نشریه شمـاره ۴، پاییز و زمستان ۱۳۹۳، صفحات ۶۵-۵۱

نشریه مدیریت بیابـان
www.isadmc.ir

انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران

نقش ویژگی‌های توپوگرافی، خاکی و اقلیمی بر ذخیره کربن آلی خاک دیم‌زارهای استان کرمانشاه

اطهر کاوه[1*]، محمدحسین مهدیان[2]، یحیی پرویزی[3]، رضا سکوتی اسکویی[4] و محمدحسن مسیح‌آبادی [5]

۱. دکتری خاکشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران،
۲. استاد پژوهشکدهٔ حفاظت خاک و آبخیزداری،
۳. استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه،
۴. استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی،
۵. استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران
* نویسنده مسئول: athar.kaveh@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۹/۰۸

چکیده

ذخیره‌سازی وترسیب کربن در خاک یکی از روش‌های کاهش مقدار گاز دی‌اکسیدکربن اتمسفر محسوب می‌شود. بنابراین، با شناخت عامل‌های مختلف تأثیرگذار بر ذخیره کربن در خاک، می‌توان به ارتقاء باروری خاک و حفظ محیط‌زیست کمک کرد. به این منظور، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر ویژگی‌های فیزیکی خاک بر مقدار ذخیره کربن در دیم‌زارهای حوضه آبخیز سرفیروزآباد کرمانشاه انجام شد. پس از تفکیک حوضه به مناطق همگن، نمونه‌برداری به‌صورت نظام مند (سیستماتیک) تصادفی و مرکب انجام شد. پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، ویژگی‌های بافت، درصد آهک و سنگ‌ریزه و کربن آلی خاک اندازه‌گیری و در پایان ذخیره کربن آلی خاک محاسبه شد. سپس، با استفاده از روش‌های رگرسیون گام به گام، تحلیل عاملی و خوشه‌ای، شاخص‌های مؤثر بر ذخیره کربن در خاک شناسایی شد. نتایج تحلیل خوشه‌ای نشان داد سه متغیر درصد آهک، سیلت و درصد اشباع خاک از مهم‌ترین مشخصه‌های تأثیرگذار بر ذخیره کربن آلی خاک است. مدل رگرسیونی محاسبه شدهبا سه متغیر مذکور توانایی پیش بینی حدود ۳۳ درصد تغییرات ذخیره کربن با ضریب همبستگی ۰/۵۷را دارد. هم‌چنین، تحلیل خوشه‌ای با ضریب کارایی ۰/۳۲، برای پیش‌بینی اثرات ویژگی‌های فیزیکی بر ذخیره کربن در خاک می‌تواند مورد بهره جویی قرار گیرد. لذا، متغیرهای خاکی نسبت به عامل‌های توپوگرافی و اقلیمی در برآورد ذخیره کربن خاک تأثیر بیشتری دارند که باید به بهبود شرایط خاک به‌منظور حفظ ذخایر کربن خاک توجه بیشتری شود.

واژگان کلیدی: تحلیل خوشه‌ای، تحلیل عاملی، رگرسیون گام به گام، سیستماتیک تصادفی.

■ مقدمه

یکی از مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای دی‌اکسیدکربن است که افزایش این گاز، اثرهای زیان اور زیادی بر محیط زیست و حیات انسان گذاشته است که از جمله آن‌ها می‌توان تخریب بوم نظام‌های (اکوسیستم) طبیعی، کاهش تنوع زیستی، وقوع سیل، خشکسالی و بیابان‌زایی را نام برد. برای کاهش دی‌اکسیدکربن اتمسفری و ایجاد تعادل در مقدارگازهای گلخانه‌ای، باید کربن جذب و سپس در زیتوده (بیومس) گیاهی و خاک ذخیره شود که در عین حال ارزان‌ترین راهکار برای کاهش دی-اکسیدکربن جو است. ذخیره کرد کربن در خاک می‌تواند راهکاری مؤثر در راستای مقابله با آلودگی هوا، تغییر اقلیم و در نتیجه دستیابی به توسعه پایدار انتخاب شود (صیادیان و همکاران، ۱۳۸۶).

ذخیره کربن آلی خاک از طریق ذخیره دی‌اکسیدکربن اتمسفر در خاک‌های کشاورزی می‌تواند بر کیفیت خاک، تولیدات زراعی و سازگاری و تعدیل تغییرات آب و هوایی تأثیر بگذارد (Srinivasarao *et al*., 2012). تثبیت کربن و افزایش مواد آلی خاک، اثرهای خوب بر کیفیت و حاصلخیزی خاک، تخلخل، نفوذپذیری، ذخیره رطوبت و حفاظت در برابر فرسایش آبی و بادی دارد (ورامش و همکاران، ۱۳۹۰؛ Morgan *et al*., 2010).

عامل‌های مؤثر بر ذخیره کربن را می‌توان در دو دسته عامل‌های محیطی و عامل‌های مدیریتی دسته‌بندی کرد. از جمله مهم‌ترین عامل‌های محیطی مؤثر بر ذخیره کربن را می‌توان ویژگی‌های خاکی، توپوگرافی و اقلیمی نام برد (پرویزی، ۱۳۸۹). بر اساس بررسی که روی ویژگی‌های فیزیوگرافی و ذخیره کربن آلی خاک در دماوند انجام شد، بیشترین ضریب همبستگی کربن آلی خاک با ارتفاع به‌دست آمد (R= -۰/۵۲) که با افزایش ارتفاع، مقدار کربن آلی خاک کاهش می‌یابد، زیرا با افزایش ارتفاع، نوع مدیریت اراضی و پوشش گیاهی به‌طور غیرمستقیم بر مقدار ذخیره کربن تأثیرگذار می‌باشند (دادگر، ۱۳۹۱).

پژوهش دیگری که در پارک جنگلی چیتگر تهران انجام شد، نشان داد درصد رس و نیتروژن به‌ترتیب از مهم‌ترین اجزای تأثیرگذار بر مقدار کربن آلی خاک است (ورامش و همکاران، ۱۳۹۰). بررسی عامل‌های مؤثر بر ترسیب کربن آلی خاک در منطقه حفاظت شده هفتاد قله اراک، نشان داد ترسیب کربن آلی خاک با درصد لوم خاک، رطوبت اشباع خاک همبستگی مثبت و معنی‌دار و با درصد سنگ‌ریزه خاک همبستگی منفی و معنی‌دار داشته است (عبدی، ۱۳۹۱).

طی پژوهشی در چین، اثر توپوگرافی و نوع پوشش بر ذخیره کربن آلی خاک بررسی شد. نتایج به‌دست آمده مؤید این است که جهت شیب بر ذخیره کربن در اکوسیستم مؤثر است و این تأثیر بسته به عمق خاک متغیر است (Huang *et al*., 2007). در جنوب اسپانیا هم سه منطقه با بافت خاک متنوع و شرایط آب و هوایی مختلف مورد بررسی قرار گرفت (Carbonell- Bojollo *et al*., 2012). نتایج نشان داد با توجه به شرایط آب و هوایی این منطقه، بیشترین خروج گاز دی‌اکسیدکربن از خاک در فصل بهار انجام می شود. اگرچه دما و رطوبت بر روی تنفس خاک تأثیر دارد، اما بافت خاک عاملی تعیین‌کننده است. زمانی که بارندگی زیاد است، خاک‌های با رسزیاد، دی‌اکسیدکربن زیادی را می‌تواند ذخیره کند، در صورتی‌که در دوره تابستان (کمبود باران و دمای زیاد)، تولید و انتشار این گاز محدود می‌شود.

بیشتر پژوهش‌های انجام شده در سطح کشور به صورت موردی به بررسی و مقایسه اثرات چند ویژگی خاکی و توپوگرافی بر ظرفیت ذخیره کربن پرداخته است. این خلأ پژوهشی در مناطق نیمه خشک کشور به‌ویژه در کاربری دیم‌زار که به‌عنوان نقاط هدف و اصلی برای ذخیره کربن و مبارزه با تخریب سرزمین مطرح شده است، مشهودتر است. این درحالی است که در سال‌های اخیر در سطح جهانی، پژوهش‌های متنوعی در این زمینه انجام شده است. لذا، با توجه به اهمیت ذخیره کربن در خاک، در این پژوهش تأثیر عامل‌های فیزیکی شامل ویژگی‌های توپوگرافی، خاکی و اقلیمی در تغییرپذیری کربن آلی خاک در مقیاس حوضه شناسائی و اولویت‌بندی این اثرات به انجام رسید.

