هـــای بمعیار در این معادله (جـــدول ۴) به‌ازای هـــر واحد لای ۰/۷۷ به مقـــدار کربن آلی اضافه شد.

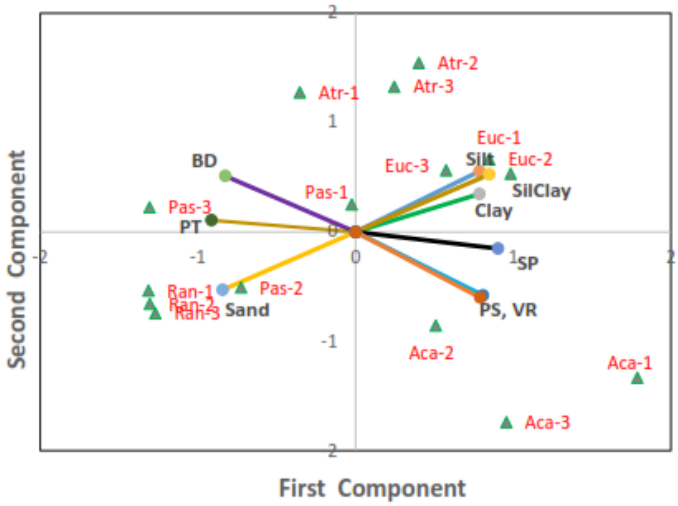
جدول ۴- ویژگی‌های وایازی گام به‌گام نهایی برآورد مقدار کربن آلی با ویژگی‌های خاک.

مدل	ضریب‌های بمعیار نشده		ضریب‌های بمعیار شده				
	B	خطای بمعیار	Beta	t	معنی‌داری	R^2	
1 (Constant)	-۰/۷۴۱	۰/۳۴۴		-۲/۱۵۴	۰/۰۵۱	۰/۷۷۰**	
Silt	۰/۰۵۹	۰/۰۱۳	۰/۷۷	۴/۳۴۷	۰/۰۰۱		

در روش تجزیـــه به مؤلفه‌های اصلی، تعـــداد مؤلفه‌های اصلی برپایه‌ی مقدار ویژه‌ی بیش‌تر یا حدود واحد انتخاب می‌شـــود (جدول ۵). در نمودار بارگذاری‌شده مقدار زیاد خط‌های (طول بردارهـــا) نزدیک به محورهای اول و دوم مربوط به متغیرهایی است که در دو مؤلفه ی اول، بیش‌ترین ضریب را داشت (شکل ۲).

جدول ۵- ضریب متغیرها، اندازه‌های ویژه، درصد پراش و پراش تجمعی در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی.

متغیر	مؤلفه‌ی اصلی اول	مؤلفه‌ی اصلی دوم
نوع کاربری	-۰/۹۱۴	۰/۱۰۷
شن	-۰/۸۴۳	-۰/۵۳۰
لای	۰/۷۸۵	۰/۵۵۵
رس	۰/۷۸۵	۰/۳۴۷
لای+رس	۰/۸۴۸	۰/۵۲۷
درصد رطوبت اشباع	۰/۹۰۳	-۰/۱۵۲
جرم‌مخصوص ظاهری	-۰/۸۲۷	۰/۵۱۲
درصد تخلخل	۰/۸۰۷	-۰/۵۸۰
نسبت پوکی	۰/۷۹۱	-۰/۶۰۰
اندازه‌های ویژه	۶/۲۷۴	۱/۹۷۹
درصد پراش	۶۹/۷۰۹	۲۱/۹۹۳
پراش تجمعی	۶۹/۷۰۹	۹۱/۷۰۲



شکل ۲- ارتباط بین متغیرها در نمودار بارگذاری شده در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برپایه‌ی دو محور نخست.

Sand، درصد شن، Silt، درصد لای، Clay، درصد رس، SilClay، درصد لای+رس، SP، درصد رطوبت اشباع خاک، BD، جرم‌مخصوص ظاهری، PS، درصد تخلخل، VR، نسبت پوکی، PT، نوع پوشش گیاهی، Aca، آکاسیا، Euc، اوکالیپتوس، Pas، مرتع با پخش سیلاب، Ran، مرتع بی‌پخش سیلاب (شاهد).

