

پیش‌بینی تاثیر مدیریت زراعی دیم‌زارها بر ظرفیت ذخیره کربن خاک به کمک فنون تحلیل چندمتغیره

اطهر کاوه*^۱، محمدحسین مهدیان^۲، یحیی پرویزی^۲، رضا سکوتی اسکویی^۴ و محمدحسن مسیح‌آبادی^۵
^۱ دانشجوی دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ^۲ استاد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ^۳ استادیار، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه، ^۴ دانشیار، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی و ^۵ استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۸/۱۴

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۴/۰۱

چکیده

ظرفیت ذخیره‌سازی کربن یکی از معیارهای ارزیابی پایداری زیست‌بوم است، بنابراین با بررسی عوامل مدیریتی تاثیرگذار بر این فرآیند می‌توان اصلاح و احیای اراضی را دنبال کرد. بدین منظور، پژوهش حاضر به بررسی سناریوهای مدیریتی و اثرات آن‌ها بر ذخیره کربن در حوزه آبخیز سر فیروزآباد در استان کرمانشاه پرداخته شده است. پس از تلفیق لایه‌های شیب و جهت و تهیه نقشه واحدهای کاری به بررسی سامانه‌های مدیریتی رایج در قالب سناریوهای مدیریت بقایا، خاک‌ورزی و تناوب زراعی پرداخته و شاخص‌های مربوطه کمی شد. در مرحله بعد، حوضه به مناطق همگن تفکیک و نمونه‌برداری به صورت سیستماتیک تصادفی در واحدهای کاری انجام شد. سپس، نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و وزن مخصوص ظاهری، بافت، میزان کربن آلی و در نهایت ذخیره کربن آلی خاک تعیین شد. نتایج تحلیل‌های چندمتغیره نشان داد با استفاده از تحلیل خوشه‌ای، مدل با وارد نمودن هفت متغیر که به طور معنی‌داری بر کربن آلی خاک تاثیرگذار هستند و شامل شاخص شخم، توالی غلات در تناوب، کلش‌سوزانی، کوددهی دامی، الگوی تناوب، آیش زمستانه و جهت شخم بوده، توانست با ضریب همبستگی ۰/۷۲۴ و با ضریب کارایی ۰/۴۶، حدود ۵۲ درصد تغییرپذیری ذخیره کربن خاک را پیش‌بینی کند. به طور کلی، می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که آنالیز خوشه‌ای برای بررسی ذخیره کربن در خاک توصیه می‌شود و نظام تناوب زراعی و نظام خاک‌ورزی از نمونه‌های بارز نظام‌های مدیریتی می‌باشند که بی‌شک از حیث ذخیره‌سازی کربن حایز اهمیت فراوانی هستند.

واژه‌های کلیدی: تحلیل خوشه‌ای، تناوب زراعی، خاک‌ورزی، ذخیره کربن آلی، مدیریت بقایا

مقدمه

افزایش احتراق سوخت فسیلی و توسعه کشاورزی در سراسر جهان از عوامل بسیار مؤثر در افزایش سطح آن می‌باشد. اطلاعات مربوط به خاک و مدیریت حاکم بر کاربری اراضی به خوبی می‌تواند برای تعیین ذخیره

در دهه اخیر، گرمایش جهانی از یک نگرانی دور از انتظار به یک واقعیت علمی تبدیل شده است. دی‌اکسید کربن مهم‌ترین گاز گلخانه‌ای موجود در جو زمین است که به طور پیوسته در حال افزایش می‌باشد.

* مسئول مکاتبه: athar.kaveh@yahoo.com

بی خاک‌ورزی می‌تواند به‌عنوان یک جایگزین مناسب برای کشاورزی با خاک‌ورزی سنتی برای افزایش کربن آلی در سطح خاک در مناطق تولید غلات دیم در اسپانیا توصیه شود. در این پژوهش نشان داده شد که اعمال سامانه بی‌خاک‌ورزی به‌طور متوسط، باعث افزایش ۲۰ درصدی ذخیره کربن آلی خاک نسبت به سامانه خاک‌ورزی سنتی می‌شود.

با توجه به این‌که تغییرات کربن آلی خاک در عمق صفر الی ۳۰ سانتی‌متر مشاهده می‌شود، نتایج تحقیقات Brown و Huggins (۲۰۱۲)، عمق کمتر از ۳۰ سانتی‌متر را برای شناسایی تاثیر مدیریت بر روی کربن آلی خاک سطحی و زیرسطحی معرفی نموده است. به گزارش Sombbrero و de Benito (۲۰۱۲)، اراضی با حداقل عملیات کشاورزی یا بدون عملیات کشاورزی می‌تواند ساختمان خاک را تقویت کرده و باعث افزایش ذخیره کربن در خاک‌های کشاورزی شود. تاثیر این روش‌ها به نوع خاک، نوع محصول و سامانه‌های مدیریت کشاورزی بستگی دارد.