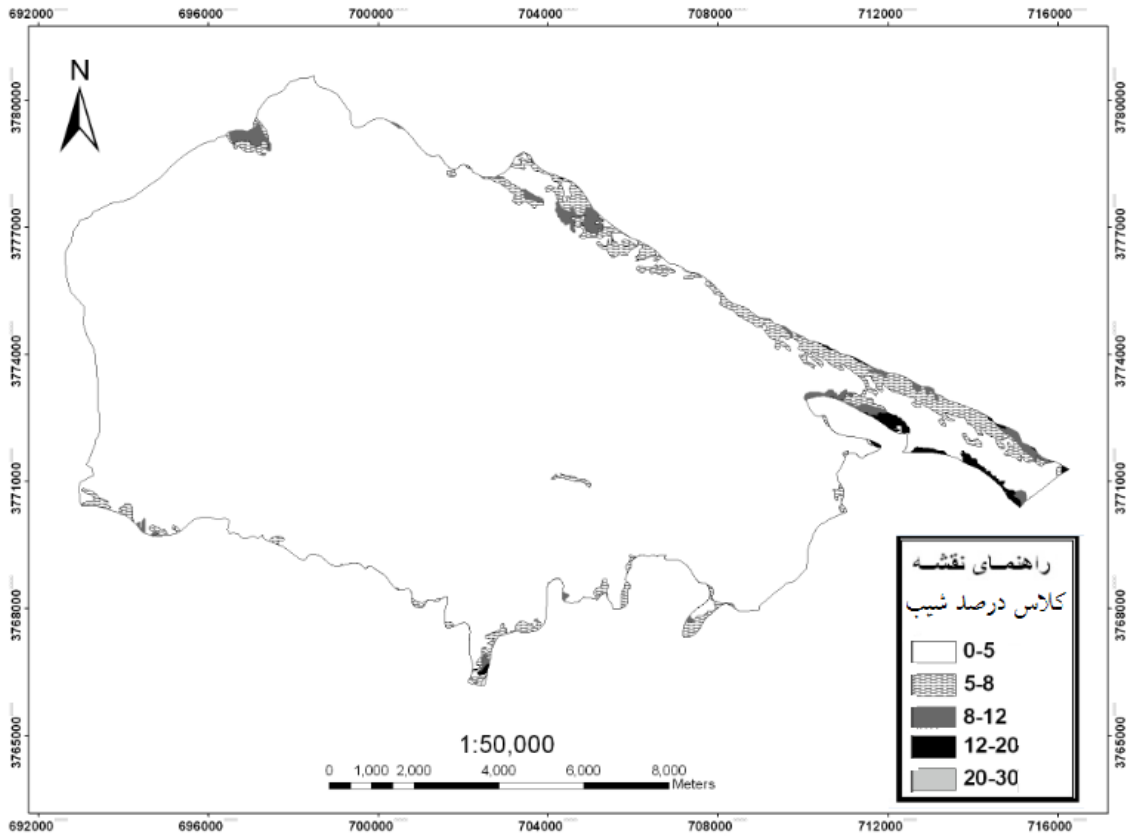
به‌علاوه، برهم کنش این عامل‌ها با هم بر مقدار کربن آلی بررسی و روش بهینه برای ارزیابی آن ارائه شد.

■ مواد و روش‌ها

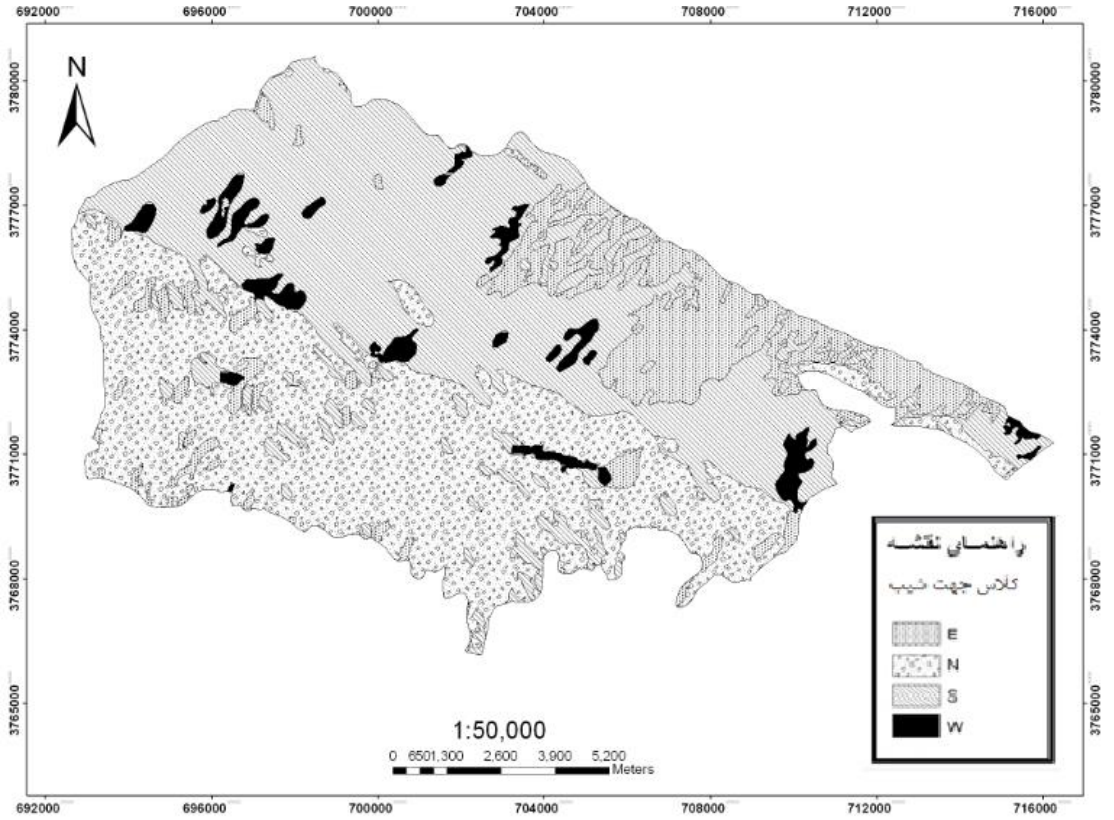
منطقهٔ مورد بررسی

منطقه مورد بررسی، دیم‌زارهای حوزهٔ آبخیز سرفیروزآباد کرمانشاه از زیرحوضه‌های کرخه در استان کرمانشاه است. از نظر موقعیت جغرافیایی در بین ۴۷ درجه، ۴ دقیقه، ۲۵ ثانیه تا ۴۷ درجه، ۲۲ دقیقه، ۱۸ ثانیه طول جغرافیایی شرقی و در بین ۳۴ درجه، صفر دقیقه، ۳۸ ثانیه تا ۳۴ درجه، ۹ دقیقه، ۳۱ ثانیه عرض‌های جغرافیایی شمالی قرارگرفته است. این حوضه در میان ارتفاعات کوه سفید در شمال و کوه نسار در جنوب منطقه قرار گرفته و میانگین ارتفاع آن ۱۵۹۲ متر از سطح دریا می‌باشد. میانگین بارش سالانه ۷۸۱ میلی‌متر استه و میانگین دمای سالانه آن ۹/۱۷ درجه سانتی‌گراد است.

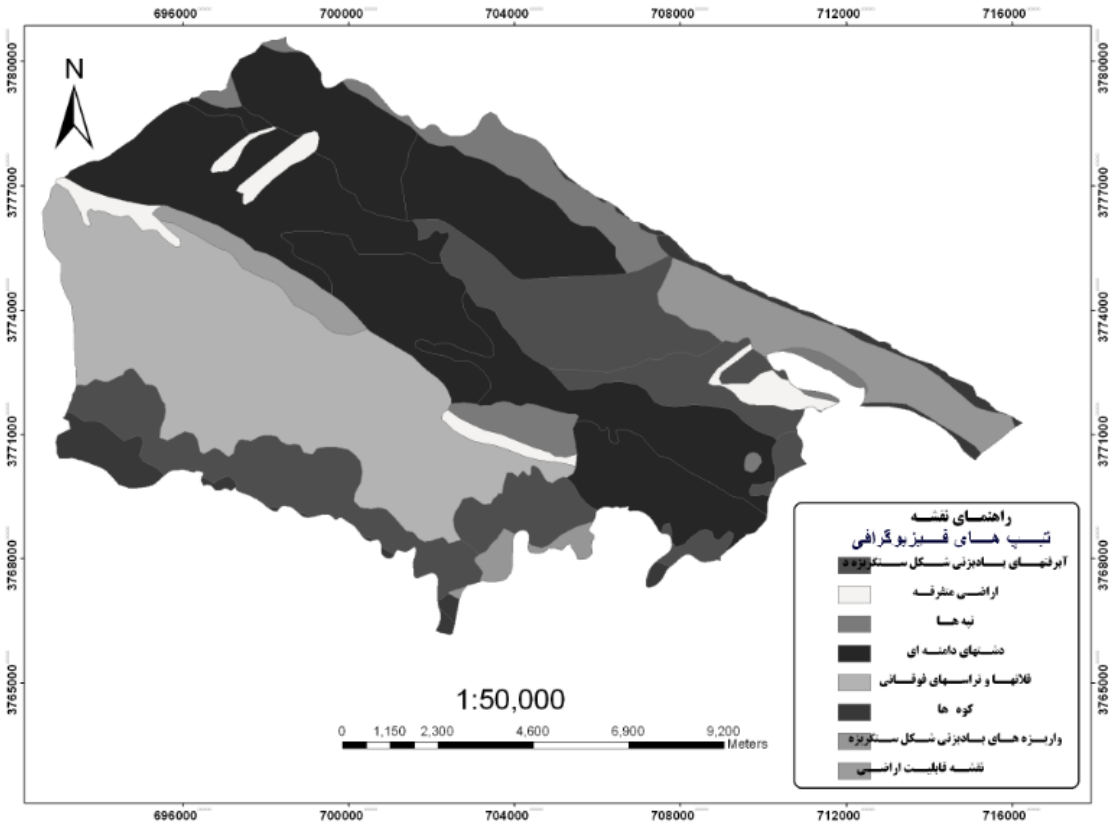
در منطقه مورد پژوهش، محدوده‌ای که برای نمونه‌برداری انتخاب شده، اراضی دیم وسعتی در حدود ۱۴۰۰۰ هکتار دارد. بنابراین قبل از نمونه‌برداری، زمین به قطعات یکنواخت و همگن تقسیم شد. برای تهیه نقشهٔ واحدکاری، نقشه‌های شیب (شکل۱)، جهت شیب (شکل۲)، تیپ اراضی (شکل۳)، رده‌های خاک (شکل۴) منطقه به‌صورت ترکیبی با هم تلفیق شده (فاتحی، ۱۳۹۰)، به‌طوری‌که هر یک از واحدهای آن (حدود ۳۵ واحد) ویژگی‌های خاصی از نظر درصد شیب، جهت شیب، تیپ فیزیوگرافی را مطرح می‌کند (شکل ۵). در مرحله بعد، پس از ارزیابی نقشه نهایی حوضه، نقاط موردنظر برای نمونه‌برداری مشخص شد. موقعیت جغرافیایی و توزیع مکانی نقاط نمونه‌برداری در این حوضه در شکل (۶) نشان داده شده است.