جدول ماتریس همبستگی بین درصد کربن آلی خاک و ویژگی‌های فیزیکی بررسی‌شده (جدول ۳) نشان می‌دهد که مقدار کربن آلی خاک با درصد لای، رس و لای+رس همبستگی مثبت و معنی‌دار در تراز ۱٪، و با درصد رطوبت اشباع، همبستگی مثبت و معنی-دار در تراز ۵٪ داشت. درصد کربن آلی خاک با نوع کاربری و درصد شن، در تراز ۱٪ همبستگی منفی نشان داد (جدول ۳).

همبستگی مثبت و معنی‌دار میان مقدار کربن آلی در خاک با درصد لای، رس و درصد لای+رس در کاربری‌های بررسی‌شده (جدول ۳) نشان می‌دهد که تجمع و ذخیره‌ی کربن در خاک متأثر از پایداری مواد آلی در خاک بوده، که خود وابسته به مقدار ذره‌های رس و لای است. نتیجه‌ی این پژوهش با نتیجه‌ی پژوهش‌های سیکس و همکاران (۲۰۰۲)، استیوارت و همکاران (۲۰۰۸) و شیدای‌کرکج و همکاران (۲۰۱۷) هم‌راستا است. معنی‌دار شدن همبستگی میان مقدار کربن آلی و مقدار رس در این بررسی با نتیجه‌ی پژوهش های ویسمیر و همکاران (۲۰۱۱) و سایز و همکاران (۲۰۱۲) در تناقض است، زیرا آن‌ها رابطه‌ی ضعیفی میان ذخیره‌ی کربن آلی و مقدار رس در خاک‌های شنی منطقه‌ی نیمه‌خشک گزارش کردند.

همبستگی مثبت و معنی‌دار مقدار کربن آلی در خاک با درصد رطوبت اشباع خاک به‌معنی افزایش نگه‌داری آب در خاک و حفظ رطوبت در محدوده‌ی ریشه است، که باعث دست‌رسی بیش‌تر ریشه به آب و سرانجام تولید زی‌توده و بازمانده‌های گیاهی بیش‌تر می شود. نتیجه‌ی مشابهی در قریشی و همکاران (۲۰۱۳)، شیدای‌کرکج و همکاران (۲۰۱۷) و وانگ و همکاران (۲۰۱۲) گزارش شده است.

مقـدار کربن آلـی خاک با درصـد تخلخل و نسـبت پوکی، همبسـتگی مثبت نشـان داد، و این به‌آن معنی است که هر چه حجم منفذهای خاک بیش‌تر باشد، به‌دلیل ذخیره و تأمین شـدن رطوبت بیش‌تر برای رشد گیاهان، کربن آلی بیش‌تری به شـکل لاش‌برگ و بازمانده‌های ریشه‌ها وارد خاک و ذخیره می‌شود.

همبسـتگی منفی مقدار کربن آلی خاک با نوع کاربری ممکن است ناشـی از تفاوت مقدار کربن آلی خاک در بین گونه‌های درختی آکاسـیا و اوکالیپتوس، و گونه‌های بوته‌یی آتریپلکس، سیاه‌گینه، گل‌آفتابی و درمنه باشد، که خود متاثر از عامل‌های گوناگونی از جمله نوع لاش‌برگ تولیدشـده، مقدار لاش‌برگ و سـرعت تجزیه‌ی آن، مقدار لیگنین در بافت آن‌ها، و شـیوه‌ی توسعه‌ی ریشه‌ها است، همان طورکه اوئبا و همکاران (۲۰۱۸) نیز به این تفاوت‌ها اشاره کردند.