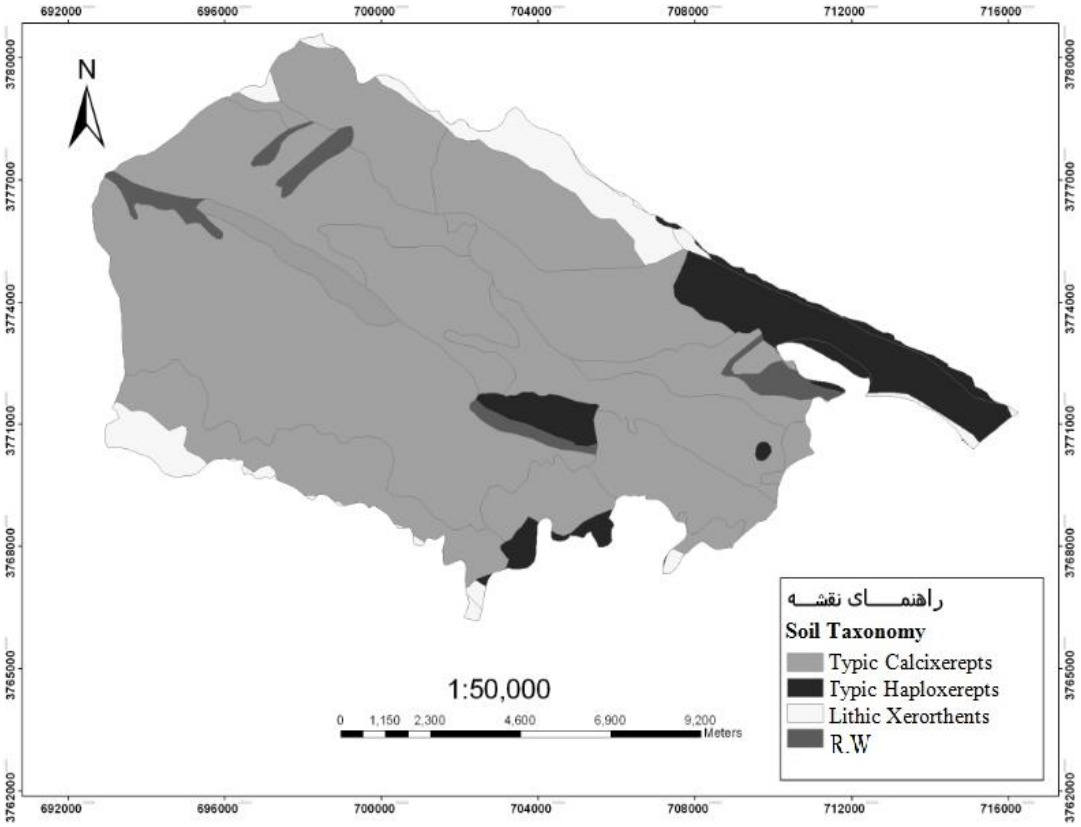
شکل۱. نقشه شیب (با استفاده از نقشه توپوگرافی۱:۵۰۰۰۰)



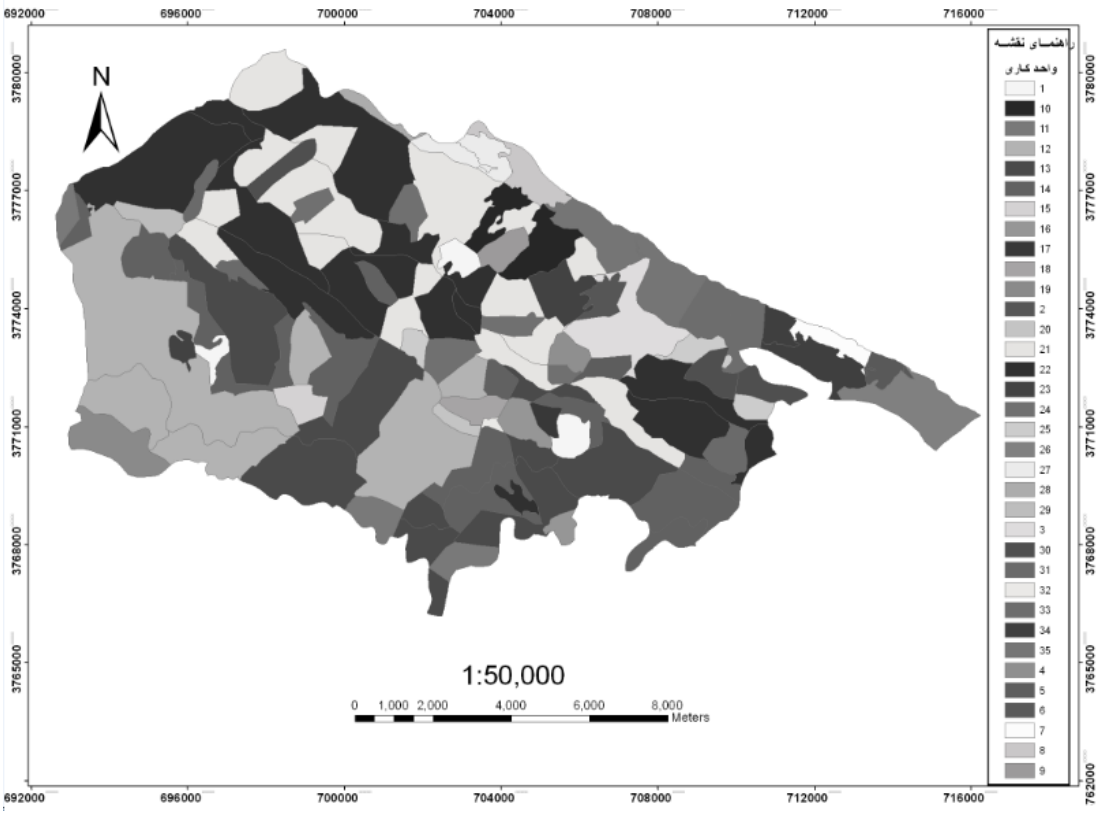
شکل۲. نقشه جهت شیب (با استفاده از نقشه توپوگرافی۱:۵۰۰۰۰)



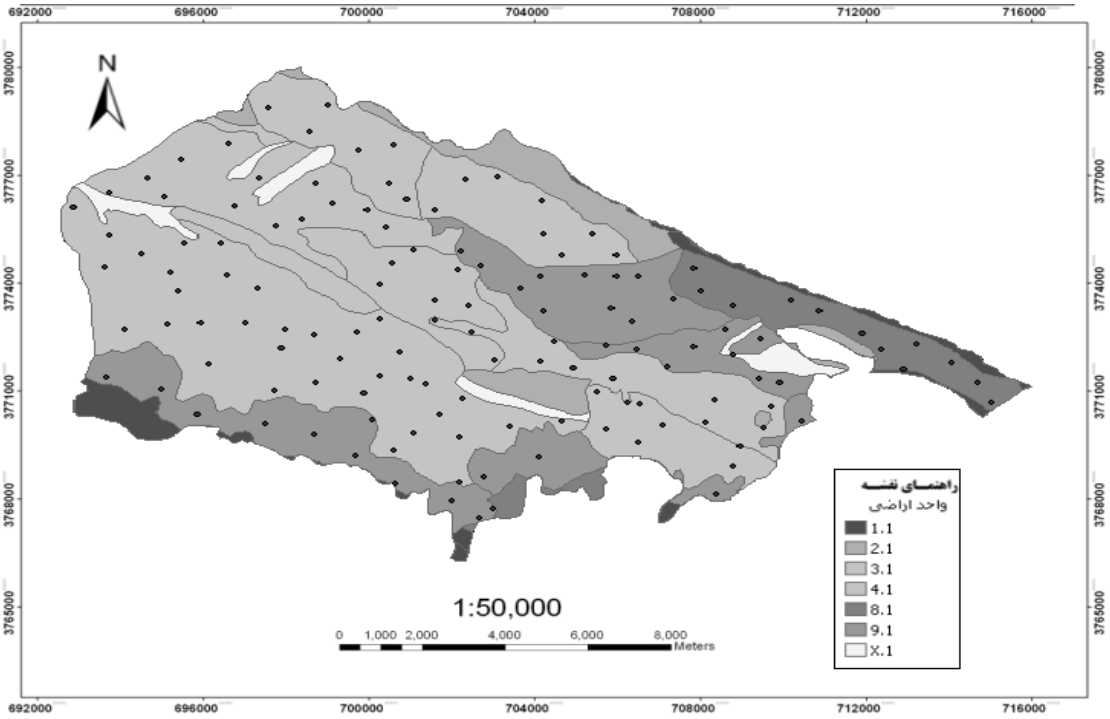
شکل۳. نقشه واحدهای فیزیوگرافی منطقه



شکل ۴. پراکندگی خاک‌های حوضه با روش فائو



شکل۵. نقشه نهایی واحدهای کاری



شکل۶. نقشه موقعیت نقاط نمونه‌برداری

در آغاز، نمونه‌برداری خاک به‌صورت نظام‌مند-تصادفی بر پایهٔ نقشه واحدهای کاری انجام شد. در هر واحدکاری نمونه‌ها به‌صورت شبکه‌ای که در هر شبکه نیز نمونه‌ها به‌دلیل همگن بودن خاک تصادفی تهیه شد. در این رابطه، نمونه‌های خاک به‌صورت مرکب و از سطح خاک (عمق ۰تا۲۰ سانتی‌متری) برداشت شد. در این خصوص، به‌صورت شبکه‌ای مربع شکل و با ابعاد ۱۰×۱۰متر که نمونه‌ها را از چهار گوشه شبکه و مرکز آن برداشته و با هم مخلوط کرده تا یک نمونه مرکب برای آن شبکه به‌دست آید. سپس ۱۴۰ نمونه برداشت شده به آزمایشگاه ارسال و نمونه‌ها در هوای آزاد خشک شده و بعد از خرد کردن کلوخه‌ها، جدا کردن ریشه‌ها، سنگ‌ها و سایر ناخالصی‌ها، از الک دو میلی‌متری (مش ۲۰) عبور داده شد.

بافت خاک با استفاده از روش هیدرومتری، جرم مخصوص ظاهری خاک به روش کلوخه بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب، کربن آلی و ماده آلی خاک به روش والکلی بلاک، کربنات کلسیم ($CaCO_3$) با روش خنثی کردن با اسید کلریدریک یک نرمال و تیتر با سود نرمال و درصد رطوبت اشباع خاک به روش خشک کردن مقدار معین خاک تر در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد و مقدار حجمی سنگ‌ریزه نیز در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد (جعفری حقیقی، ۱۳۸۲).

به‌منظور تحلیل آماری و مقایسه داده‌ها، ابتدا اماره‌های حداقل، حداکثر، میانگین، ضریب تغییرات، چولگی و کشیدگی برخی از شاخص‌های فیزیکی شامل ویژگی‌های توپوگرافی، خاکی و اقلیمی، تعیین و سپس نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف- اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفت و ضرایب همبستگی بین متغیرها به روش پیرسون محاسبه شد (Almagro *et al*., 2013).

با توجه به تعدد متغیرهای مورد بررسی، برای تحلیل تغییرپذیری مخزن کربن آلی خاک، از روش‌های تحلیل چند متغیره استفاده شد، به‌نحوی که در آن ذخیره کربن به‌عنوان متغیر تابع و متغیرهای فیزیکی از قبیل: ارتفاع، شاخص تلفیق شیب-جهت (TAS[1]) که از حاصل‌ضرب TA در سینوس زاویه شیب به‌دست می‌آید، درصد شیب، جهت شیب تغییر یافته (TA[2])، انحناء سطح، درصد

[1] TAS - Aspect-slope index
[2] TA -- Transposed Aspect -- $TA = \cos(aspect)$

اشباع، درصدهای رس، سیلت، شن، سنگ‌ریزه و آهک، میانگین دمای هوا، بارندگی، تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه و کلاس اقلیم می‌باشد، به‌عنوان متغیر مستقل مورد بررسی قرار گرفت. روش‌های تحلیل چندمتغیره مورد استفاده شامل رگرسیون گام به گام، تحلیل عاملی[3] و خوشه‌ای[4] (Bohm *et al.*, 2012) با بهره گیری از نرم‌افزار $SPSS_{18}$ برای ارائه مدل‌های ریاضی انجام شد. در پایان، این روش‌ها براساس معیارهای آماری، شامل ریشه دوم میانگین مربعات خطای تخمین (RMSE[5])، میانگین خطای اریبی (MBE[6])، ضریب کارائی (EF[7]) و ضریب همبستگی ارزیابی شدند. برای محاسبه این شاخص‌ها از رابطه‌های (۱)، (۲) و (۳) بهره گرفته شد (Schrumpf *et al.*, 2011; Khalil *et al.*, 2013).

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

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

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

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

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_i - \overline{Q})^2 - \sum_{i=1}^{n}(P_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(Q_i - \overline{Q})^2} \qquad (۳)$$

که در آن: EF کارائی مدل‌سازی، n تعداد داده‌ها، i شاخص تعداد داده‌ها، Qi مقدار اندازه‌گیری شده، Pi مقدار پیش‌بینی شده، $\overline{Q}$ متوسط مقدار اندازه‌گیری را نشان می‌دهد.

■ نتایج

در جدول (۱) برخی شاخص‌های آماری توصیفی شامل میانگین، کمینه، بیشینه و ضریب تغییرات ذخیره کربن آلی خاک در عمق ۲۰ سانتی‌متری مربوط به ۱۵ متغییر محیطی ارائه شده است. میانگین شاخص‌های مختلف فیزیکی در بین ۱۴۰ نقطه، از ۰/۰۰۴- برای "شاخص انحناء سطح" تا ۱۵۹۲/۶۶ برای "شاخص ارتفاع" متغیر است. هم‌چنین، پراکندگی مقادیر شاخص‌های مؤثر بر ذخیره کربن را می‌توان با استفاده از ضریب تغییرات که شامل نسبت انحراف معیار به میانگین بوده، مورد بررسی قرار داد. نتایج جدول (۱) نشان می‌دهد شاخص‌های "جهت شیب تغییر یافته" و " ارتفاع" به‌ترتیب با ضریب تغییرات ۲۴۲۸ و پنج بیشترین و کمترین پراکندگی را حول میانگین نشان می‌دهند.

مقدار زیاد ضریب تغییرات در شاخص "جهت شیب تغییر یافته" نشانهٔ آن است که در بین نقاط نمونه‌برداری شده در حوضه، تفاوت قابل ملاحظه‌ای از لحاظ مقدار این شاخص حول میانگین وجود دارد و در ضمن نقاط نمونه‌برداری در کلیه جهت‌ها پراکنده بوده و فراوانی کافی "جهت شیب" در نمونه‌ها وجود دارد. بنابراین، شاخص "ارتفاع" مقادیر نسبتا مشابهی را در بین ایستگاه‌های مختلف داراست و از همگنی بیشتری نسبت به شاخص‌های دیگر به‌دست آمده برخوردار است. هم‌چنین، متوسط شیب نقاط نمونه‌برداری در حوضه ۵/۵۳ درصد است. نتایج آمارهای توصیفی چولگی و کشیدگی شاخص‌های مورد بررسی حوضه، برای نمایه چولگی بین ۱ و ۱- و برای نمایه کشیدگی ۳ و ۳-، نشان از آن دارد که نمونه‌ها توزیع نرمال دارند (جدول۱).

ضرایب همبستگی بین ذخیره کربن با متغیرهای فیزیکی در جدول (۲) ارائه شده است. جدول (۲) نشان می‌دهد که بین ذخیره کربن با شاخص‌های درصد سیلت، تبخیر و تعرق پتانسیل و طبق اقلیم رابطه معنی‌دار و منفی و با شاخص ارتفاع، درصد اشباع و شن رابطه معنی‌دار و مثبت در سطح یک درصد وجود دارد. از سوی دیگر، بین شاخص‌های درصد سنگریزه و متوسط بارندگی سالانه با ذخیره کربن رابطه معنی‌دار و مثبت و با درصد

[3] FA – Factor Analysis
[4] CA – Cluster Analysis
[5] Root Mean Square Error
[6] Mean Bias error
[7] Modeling Efficiency

آهک و متوسط دمای سالانه رابطـه معنـی‌دار و منفـی در سطح پنج درصد برقرار است.