به جدول همبسـتگی مشخص می‌کند که درصد شن با مقدار کربـن آلی همبسـتگی منفـی و معنـی‌دار دارد (جدول ۳). یعنی هر چه مقدار شـن در خاک بیش‌تر باشـد مقدار کربن آلی خاک کم‌تر می‌شـود. این پدیـده به‌دلیل افزایش تهویه و درنتیجـه افزایش تجزیه‌ی میکروبی و افزایش اکسـایش مواد آلی در خاک اسـت. ایـن نتیجه با پژوهش‌هـای آزادی‌ریمله و همـکاران (۲۰۱۴)، شـیدای‌کرکج و همـکاران (۲۰۱۷)، و آرونـرات و همکاران (۲۰۲۰) هماهنگی دارد. بنابراین می‌توان انتظار داشـت که مقدار ذخیره‌ی کربن آلی در خاک‌های شنی و درشت‌بافت کم‌تر از خاک‌های رسی و ریزبافت باشد. از میان ویژگی‌های ذاتی خاک، بافت خاک مؤثرترین عامل در نگه‌داری کربن آلی است.

همبسـتگی منفی میان جرم‌مخصوص ظاهری و مقدار کربن آلی در خاک مشـاهده شـد. رابطه‌ی این ویژگی و کربن آلی متقابل اسـت. به‌طوری‌کـه مواد آلی در خـاک باعث کاهش جرم‌مخصوص‌ظاهـری و افزایش تخلخـل و نفوذپذیری خاک می‌شـود، که به‌نوبه‌ی خود مقدار روان‌آب و فرسـایش خاک را کاهش می‌دهد و سـرانجام، کاهـش هدررفت کربن آلی را به دنبال دارد. این نتیجه با نتیجه‌ی شـیدای‌کرکج و همکاران (۲۰۱۷) هماهنگـی، و با نتیجه‌ی آرونرات و همکاران (۲۰۲۰) تناقض دارد.

اندازه‌هـای ویـژه در نمـودار تجزیه بـه مؤلفه‌هـای اصلی نشـان می‌دهد که بـا درنظر گرفتـن دو محـور اول حدود ۹۱/۷۰ ٪ از تغییرها تبیین پذیر اسـت. با درنظر گرفتن محور اول ۶۹/۷۱ ٪، و با درنظر گرفتن محور دوم ۲۱/۹۹٪ از تغییرها توجیه‌پذیر است (شـکل ۲ و جدول ۵). برپایه‌ی این روش، با درنظر گرفتن دو محور اول حدود ۹۱/۷۰٪ از تغییر توجیه‌پذیر است، به‌طوری که محور اول ۶۹/۷۱ ٪ و محور دوم ۲۱/۹۹ ٪از تغییرها را توجیه می‌کند. نوع کاربری ۹۱/۴۰ ٪، شـن ۸۴/۳۰ ٪، و جـرم مخصوص ظاهری ۸۲/۷۰ ٪ همبسـتگی منفی با کربن آلی نشان داد. درصد رطوبت اشباع ۹۰/۳۰ ٪، لای+رس ۸۴/۸۰ ٪، تخلخـل ۸۰/۷۰ ٪، نسـبت پوکی ۷۹/۱۰ ٪، لای ۷۸/۵۰ ٪، و رس ۷۸/۵۰ ٪ همبستگی مثبت با کربن آلی خاک نشان داد (جدول ۵).

اندازه‌های ویـژه، درصد پراش و پراش تجمعـی در تجزیه به مؤلفه‌هـای اصلی (جدول ۵) مشـخص می‌کند که بیش‌ترین ضریب‌هـای محور اول در نوع کاربری، درصد رطوبت اشـباع، درصد لای+رس و درصد شـن، و بیش‌ترین ضریب‌های محور دوم در نسـبت پوکی، درصد تخلخل، درصد لای، درصد شن و درصد لای+رس بود. بنابراین نوع کاربری، درصد رطوبت اشباع و بافت خاک، بیش‌ترین همبسـتگی با کربن آلی داشـت. در وایازی پیش‌رونده نیز دیده می‌شـود که اجزایی از بافت خاک (درصد لای) رابطه‌ی قوی و معنی‌داری با کربن آلی دارد.