جدول ۱. برخی آماره‌های ذخیره کربن آلی خاک و متغیرهای فیزیکی

ردیف	متغیر	حداقل	حداکثر	متوسط	ضریب تغییرات (٪)	ضریب کشیدگی	ضریب چولگی
۱	CS(t ha^{-1})	۹/۶۵	۷۵/۴۰	۳۱/۱۹	۳۹	۱/۲۳	۱/۱۰
۲	Elev.(m)	۱۴۷۵/۰۰	۱۸۹۷/۰۰	۱۵۹۲/۶۶	۵	۲/۴۸	۱/۵۴
۳	Slope (%)	۱/۰۰	۳۷/۰۰	۵/۵۳	۱۰۷	۷/۶۲	۲/۴۷
۴	TA	-۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۰۲۸	۲۴۲۸	-۱/۴۴	-۰/۰۱
۵	TAS	-۰/۹۱	۰/۹۸	-۰/۰۵۸	۸۶۲	-۰/۸۶	۰/۲۳
۶	Cur.	-۰/۲۸	۰/۲۳	-۰/۰۰۴	۱۲۵۰	۱۰/۶۳	-۱/۲۱
۷	TNV(%)	۵/۷۵	۵۶/۲۵	۳۰/۲۸	۳۱	۰/۵۸	-۰/۱۸
۸	SP(%)	۴۳/۰۰	۶۸/۰۰	۵۲/۱۳	۷	۲/۶۴	۰/۶۹
۹	Gravel(%)	۰/۰۰	۶۰/۰۰	۱۰/۶۴	۱۳۶	۱/۳۳	۱/۴۷
۱۰	Clay(%)	۲۸/۰۰	۵۷/۰۰	۴۳/۷۴	۱۴	-۰/۱۱	-۰/۱۸
۱۱	Silt(%)	۳۰/۰۰	۵۵/۲۰	۴۴/۲۰	۱۰	-۰/۰۸	۰/۱۷
۱۲	Sand(%)	۱/۰۵	۳۹/۲۰	۱۲/۰۴	۵۷	۱/۳۵	۱/۰۲
۱۳	A.R (mm)	۶۵۰/۰۰	۹۷۵/۰۰	۷۸۱/۵۶	۱۰	-۰/۸۵	-۰/۱۲
۱۴	M.A.T (°C)	۶/۰۰	۱۲/۰۰	۹/۱۷	۱۴	-۰/۴۵	-۰/۲۰
۱۵	ET (mm)	۵۰۰/۰۰	۱۶۷۵/۰۰	۸۴۴/۵۰	۳۸	-۰/۸۴	۰/۵۹
۱۶	C.Type	۱/۰۰	۳/۰۰	۲/۲۹	۲۷	-۰/۶۸	-۰/۳۶

CS: ذخیره کربن (تن بـر هکتـار)، Elev.: ارتفـاع از سـطح دریـا، S: درصـد شـیب، TA: جهـت شـیب تغییـر یافتـه، TAS: شـاخص تلفیـق شـیب-جهـت، Curv.: انحنـاء سـطح، TNV: درصـد آهـک، S.P: درصـد اشـباع، Gravel: درصـد سـنگریزه، Clay، Silt و Sand: درصـدهای رس، سـیلت و شـن، M.A.T: میانگین دمای سالانه هوا، A.R: متوسط بارندگی سالانه، ET: تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه و C.Type: کلاس یا نوع اقلیم

جدول ۲. تجزیه همبستگی بین فاکتورهای فیزیکی اندازه‌گیری شده

	CS (t ha^{-1})	Elev. (m)	Slope ٪	TA	TAS	Cur.	TNV ٪	SP ٪	Gravel ٪	clay	silt	sand	M.A.T (°c)	A.R (mm)	ET (mm)	C.Type
CS(t ha^{-1})	۱/۰۰۰	۰/۲۷۴	-۰/۰۴۹	۰/۰۰۶	-۰/۱۰۱	-۰/۰۱۰	-۰/۲۲۳	۰/۲۵۱	۰/۲۲۲	۰/۰۲۲	-۰/۳۲۶	۰/۲۴۱	-۰/۲۴۰	۰/۲۲۸	-۰/۲۵۰	-۰/۲۷۰
Elev.(m)		۱/۰۰۰	۰/۲۹۲	-۰/۰۰۴	-۰/۱۷۰	-۰/۱۸۳	-۰/۲۵۶	۰/۰۰۸	۰/۵۵۷	۰/۰۷۴	-۰/۴۰۹	۰/۲۶۲	-۰/۶۸۸	۰/۵۸۶	-۰/۶۵۰	-۰/۷۹۵
Slope٪			۱/۰۰۰	۰/۰۵۸	-۰/۰۷۹	-۰/۰۴۴	۰/۰۴۳	-۰/۱۱۰	۰/۴۵۲	-۰/۱۷۹	-۰/۰۲۰	۰/۱۷۰	۰/۱۵۸	-۰/۲۸۲	۰/۲۰۸	-۰/۱۸۸
TA				۱/۰۰۰	۰/۷۴۳	۰/۰۳۱	-۰/۰۲۱	-۰/۰۵۷	-۰/۰۷۶	۰/۰۶۳	-۰/۱۳۰	۰/۰۴۹	۰/۱۳۳	-۰/۰۶۷	۰/۰۶۷	۰/۱۰۹
TAS					۱/۰۰۰	-۰/۰۲۴	۰/۰۵۷	۰/۰۴۷	-۰/۳۰۸	۰/۱۷۹	-۰/۰۵۰	-۰/۱۱۴	۰/۰۸۸	-۰/۰۱۱	۰/۰۳۳	۰/۲۱۷
Cur.						۱/۰۰۰	۰/۱۰۹	-۰/۱۱۶	-۰/۰۴۷	-۰/۰۵۸	۰/۰۹۵	-۰/۰۲۶	۰/۱۹۷	-۰/۱۷۴	۰/۲۱۳	۰/۲۷۶
TNV٪							۱/۰۰۰	۰/۰۹۹	-۰/۱۲۶	۰/۰۰۹	-۰/۱۱۷	۰/۰۸۶	۰/۱۴۳	-۰/۱۱۵	۰/۰۹۶	۰/۳۰۴
SP٪								۱/۰۰۰	-۰/۰۸۰	۰/۱۶۶	۰/۰۶۷	-۰/۱۹۶	-۰/۰۵۰	۰/۰۶۹	-۰/۰۹۴	-۰/۱۲۴
Gravel٪									۱/۰۰۰	-۰/۱۹۷	-۰/۳۱۷	۰/۴۲۳	-۰/۱۹۹	۰/۰۹۱	-۰/۱۹۱	-۰/۴۵۱
Clay٪										۱/۰۰۰	-۰/۲۷۴	-۰/۶۴۲	-۰/۱۹۶	۰/۱۷۷	-۰/۱۱۸	-۰/۰۰۸
Silt٪											۱/۰۰۰	-۰/۵۶۲	۰/۴۱۵	-۰/۳۳۲	۰/۳۷۲	۰/۳۵۶
Sand٪												۱/۰۰۰	-۰/۱۶۲	۰/۱۱۳	-۰/۱۹۵	-۰/۲۷۶
M.A.T (°c)													۱/۰۰۰	-۰/۹۱۹	۰/۹۴۸	۰/۶۸۴
A.R (mm)														۱/۰۰۰	-۰/۹۳۲	-۰/۶۲۵
ET (mm)															۱/۰۰۰	۰/۶۸۸
C.Type																۱/۰۰۰

با توجه به این‌که کل ذخیره کربن تابع سه عامل محیطی است، لذا برای پیش‌بینی مقادیر ذخیره کربن، از روش‌های رگرسیون گام به گام و تحلیل‌های عاملی و خوشه‌ای (Breuer, 2012) بهره گیری شد که نتایج آن به تفکیک در زیر ارائه شده است.

الف- نتایج رگرسیون گام به گام

همان‌طور که در جدول (۳) ملاحظه می‌شود، مدل رگرسیون گام به گام توانسته است با ضریب همبستگی ۰/۵۲ ذخیره کربن خاک را با استفاده از متغیرهای محیطی برآورد کند. نتایج پژوهش مشابهی که با استفاده از رابطه رگرسیونی بین مقدار ماده آلی و برخی ویژگی‌های فیزیکی و مدیریتی به وسیله (پرویزی، ۱۳۸۹) انجام شده است، نشان داد با وارد کردن همه متغیرهای پیش‌بینی کننده، مدلی را که ۶۴ درصد تغییرپذیری کربن آلی خاک را در سطح اطمینان بیش از ۹۹ درصد پیش‌بینی کرده را برآورد نماید.

هم‌چنین، نتایج ارزیابی مدل حاصل که در جدول (۳) نشان داده شده، مشخص کرد که با وارد کردن همه متغیرهای فیزیکی پیش‌بینی کننده، مدل رگرسیون گام به گام می‌تواند حدود ۲۷ درصد تغییرات ذخیره کربن خاک را در سطح حوضه پیش‌بینی کند. در ضمن، میانگین خطای اریبی که معیاری از بیش برآورد یا کم برآورد مدل را ارائه می‌دهد، در جدول (۳) ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد استفاده از کلیه متغیرها مقدار خطای اریبی را به حدود صفر رسانده است. هم‌چنین، مقدار خطای تخمین را نسبت به میانگین در مدل گام به گام حدود ۲/۳ درصد و ضریب کارایی ۰/۲۸ نشان داد. مدل رگرسیون گام به گام در رابطه (۴) ارائه شده است.

$$CS = 2.852 - 0.120 \times Silt + 1.941 \times Sp - 0.005 \times TNV \quad (۴)$$

که در آن: CS ذخیره کربن آلی، Silt درصد سیلت، SP درصد اشباع و TNV درصد آهک خاک است.

جدول ۳. شاخص‌های ارزیابی مدل‌های مورد بررسی

مدل	R	RMSE (%)	MBE (%)	EF
گام به گام	۰/۵۲۳	۲/۳۴۱	۰/۰۰۱	۰/۲۸۶
تحلیل عاملی	۰/۵۲۰	۲/۴۵۳	۰/۰۰۵	۰/۲۶۲
تحلیل خوشه‌ای	۰/۵۷۴	۲/۲۳۰	-۰/۰۰۲	۰/۳۲۴

ب- نتایج تحلیل عاملی

شکل (۷) تغییرات مقدار ویژه (مقداری از واریانس کل که به وسیله یک عامل خاص برآورد می‌شود) را در ارتباط با محورها به‌صورت نزولی نشان می‌دهد. با توجه به شکل یادشده، می‌توان شش محور را به‌عنوان محورهای مهم که بیشترین نقش را در تبیین واریانس داده‌ها داشته و مقدار ویژه آن‌ها بیشتر از یک بوده و ۸۲ درصد از منابع تغییرپذیری متغیرها را توضیح می‌دهند، استخراج کرد.