ذره‌هـای رس هم‌زمان به دو روش بر مقـدار کربن آلی خاک تأثیرگزار اسـت. از یک طرف با زیادشـدن مقدار رس ظرفیت خاک برای تأمین و نگـه‌داری کردن عنصرهای غذایی بیش‌تر می‌شود، به این معنی‌که حاصل‌خیزی خاک افزایش می‌یابد. از طرف دیگر، در زمان ایجادشـدن خاک‌دانه‌ها، ذره‌های رس با مواد آلی تشکیل هم‌بافته‌ی (کمپلکس) رس- هوموس می‌دهد و مـواد آلی را از تجزیه‌ی میکروبـی دور می‌کند. این نتیجه با نتیجه‌ی پژوهش‌های کاوه و همکاران (۲۰۱۵) و کاشی‌زنوزی و همکاران (۲۰۱۶) هماهنگ است، ولی با یافته‌های حقیان و سالاری (۲۰۱۸) تناقض دارد.

نتیجه‌گیری

نتیجه‌ی پژوهش نشان داد که کاربری‌های بررسی‌شده از جمله جنگل‌کاری با گونه‌های گوناگون اثر یک‌سـانی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک نداشته است، و مقدار اثرگزاری گونه‌های درختی و بوته‌یی نیز متفاوت اسـت. از آن‌جا که بافت خاک مؤثرترین عامل نگه‌داری کربن آلی اسـت، ضرورت برگزیدن راه‌کارهایی برای ته‌نشین کردن ذره‌های معلق رس و لای در سیلاب برای بهبـود دادن بافت خـاک، و جلوگیری از فرسـایش خاک در عرصه‌های پخش‌سیلاب آشکار می‌شود، زیرا تغییر نمایان بافت خاک از درشـت به متوسط و ریز در عرصه‌های پخش‌سیلاب، سودمندی‌های زیادی از جمله ذخیره‌کردن رطوبت کافی برای رشـد بیش‌تر گیاهان و تولید زی‌توده‌ی بیش‌تر، بهبود فعالیت ریزجـان‌داران و تبدیل‌شـدن شـاخ‌وبرگ گیاهی و لاش‌برگ آن‌هـا به ماده‌ی آلی پایدار (هومـوس)، حفاظت از مواد آلی با چسباندن آن‌ها به ذره‌های رس و لای (پیوندهای آلی-معدنی)، و تشـکیل خاک‌دانه‌های پایدار را در پی دارد. برخلاف انتظار،

افزایش‌نیافتـــن زیاد مقدار کربن آلـــی در خاک مرتع هم‌زمان با تأمین‌شـــدن بخشـــی از رطوبت نیازداشـــته‌ی گیـــاه از راه پخش‌ســـیلاب، و افزایش زی‌توده‌ی گیاهـــی و تنوع گونه‌های گیاهی (فروزه ۲۰۰۶ و مصباح ۲۰۰۳) ممکن اســـت ناشـــی از چرای بی‌رویه باشد، که لازم است توجه ویژه‌یی به کاهش‌دادن زمان دوره‌های چرا شود. احمدی‌ایلخچی و همکاران (۲۰۰۲) و قریشی و همکاران (۲۰۱۳) نیز بر موضوع مدیریت چرا و تأثیر مثبت آن بر مقدار کربن آلی در خاک تأکید کردند.

از طـــرف دیگر، مانند آب‌رُفت‌های درشـــت‌دانه‌ی آب‌خوان که ظرفیت بســـیار زیادی برای نگه‌داری روان‌آب‌ها و سیلاب‌ها در زیر زمین دارند، این آب‌رُفت‌ها در ســـطح زمین امکانی بسیار بزرگ برای ذخیره‌کردن دی‌اکسیدکربن در هوا به شکل کربن آلی در خاک (ته نشســـت کربن) و ورود بـــه عرصه‌ی جهانی تجارت کربن دارد، به‌شـــرط آن که با ته‌نشـــین کردن ذره‌های لای و رس در ســـیلاب‌ها، بافت‌های درشت به بافت‌های ریزتر تبدیل شود. با جذب و ذخیره‌شدن مواد آلی در خاک، اثر منفی تغییر اقلیم که عمدتا ناشی از زیادی گاز دی‌اکسیدکربن در هوا است کاهش می‌یابد.

سپاس‌گزاری

این اثر برگرفته از بخشی از نتیجه‌های پروژه‌ی پژوهشی خاص «تعیین عامل موثر بر ذخیره‌ی کربن آلی در خاک عرصه‌های پخش ســـیلاب و عرصه‌های بی‌پخش‌ســـیلاب ایستگاه کوثر» (۹۹۰۲۲۵-۰۰۶-۲۹-۵۰-۲۴)، پژوهشکده‌ی حفاظت خاک و آبخیزداری) است. نویســـندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از حمایت‌های مادی و معنوی این پژوهشکده و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس نهایت تشکر و قدردانی خود را اعلام نمایند.

فهرست منابع

Ahmadi Ilkhchi A, Hagabbasi MA, Jalalian A. 2002. The effect of changing the use of rangeland lands to forestry on runoff production, loss and soil quality in Dorahan, Chaharmahal and Bakhtiari region. Iranian Journal of Soil and Water Sciences (Agricultural Science and Technology and Natural Resources), 6 (4): 116–103. (In Persian).

Arunrat N, Pumijumnong N, Sereenonchai S, Chareonwong U. 2020. Factors controlling soil organic carbon sequestration of highland agricultural areas in the Mae Chaem Basin, Northern Thailand. Agronomy, 10:1–23.

Azadi Rimaleh A, Hojati SM, Jalilvand H, Naghavi H. 2014. Investigation on soil carbon sequestration and understory biodiversity of hard wood and soft wood plantations of Khorramabad City (Makhamalkoh Site). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 21(4): 702–715. (In Persian).

Barancikova G, Halas J, Guttekova M, Makovnikova J, Navakova M, Skalsky R, Tarasovicova Z. 2010. Application of Roth C model to predict soil organic carbon stock on agricultural soils of Slovakia. Soil and Water Research, 5(1): 1–9.

Blake GR, Hartge KH. 1986. Bulk density. In: Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part I. Physical and Mineralogical Methods, 9(1): 363–376.

Conant RT. 2011. Sequestration through forestry and agriculture. Climatic Change, 2: 38–54.

Dexter AR. 2004. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. Geoderma, 120(3–4): 201–214.

Dinakaran J, Krishnayya NSR. 2008. Variations in type of vegetal cover and heterogeneity of soil organic carbon in affecting sink capacity of tropical soils. Current Science, 94(9): 1144–1150.

Fernandez-Getino AP, Hernandez Z, Piedra Buena A, Almaendros G. 2010. Assessment of the effects of environmental factors on humification processes by derivative infrared spectroscopy and discriminant analysis. Geoderma, 158(3–4): 225–232.

Foroozeh MR. 2006. Investigation of carbon sequestration of soil and mass outpatient species of dominant plants in the distribution area of Gareh Bygone, Fasa. Master›s Thesis in Agricultural Sciences, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 75 p. (In Persian).

Funseca RMF. 2003. Dam reservoir sediments as fertilizers and artificial soils, case studies from Portugal and Brazil. Proc. International Symp. of the Kanazawa Univ., Japan.

Ghahari GR. 2019. Vegetation monitoring of Kowsar research aquifer management station, Annual report of research project, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 55 p. (In Persian).

Ghasemi A, Heydari H, Fakhri F, Azadfar D, Sadeghi SM. 2009. Evaluation of the effect of flood spreading on some arid zone plants species with respect to the physico-chemical properties of desert soils A case study, Bushehr province). Iranian Journal of Rangeland and Desert Research, 16(3): 362–374. (In Persian).

Ghoreyshi R, Goly Kalanpa A, Moatamedi J, Keivan Behjou F. 2013. Carbon Sequestration Capacity in Rangeland Ecosystems and its Relation with Soil Physical and Chemical Characteristics in Rangelands of Khoy. Applied Soil Research, 1(2): 34–44.

Haghian I, Salari A. 2018. Investigation of environmental factors controlling soil organic carbon in rangelands of arid regions (Case study: Yansi Region of Gonabad). Journal of Water and Soil Conservation, 25(3): 281–289. (In Persian).