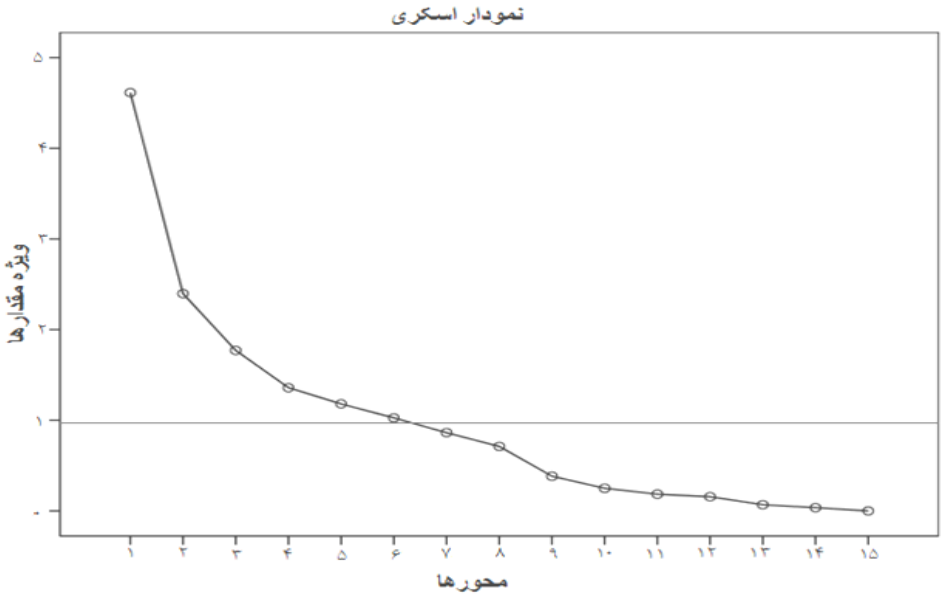
با توجه به انجام تحلیل عاملی روی ۱۵ متغیر، در ماتریس عاملی دوران یافته در هر یک از شش محور اصلی، تعدادی عامل شناسایی شد (جدول ۴). محور اول شامل ارتفاع، کلیه شاخص‌های اقلیمی، محور دوم شامل درصد شیب و سنگریزه، محور سوم شامل TA، TAS، محور چهارم شامل درصد رس و شن، محور پنجم شامل درصد سیلت و درصد آهک و در نهایت محور ششم، درصد اشباع و انحناء سطح را دربر دارد.

با استفاده از محورهای تعیین شده بر اساس جدول (۳)، مدل رگرسیونی برازش داده شد که نشان می‌دهد مدل می‌تواند با وارد کردن چهار متغیر معنی‌دار (ارتفاع، درصد سیلت، درصد آهک و درصد اشباع) از مجموع ۱۵ متغیر که دارای ضریب همبستگی ۰/۵۲ بوده، حدود ۲۷ درصد تغییرات ذخیره کربن را توجیه نماید. هم‌چنین،

نتایج ارزیابی مدل حاصل از این تحلیل که در جدول (۳) نشان داده شده، مشخص کرد مقدار خطای تخمین حدود ۲/۴ درصد است و در مدل رگرسیون با استفاده از چهار متغیر (ارتفاع، درصد سیلت، درصد آهک و درصد اشباع) با ضریب کارایی ۰/۲۶، مقدار خطای اریبی به حدود صفر رسیده است. مدل حاصل در رابطه (۵) ارائه شده است.

$$CS = 0.818 + 0.576 \times Elev - 0.012 \times Silt - 0.006 \times TNV + 2.056 \times Sp \quad (۵)$$

که در آن: CS ذخیره کربن آلی، Elev ارتفاع، Silt درصد سیلت، TNV درصد آهک خاک، SP درصد اشباع است.



شکل ۷. تعداد محورهای قابل تفکیک متغیرها براساس ریشه پنهان ماتریس همبستگی بالای یک

جدول۴. ماتریس دوران یافته متغیرهای فیزیکی

	محورها					
	۱	۲	۳	۴	۵	۶
Elev.(m)	-۰/۷۲۹	۰/۵۶۴	-۰/۰۲۱	۰/۰۲۱	-۰/۰۹۱	-۰/۰۳۹
Slope٪	۰/۲۳۶	۰/۸۳۰	۰/۰۲۷	-۰/۰۵۳	-۰/۰۲۸	-۰/۰۵۷
TA	۰/۰۵۱	۰/۰۶۴	۰/۹۳۳	-۰/۰۱۰	-۰/۰۱۰	۰/۰۵۷
TAS	۰/۰۵۲	-۰/۱۹۵	۰/۹۰۹	۰/۱۰۳	۰/۰۳۱	-۰/۰۷۰
Cur.	۰/۱۹۵	-۰/۱۰۹	-۰/۰۷۸	۰/۱۰۸	۰/۱۰۸	۰/۶۸۸
TNV٪	۰/۲۳۳	-۰/۱۴۰	-۰/۰۶۰	-۰/۰۱۷	۰/۸۰۴	-۰/۱۰۳
SP٪	-۰/۰۱۲	-۰/۰۹۶	-۰/۰۷۳	۰/۲۱۲	۰/۱۵۱	-۰/۷۵۷
Gravel٪	-۰/۲۲۰	۰/۷۷۹	-۰/۱۷۱	-۰/۲۰۹	۰/۰۵۶	۰/۰۶۵
Clay٪	-۰/۱۸۳	-۰/۰۳۹	۰/۱۲۱	۰/۹۳۲	۰/۱۶۷	-۰/۰۱۲
Silt٪	۰/۴۶۹	-۰/۳۱۵	-۰/۱۷۷	۰/۰۳۳	-۰/۶۴۸	-۰/۱۳۸
Sand٪	-۰/۲۱۸	۰/۲۸۴	۰/۰۳۸	-۰/۸۱۷	۰/۳۷۴	۰/۱۲۱
M.A.T (°c)	۰/۹۵۹	۰/۰۰۹	۰/۰۷۱	-۰/۰۵۰	-۰/۰۳۰	۰/۰۴۱
A.R (mm)	-۰/۹۴۱	-۰/۱۶۶	-۰/۰۰۸	۰/۰۳۳	-۰/۰۰۲	-۰/۰۴۹
ET (mm)	۰/۹۵۶	۰/۰۶۸	۰/۰۱۵	۰/۰۳۱	-۰/۰۳۲	۰/۱۰۱
C.Type	۰/۷۵۴	-۰/۴۱۹	۰/۰۹۸	۰/۰۶۲	۰/۱۶۷	۰/۲۰۱

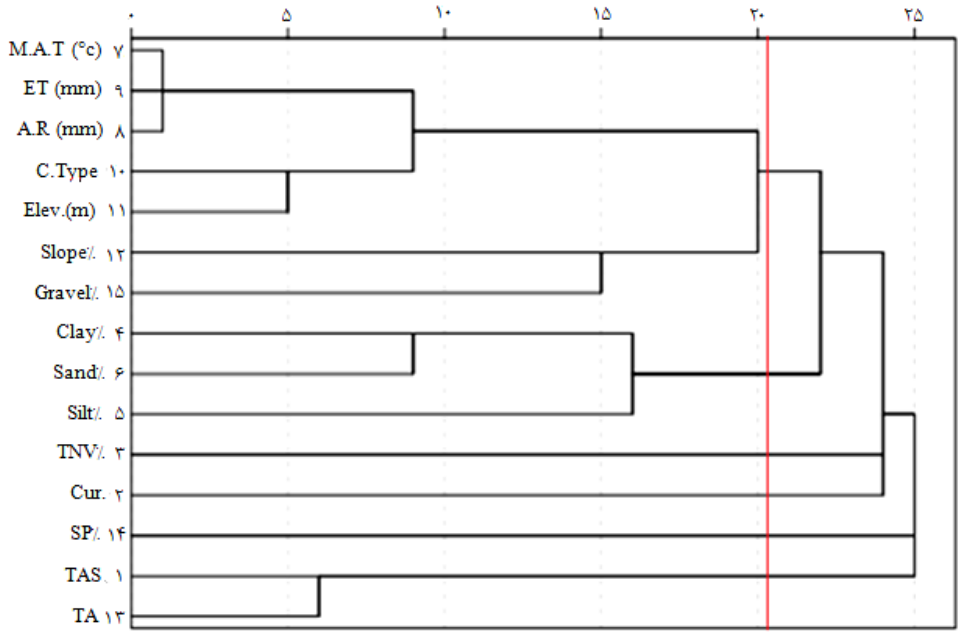
ج- نتایج تحلیل خوشه‌ای

این روش تحلیل، مکمل تحلیل عاملی است و متغیرهایی را با بیشترین هماهنگی، در چند خوشه دسته-بندی می‌کند. نتایج آنالیز خوشه‌ای در شکل (۸) نشان داده شده است. بر اساس دندروگرام حاصل، شاخص‌های مورد بررسی را می‌توان در شش خوشه طبقه‌بندی کرد. خوشه اول شامل TA، TAS، خوشه دوم شامل انحناء سطح، خوشه سوم شامل درصد آهک، خوشه چهارم شامل درصد رس، سیلت و شن، خوشه پنجم ارتفاع، درصد شیب، درصدسنگ‌ریزه، کلیه شاخص‌های اقلیمی و در خوشه ششم درصد اشباع قرار دارد.