Hirst SM, Ibrahim AM. 1996. Effects of flood protection on soil fertility in a riverine floodplain area in Bangladesh. Commun. Soil Sci. Plant Anal, 27: 119–156.

Jacob H, Clarke G. 2002. Methods of soil analysis. Part 4, Physical Method, Soil Science Society of America, Inc, Madison, Wisconsin, USA. 1692 p.

Kashi Zenouzi L, Banej Shafiee S, Jafari AA. 2016. Investigating the effect of some environmental factors on organic carbon in Zilber Chay watershed. Journal of Water and Soil Sciences, 20(76):207–218. (In Persian).

Kaveh A, Mahdian MH, Parvizi Y, Sokouti Oskouei R, Masihabadi MH. 2015. Investigating effects of topography, soil and climate factors on soil organic carbon storage in drylands of Kermanshah Province. Desert Management, 4: 51–65. (In Persian).

Kia Heirati J, Khademi H, Eslamian SS, Charkhabi AM. 2002. Role of deposited sediments in changing physic0-chemical properties of soils in the Moghar floodwater spreading system. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 9 (2): 27–40. (In Persian).

Köchy M, Hiederer R, Freibauer A. 2015. Global distribution of soil organic carbon-Part1: Masses and frequency distributions of SOC stocks for the tropics, permafrost regions, wetlands, and the world. SOIL, 1: 351–365.

Kolahchi N, Zahedi Amiri Gh, Khorasani N. 2008. Carbon sequestration in shrubs, perennial grasses and soil in closed range (Heidare) of Hamedan. Pajouhesh va Sazandegi, 21 (3): 18–25. (In Persian).

Kowsar SA. 1991. Floodwater spreading for desertification control: an integrated approach. An Iranian contribution to the implementation of the plan of action to combat desertification, Desertification Control Bulletin, 19: 3–18.

Kowsar SA. 1992. Desertification control through floodwater spreading in Iran. Unasylva, 168 (43): 27–30.

Kowsar SA. 1997. Aquifer management: A key to food security in the deserts of Iran. Proceeding of 8th International. Conference on Rainwater Catchment Systems, Vol. 2, Tehran, Iran, pp. 990–996. (In Persian).

Leifeld J, Bassin S, Fuhrer J. 2005. Carbon stocks in Swiss agricultural soils predicted by land-use, soil characteristics and altitude. Agriculture, Ecosystems and Environment, 105(1–2): 255–266.

Mahdavi SK, Azaryan A, Javadi M, Mahmoodi J. 2016. Effects of flood spreading on some physic-chemical properties and soil fertility (Case study: Band-E Alikhan area, Varamin). Journal of Rangeland, 10(1): 68–81. (In Persian).

McDowell RW, Sharpley AN. 2001. Approximating phosphorus release from soils to surface runoff and subsurface drainage. Journal of Environmental Quality, 30: 508–520.

Mesbah SH. 2003. Investigation of the effect of flood spreading on quantitative and qualitative changes in vegetation cover Gareh Bygone of Fasa. Final Report of Research Project, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 42 p. (In Persian).

Mortenson M, Shuman GE. 2002. Carbon sequestration in rangeland inter seeded with yellow-flowering Alfalfa (Medicago sativa spp. Falcata). In: USDA symposium on natural resource management to offset greenhouse gas emission in University of Wyoming.

Naderi A, Kowsar SA, Sarafraz AA. 2000. Reclamation of a sandy desert through floodwater spreading. I. sediment induced changes in selected soil chemical and physical properties. Journal of Agricultural Science and Technology, 2: 9–20. (In Persian),

Nelson DW, Sommers LP. 1986. Total carbon, organic carbon and organic matter, p 539–579. In: Page, A.L. (ed.), Methods of Soil Analysis: Part 2, Agronomy Handbook No 9, American

Society of Agronomy and Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI.

Oeba VO, Otor SCJ, Kung'u JB, Muchiri MN, Mahamane L. 2018. Soil carbon sequestration differentials among key forest plantation species in Kenya: Promising Opportunities for Sustainable Development Mechanism. Agriculture, Forestry and Fisheries, 7(3): 65–74.

Pei T, Qin CHZ, Zhu AX, Yang L, Luo M, Li B, Zhou CH. 2010. Mapping soil organic matter using the topographic wetness index: A comparative study based on different flow-direction algorithms and kriging methods. Ecological Indicators, 10(3): 610–619.

Perez-Bejarano A, Mataix-Solera J, Zornoza R, Guerrero C, Arcenegui V, Mataix Beneyto J, Cano-Amat S. 2010. Influence of plant species on physical, chemical and biological soil properties in a Mediterranean forest soil Cano-Amat. European Journal Forest Research, 129: 15–24.

Post WM, Kwon KC. 2000. Soil carbon sequestration and land-use change: Processes and Potential. Global Change Biology, 6(3): 317–327.

Puladi N, Delavar MA, Golchin A, Mosavi Koper A. 2013. Effect of alder and popular plantation on soil quality and carbon sequestration (a case study: Safrabasteh Popular Experimental Station). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 21(2): 286–299. (In Persian).

Rahbar GhR, Kowsar SA. 2002. Investigation of some physical and chemical changes of soil in Gareh Bygone flood spreading networks, Proceedings of the workshop on the effect of flood spreading on soil properties in flood spreading station, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 62 p. (In Persian).

Rother JA, Whitton BA. 1989. Nitrogenous activity of blue-green algae on seasonally flooded soils in Bangladesh. Plant and Soil, 113: 47–52.

Sadeghi A, Farahi HF. 1984. Semi-detailed soil science report of dahaneh-e-shoor, neishabour, Soil and Water Research Institute, Technical Publication, 39 p.

Saiz G, Bird MI, Domingues T, Schrodt F, Schwarz M, Feldpausch TR, Veenendaal E, Djagbletey G, Hien F, Compaoré H. 2012. Variation in soil carbon stocks and their determinants across a precipitationgradient in West Africa.Glob. Chang. Biol, 18: 1670–1683.

Sardabi H, Rahmani A, Hamze B, Assareh MH, Ghorany M. 2010. Impact of different Eucalypt species on forest soil properties in Guilan province. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 18 (1): 116–131. (In Persian).

Sarreshtehdari A, Skidmore AK. 2005. Soil properties changing after flood spreading project (Case study in Iran). ICID 21st European Regional Conference 2005. Frankfurt (Oder) and Slubice. Germany and Poland. pp. 489–490.

Schiefer J, Lair GJ, Lühgens C, Wild EM, Steier P, Blum WEH. 2018. The increase of soil organic carbon as proposed by the "4/1000 initiative" is strongly limited by the status of soil development- A case study along a substrate age gradient in Central Europe. Sci. Total Environ 628–629: 840–847.

Schlup CJE, Nabuurs GJ, Verburg PH. 2008. Future carbon sequestration in Europe – Effects of land use change. Agr. Ecosyst. Environ 127(3–4): 251–264.

Scott NA, Kelvin R, Tate D, Giltrap HR, Wild M, Davis M. 2000. Land cover effects on soil carbon storage in New Zealand: A national monitoring system. Advances in terrestrial ecosystem Carbon in Ventory, measurement, and monitoring conference in Raleigh, North Carolina, October 3–5.

Sheidai Karkaj E, Sepehry A, Barani H, Motamedi J. 2017. Soil organic carbon reserve relationship with some soil properties in East Azerbaijan rangelands. Journal of Rangeland, 11(2): 125–138. (In Persian).

Singh G, Bala N, Chaudhuri KK, Meena RL.

2003. Carbon sequestration potential of common access resources in arid and semi-arid regions of northwestern India. Indian Forester, 129(7): 859–864.

Six J, Conant RT, Paul EA, Paustian K. 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C saturation of soils. Plant and Soil, 241(2):155–176.

Soleimani R, Kamali K, Shafiee Z, Pirani A, Azami A. 2005. Changes in physical and chemical properties of soil due to flood spreading at mosian Ilam Station, Proceedings of the 9th Iranian Soil Science Congress, Karaj, Iran. (In Persian).