متغیرهای مربوط به هر خوشه جداگانه در هر مرحله مدل رگرسیون اعمال شد و نتیجه نشان داد که مدل با وارد کردن سه متغیر معنی‌دار (درصد آهک، درصد سیلت و درصد اشباع) از مجموع ۱۵ متغیر، با داشتن ضریب همبستگی ۰/۵۷۴، حدود ۳۳ درصد تغییرات ذخیره کربن را در سطح حوضه توجیه می‌نماید. بر اساس جدول (۳) نتایج ارزیابی مدل مشخص کرد که این مدل مقدار خطای اریبی را به حدود صفر رسانده است و مقدار خطای تخمین مدل خطی حاصل حدود ۲/۲ درصد بوده که کمترین مقدار خطای برآورد نسبت به میانگین بود. به عبارت دیگر، تغییرات کربن را با خطای کمتری پیش‌بینی کرد. ضریب کارایی ۰/۳۲ برای این مدل بیانگر این نکته است که ۳۲ درصد از کل تغییرات در مقادیر مشاهده‌ای می‌تواند بوسیله مدل توصیف شود. مدل حاصل در رابطه (۶) ارائه شده است.

$$CS = 2.663 - 0.006 \times TNV - 0.013 \times Silt + 2.084 \times Sp \qquad (۶)$$

که در آن: CS ذخیره کربن آلی، TNV درصد آهک خاک، Silt درصد سیلت، SP درصد اشباع است.



شکل ۸. دندروگرام خوشه‌ای برای طبقه‌بندی متغیرهای فیزیکی

■ بحث و نتیجه‌گیری

تأثیر و اهمیت عامل‌های مختلف توپوگرافی، خاک و اقلیم بر ذخیره کربن در خاک متفاوت است. با توجه به نتایج این پژوهش، ویژگی‌های فیزیکی مؤثر بر تغییرپذیری ذخیره کربن خاک شناسایی شد. در منطقه مورد بررسی، به‌دلیل بافت سنگین خاک، با وجود سنگ‌ریزه و شن، شرایط فیزیکی خاک برای نفوذ بیش‌تر آب بهبود یافته است. در نتیجه، آب نفوذی افزایش، پوشش گیاهی بیش‌تر و متراکم‌تر و در نهایت، مقدار ذخیره کربن آلی خاک افزایش یافته است که با نتایج

عبدی (۱۳۸۴) هم‌خوانی دارد. نتایج عبدی (۱۳۸۴) نشان داد که در مراتع گون‌زار، با افزایش درصد سنگ و سنگ‌ریزه و شن در بافت خاک، ذخیره کربن افزایش یافته است.

بر اساس نتایج به‌دست آمده، بین ذخیره کربن با شاخص‌های تبخیر و تعرق پتانسیل (r=-۰/۲۵۰) و کلاس اقلیم (r=-۰/۲۷۰) رابطه معنی‌دار و منفی (p<۰/۰۱) و هم‌چنین با متوسط دمای سالانه (r=۰/۲۴۰) رابطه معنی‌دار و منفی (p<۰/۰۵) وجود دارد. از سوی دیگر، بین شاخص متوسط بارندگی سالانه (r=۰/۲۲۸) با ذخیره کربن رابطه معنی‌دار و مثبت (p<۰/۰۵) برقرار است. هرچه میانگین درجه حرارت سالانه بیش‌تر، سرعت تجزیه مواد آلی خاک بیش‌تر می شود، در نتیجه مقدار ذخیره کربن آلی در خاک کم‌تر خواهد بود. در صورتی‌که با افزایش مقدار بارندگی سالانه، مقدار پوشش گیاهی بیش‌تر شده و درنهایت، مقدار کربن آلی خاک افزایش می‌یابد. نتایج این پژوهش با نتایج Tan (۲۰۱۴) و Mäkipää و همکاران (۲۰۱۲) هم‌خوانی دارد. نتایج این پژوهش‌ها نشان داد که بین ذخیره کربن با بارندگی و دما همبستگی معنی‌داری وجود دارد. درصورتی‌که نتایج Almagro و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد، بر اساس آزمون همبستگی پیرسون، دما و رطوبت رابطه معنی‌داری با ذخیره کربن ندارند.

هم‌چنین، بین ذخیره کربن با شاخص ارتفاع، ضریب همبستگی منفی (r=-۰/۲۷) به‌دست آمد که در سطح یک درصد (p<۰/۰۱) معنی‌دار است. لذا، با افزایش ارتفاع، مقدار کربن آلی خاک کاهش می‌یابد. این نتیجه با نتایج Almagro و همکاران (۲۰۱۳) در اکوسیستم مدیترانه‌ای هم‌خوانی دارد. نتایج نشان داد، همبستگی معنی‌داری بین شاخص‌های توپوگرافی زمین و ذخیره کربن خاک وجود ندارد. در حالی‌که با نتایج Wang و همکاران (۲۰۱۰)، Sainju و همکاران (۲۰۰۸)، دادگر (۱۳۹۱) و کلاه‌چی (۱۳۸۷) مغایرت دارد. بر اساس پژوهش‌های Sainju و همکاران (۲۰۰۸) و هم‌چنین Wang و همکاران (۲۰۱۰) که در اراضی زیرِ کشت ذرت واقع در شمال چین انجام شده، همبستگی منفی معنی‌داری بین کربن آلی و ویژگی‌های فیزیوگرافی مانند ارتفاع و شیب برقرار بوده که تجمع کربن را در جهت شمال نشان می‌دهد. در پژوهشی که توسط دادگر (۱۳۹۱) انجام شد، جهت شیب بر ذخیره کربن مؤثر بوده به‌طوری‌که، بیش‌ترین مقدار تجمع کربن آلی خاک در شیب‌های شمال‌غربی بوده است. کلاه‌چی (۱۳۸۷) نیز گزارش کرد که مقدار ذخیره کربن خاک با افزایش ارتفاع رابطه‌ای نداشته، ولی بافت خاک و جهت شیب تأثیر بیش‌تری بر روی ذخیره کربن خاک گذارده، به‌طوری‌که همبستگی مثبتی را نشان داده است.

در ضمن، برای روندیابی عامل‌های خطی مناسب‌تر، در برآورد مقادیر ذخیره کربن با استفاده از متغیرهای برآورد کننده توپوگرافی، خاک و اقلیم از روش‌های رگرسیون خطی چندمتغیره از جمله روش گام به گام و تحلیل‌های عاملی و خوشه‌ای استفاده شد. تا شاید همبستگی بین ذخیره کربن و سایر متغیرهای مستقل را افزایش داد.

اعمال مدل گام به گام حاکی از آن است که ویژگی‌های خاک از مهم‌ترین متغیرهای تعیین کننده با بالاترین همبستگی با تغییرات ذخیره کربن خاک در حوضه موردمطالعه هستند. در حالی‌که با نتایج دادگر (۱۳۹۱) مغایرت دارد. دادگر (۱۳۹۱) در پژوهش دیگری نشان داد اعمال مدل گام به گام در منطقه دماوند حاکی از آن است که عامل ارتفاع، شیب و جهت شیب به‌ترتیب مهم‌ترین متغیرهای تعیین کننده کربن آلی خاک می‌باشند.

از تحلیل عاملی به‌منظور تعیین تأثیرگذارترین متغیرها با بیش‌ترین درصد واریانس استفاده شده است. هم‌چنین، پژوهشگران مختلفی با استفاده از تحلیل عاملی و محورهای تعیین شده در برآورد محصول، اثرات بین ویژگی‌های خاک را به حداقل رسانده‌اند. این در حالی است که، ایوبی و همکاران (۱۳۸۵) در بخشی از اراضی استان گلستان با انجام آنالیز مشابهی روابطی خطی برای برآورد تولید کل گندم پیشنهاد داد. آن‌ها نشان دادند در عامل اول با بیش‌ترین واریانس متغیرهای پتاسیم، مواد آلی و درصد ازت وارد شده‌اند. هم‌چنین، نتایج تحلیل عاملی نشان داد که ویژگی‌های خاک تنها ۵۶ درصد از کل تغییرات تولید کل را توجیه کرده است. Cox و

همکاران (۲۰۰۳) در مطالعه‌ای ضمن انجام تحلیل عاملی، سه عامل معنی‌دار را تشخیص دادند که بین این عامل‌های و تولید سویا رابطه رگرسیون چندمتغیره‌ای با ضریب همبستگی ۰/۷۳ به‌دست آمد.

روش‌های برآوردی اجراشده برای برآورد مقدار ذخیره کربن آلی خاک به‌ترتیب تحلیل خوشه‌ای، رگرسیون گام به گام و تحلیل عاملی بالاترین کارائی را در ردیابی تغییرات ذخیره کربن آلی خاک داشته‌اند. به‌طوری‌که، آنالیز خوشه‌ای با بالاترین ضریب همبستگی (R=۰/۵۷) و کمترین درصد خطای برآورد ۲/۲ درصد و بالاترین ضریب کارایی۰/۳۲ با استفاده از متغیرهای توپوگرافی، خاک و اقلیم، با توان برآورد و دقت بالاتر برای بررسی ذخیره کربن در خاک توصیه می‌شود.