Soukoti Oskoii R, Mahdian MH, Majidi A, Ahmadi A, Khani J. 2004. Examination of effect flood spreading on soil properties in Poldasht basine. Journal Pajouhesh va Sazandegi, 67:42–50. (In Persian).

Stewart CE, Plante MF, Paustian K, Conant R, Six J. 2008. Soil carbon saturation: Linking concept and measurable carbon pools. Soil Science Society of America Journal, 72(2): 379–394.

Wang Sh, Wang X, Ouyang Zh. 2012. Effects of land use, climate, topography and soil properties on regional soil organic carbon and total nitrogen in the upstream watershed of Miyun Reservoir, North China. Journal of Environmental Sciences, 24(3): 387–395.

Wiesmeier M, Barthold F, Blank B, Kogel-Knabner I. 2011. Digital mapping of soil organic matter stocks using Random Forest modeling in a semi-arid steppe ecosystem. Plant and Soil, 340: 7–24.

Yazdian AR, Kowsar SA. 2003. The Agha Jari Formation: A potential source of ammonium and nitrate nitrogen fertilizers. Journal of Agricultural Sciences and Technology, 5: 153–163.

Yeasmin S, Singh B, Johnston CT, Sparks DL. 2017. Organic carbon characteristics in density fractions of soils with contrasting mineralogies. Geochimica et Cosmochimica Acta, 218: 215–236.

Watershed Management Research

VOL. 34, No.4, Ser. No: 133, Winter 2022, pp. 135-149
DOI: 10.22092/WMRJ.2021.355443.1426

Research Paper

The Role of Land Use and Physical Properties on Soil Organic Carbon in the Flood Spreading Fields of Kowsar Station

Mohammad Javad Rousta*
(Corresponding Author)* Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran
Mojtaba Pakparvar
Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran
Seyed Masoud Soleimanpour
Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran
Maryam Enayati
M.Sc., Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran

*Corresponding Author's Email: m.roosta@areeo.ac.ir

Received: 03 June 2021 Accepted: 20 September 2021

Abstract

Soil properties and land use affect the soil carbon content and reduce the adverse effects of climate change. This study aims to assess the effect of some physical properties of soil and land use on the amount of soil organic carbon content (SOC) and model development to estimate the amount of SOC. This investigation was carried out in 2020 in the areas of flood spreading in of Fasa (Kowsar station). Land uses included acacia (*Acacia salicina* Lindl.), eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.), atriplex (*Atriplex lentiformis* (Torr.) Wats.) plantation, and natural rangeland, all of which are irrigated by flood spreading. By sampling in three replications of the soil of different land uses from the depth of 0-30 cm (15 composite samples), percentage of sand, silt, clay, silt+clay, percentage of soil saturation moisture (SP), bulk density (BD), particle density (PD), porosity percentage (PS), void ratio (VR) and SOC were determined. Obtained data were statistically analyzed in a complete randomized design and the means were compared with the Duncan test at $P<0.05$. The analysis of variance showed that the effect of land use (PT) on the percentage of sand, silt, silt + clay, SP, BD, PS, VR, and SOC has been significant at $P<0.01$, and the clay, at $P<0.05$. Comparison of the means of SOC in different land uses showed that the Eucalyptus forest, with 1.68%, has the highest value and the control with 0.14% organic carbon has the lowest value. There was no statistically significant difference between the SOC in Acacia forest, Atriplex, and rangeland. Stepwise regression analysis was used to present the model. Soil physical properties and land use were considered as independent variables and SOC was considered as a dependent variable. The results showed that the variable of silt explains 77.00% of the changes in organic carbon. Based on the principal component analysis (PCA) method, according to the specific values, considering the first two axes, about 91.70% of the changes can be explained. Considering the first axis, 69.71% and considering the second axis, 21.99% of the changes are justifiable. The PT, with 91.40%, sand with 84.30%, BD, 82.70%, showed a negative correlation with SOC. While the SP had 90.30%, percentage of clay+silt had 84.80%, PS, 80.70%, VR, 79.10%, silt, 78.50%, clay, 78.50%, had a positive correlation with SOC.

Keywords: Carbon stock model, flood spreading, Kowsar Station, organic carbon, soil physical properties