در مجموع، از میان عامل‌های مؤثر در تعیین تغییرات ذخیره کربن خاک در کاربری زراعت، سهم اصلی متعلق به عامل‌های خاکی می‌باشد. در ضمن، نتایج تحلیل‌های مورد بررسی نشان می‌دهد، متغیرهای خاکی نسبت به عامل‌های توپوگرافی و اقلیمی در برآورد ذخیره کربن خاک تأثیر بیش‌تری دارند، چرا که متغیرهای توپوگرافی و اقلیم در این منطقه دارای تغییرات بسیار کمی می‌باشند. لذا باید با توجه بیش‌تر به مدیریت صحیح برای بهبود شرایط خاک به حفظ ذخایر کربن آلی خاک کمک کرد. در ضمن، پیشنهاد می‌شود با مدیریت صحیح این کاربری به رویکرد کشاورزی پایدار و حفظ ذخایر کربن خاک توجه بیشتری شود. در ضمن، مبررسی در مورد مدل‌سازی دینامیک کربن آلی خاک و شبیه‌سازی تأثیر عامل‌های توپوگرافی، خاک و اقلیم بر پویائی مخازن کربن آلی خاک در بوم نظام‌های مختلف کشور، ضروری است.

■ منابع

۱. ایوبی، ش.ا. و جلالیان، ا. ۱۳۸۵. ارزیابی اراضی (کاربری‌های کشاورزی و منابع طبیعی). مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان.

۲. پرویزی، ی. ۱۳۸۹. پهنه‌بندی تغییرپذیری مکانی کربن آلی خاک و بررسی تأثیر عوامل فیزیکی و مدیریتی بر آن با استفاده از تحلیل چندمتغیره و شبکه‌های عصبی مصنوعی. رساله دکتری، رشته مهندسی علوم خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه تهران.

۳. جعفری‌حقیقی، م. ۱۳۸۲. روش‌های تجزیه خاک (نمونه‌برداری و تجزیه‌های مهم فیزیکی و شیمیایی). انتشارات ندای ضحی.

۴. دادگر، م. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر ویژگی‌های مدیریتی، خصوصیات خاک و فیزیوگرافی مؤثر در ذخیره کربن خاک و توزیع مکانی آن در کاربری‌های مختلف (مطالعه موردی: بخشی از منطقه دماوند). رساله دکتری، رشته کشاورزی- خاکشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.

۵. صیادیان،ک. و بهشتی آل آقا، ع. ۱۳۸۶. سامانه‌های کربن‌گیری. انتشارات دانشگاه رازی.

۶. عبدی، ن. ۱۳۸۴. برآورد ظرفیت ترسیب کربن توسط جنس گون (زیر جنس Tragacanth) در استان‌های مرکزی و اصفهان. رساله دکتری علوم مرتع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.

۷. عبدی، ن. ۱۳۹۱. بررسی عوامل مؤثر بر ترسیب کربن آلی خاک در منطقه حفاظت شده هفتاد قله اراک. سومین همایش ملی مقابله با بیابان‌زایی و توسعه پایدار تالاب‌های کویری ایران. دانشگاه آزاد اسلامی اراک.

۸. فاتحی، ش. ۱۳۹۰. مطالعه خاکشناسی نیمه تفصیلی دشت مرگ در حوضه رودخانه کرخه. موسسه تحقیقات خاک و آب. *نشریه شماره ۱۴۰۵*. شماره طرح. ۰۲۶-۸۶-۰۴۵۵۱۰.

۹. کلاهچی، ن.، زاهدی امیری، ق. و خراسانی، ن. ۱۳۸۷. بررسی ترسیب کربن در گیاهان بوته‌ای غالب، علفی چند ساله و خاک در مراتع قرق شده حیدره پشت شهر (استان همدان). *مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی*، شماره ۸۰، ۱۸ تا ۲۵.

١٠. ورامش،س.، حسینی،س.م. و عبدی، ن. ١٣٩٠. تأثیر جنگل‌کاری با گونه‌های پهن برگ بر ترسیب کربن در خاک پارک جنگلی چیتگر. *مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک وآب)*، جلد٢٥، شماره ٣، ١٨٧ تا ١٩٦.

11. Almagro, M., Ignacio Querejeta, J., Boix-Fayos. C. & Martínez-Mena. M. (2013). Links between vegetation patterns, soil C and N pools and respiration rate under three different land uses in a dry Mediterranean ecosystem. *Journal Soils Sediments*, *13*, 64-653.
12. Bohm, K., Smit, E. & Tintner. J. (2012). Application of multivariate data analysis in waste management. Multivariate Analysis in Management, Engineering and the Sciences, chapter2, 15-38.
13. Breuer, B. (2012). Effects of vegetation type and species composition on carbon stocks in semi-arid Ethiopian Savannahs. MSc Thesis, University of Hohenheim, 75 page.
14. Carbonell- Bojollo, R.M. & Repullo-Ruibérriz. M.A. (2012). Influence of Soil and Climate Conditions on CO2 Emissions from Agricultural Soils. *Water Air Soil Pollut,* 223, 3425–3435.
15. Cox, M.S., Gerard, P.D., Wardlaw, M.C. & Abshire. M.J. (2003). Variability of selected soil properties and their relationships with Soybean yield. *Soil Science Society of America Journal*, 67, 1296- 1302.
16. Huang, B., Sun, W., Zhao, Y., Zhu, J., Yang, R., Zou, Z., Ding, F. & Su. J. (2007). Temporal and spatial variability of soil organic matter and total nitrogen in an agricultural ecosystem as affected by farming practices. *Geoderma, 139*, 336–345.
17. Khalil, M.I., Keily, G., Brein, P.O. & Muller. C. (2013). Organic carbon stocks in agricultural soils in Ireland using combined empirical and GIS approaches. *Geoderma*, 194, 222–235.
18. Mäkipää, R., Liski, J., Guendehou, S., Malimbwi, R. & Kaaya. A. (2012). Soil carbon monitoring using surveys and modeling. FAO Forestry Paper, 1-168.
19. Morgan, J., Follet, R. & Allen. L. (2010). Carbon sequestration in agricultural lands of the United States. *Journal of Soil and Water Conservation*, 65, 1-17.
20. Sainju, U.M., Caesar, T., TonThat, T. & Jabro. J.D. (2009). Carbon and nitrogen fractions in dryland soil aggregates affected by long-term tillage and cropping sequence. *Soil Science Society of America Journal*, 73, 1488-1495.
21. Schrumpf, M., Schulze, E.D., Kaiser, K. & Schumacher. J. (2011). How accurately can soil organic carbon stocks and stock changes be quantified by soil inventories, *Biogeosciences, 8*, 1193-1212.
22. Srinivasarao, Ch., Venkateswarlu, B., Lal, R., Singh, A.K., Vittal, K.P.R. & Kundu. S. (2012). Long-Term Effects of Soil Fertility Management on Carbon Sequestration in a Rice–Lentil Cropping System of the Indo-Gangetic Plains. *Soil Science Society of America Journal, 1*, 168-178.
23. Tan, B., Fan, J., He, Y., Luo, S. & Peng. X. (2014). Possible effect of soil organic carbon on its own turnover: A negative feedback. *Soil Biology and Biochemistry*, 69, 313-319.
24. Wang, Z.M., Zhang, B., Song, K.Sh., Liu, D.W., Ren. & Ch. Y. (2010). Spatial variability of soil organic carbon under maize monoculture in the Song-Nen Plain, Northeast China. *Pedosphere*, 20, 80–89.

No. 4, Autumn & Winter, 2015, pp 51-65

Desert Management
www.isadmc.ir

Iranian Scientific Association of Desert Management and Control

Investigating Effects of Topography, Soil and Climate Factors on Soil Organic Carbon Storage in Drylands of Kermanshah Province

A. Kaveh*[1], M.H. Mahdian[2], Y. Parvizi[3], R. Sokouti Oskouei[4] and M.H. Masihabadi[5]

[1] PhD Graduate, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Iran
[2] Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran
[3] Assistant Professor, Agriculture and Natural Resources Research Center of Kermanshah Province, Iran
[4] Assistant Professor, Agriculture and Natural Resources Research Center of West Azarbaijan Province, Iran
[5] Assistant Professor, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Iran
*Corresponding author, E-mail: athar.kaveh@gmail.com

Received: 14/12/2013 Accepted: 29/11/2014

Abstract

Soil carbon sequestration and storage is one of the important methods to reduce the atmospheric carbon dioxide and mitigating climate change effects. Therefore, with identification of the effective factors on carbon storage can be helpful to improve soil fertility and environmental protection. Therefore, this study was conducted to investigate the effects of some soil physical factors on soil organic carbon (SOC) storage content in drylands of Sarfiroozabad watershed, Kermanshah province, Iran. So, the watershed was separated into homogeneous zones and soil sampling was performed using a randomized systematic method in the units. The samples were transported to the laboratory and texture, TNV%, gravel% and organic carbon were analyzed to determine the SOC storage. Then, using stepwise regression, cluster and factor analysis, the effective factors on carbon storage were studied. The results of cluster analysis showed three variables such as TNV%, Silt% and SP%, are effective on SOC storage and the regression model with this three variables can predict 33 percent of the soil carbon storage variability with a correlation coefficient of 0.574. Also, cluster analysis to predict the effects of physical factors on carbon storage is important with EF= 0.32. Therefore, it was proven that the soil factors are more effective than climate and topography factors to predict SOC storage. It shows that improving the soil conditions and correct management, to keep soil carbon stocks should be given more attention.

Keywords: Cluster analysis, Factor analysis, Randomized systematic, Stepwise regression