ذخایر و پویایی کربن آلی خاک توسط Yu و همکاران (۲۰۱۲) در چین مورد مطالعه قرار گرفت و مشخص شد که ذخایر کربن آلی خاک تا حد زیادی در سواحل، تالاب، اراضی کشاورزی و اراضی شور که اغلب تحت تاثیر فعالیت انسان‌ها قرار گرفته، متغیر است. همچنین، نتایج نشان داد که فعالیت‌های انسانی یک عامل کلیدی برای تغییر کربن آلی خاک و الگوی ذخیره‌سازی کربن است.

سامانه مدیریت بقایای گیاهی و خاک‌ورزی مناسب برای حفظ حاصلخیزی خاک و بهره‌برداری زراعی موردنیاز است. در همین رابطه، در اراضی با کشت گندم زمستانه و ذرت تابستانه در شمال چین، Hou و همکاران (۲۰۱۲)، اثرات مختلف مدیریت بقایای گیاهی و خاک‌ورزی بر روی کربن آلی خاک را بررسی نمودند. این محققین به این نتیجه دست یافتند که روش خاک‌ورزی حفاظتی با افزایش بقایای گیاهی در حاصلخیزی خاک و بهره‌وری زراعی مناسب بوده است. نتایج Blanco-Canqui (۲۰۱۳) نشان داد که شیوه‌های بالقوه‌ای که می‌توانند برای جبران تلفات کربن آلی خاک از طریق برداشت بقایا مورد استفاده قرار گیرند و منجر به افزایش ذخیره کربن آلی خاک

کربن خاک مورد استفاده واقع شود (Sayyadian و Aleagha, ۲۰۰۷).

شیوه‌های مدیریت زراعی، فرصت‌هایی را برای کاهش و یا افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفر ایجاد می‌کند که کربن اضافی از طریق ذخیره‌سازی در زی‌توده گیاهی و مواد آلی خاک ذخیره می‌شود. افزایش ماده آلی در خاک، سبب افزایش حاصلخیزی خاک، تخلخل، نفوذپذیری، ذخیره رطوبت و حفاظت در برابر فرسایش آبی و بادی می‌شود (Dadgar, ۲۰۱۲).

در عرصه‌های زراعی، کشاورزی حفاظتی با تکیه بر ارکان مدیریتی نظیر خاک‌ورزی حفاظتی، مدیریت بقایا و مالچ و نظام تناوبی متناسب با شرایط خاک و منطقه قادر است به شکل موثری بر کمیت کربن آلی خاک تاثیر بگذارد (Parvizi, ۲۰۱۰). بر اساس مطالعه‌ای که Moghiseh و همکاران (۲۰۱۲) روی خصوصیات خاک و ذخیره کربن آلی خاک در بخش جنوبی منطقه کلاردشت انجام دادند، نتایج حاکی از آن است که جنگل‌های سوزنی برگ بیشترین کارایی را در ذخیره‌سازی کربن آلی داشته و در نتیجه می‌تواند در کاهش دی‌اکسیدکربن موثر باشد.

مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده و در عین حال قابل کنترل در تغییرپذیری کربن آلی خاک، عملیات مدیریتی است. برخی از این عملیات شامل تغییر کاربری عرصه‌های جنگل و مرتع به زراعت، کاربرد ادوات و شدت خاک‌ورزی، آیش و تناوب زراعی، مدیریت بقایای گیاهی، کاربرد کودهای سبز و کودهای دامی می‌باشد (Maia و همکاران, ۲۰۱۰).

در جنوب شرقی آمریکا بررسی‌های Franzluebbers (۲۰۱۰) نشان داد، ذخیره کربن آلی خاک با خاک‌ورزی حفاظتی می‌تواند نسبتاً بالا باشد. ذخیره کربن آلی در خاک، یک محیط غنی از مواد مغذی برای تکثیر گیاهان ایجاد کرده و اجازه عبور راحت‌تر آب را می‌دهد. خاک‌ورزی حفاظتی، افزایش بقایای گیاهی و کاربرد کود حیوانی در مراتع از روش‌های موثر برای افزایش ذخیره کربن آلی خاک می‌باشد.

در اسپانیا، Lopez و همکاران (۲۰۱۱) طی پژوهش‌های خود نتیجه گرفتند که کشاورزی

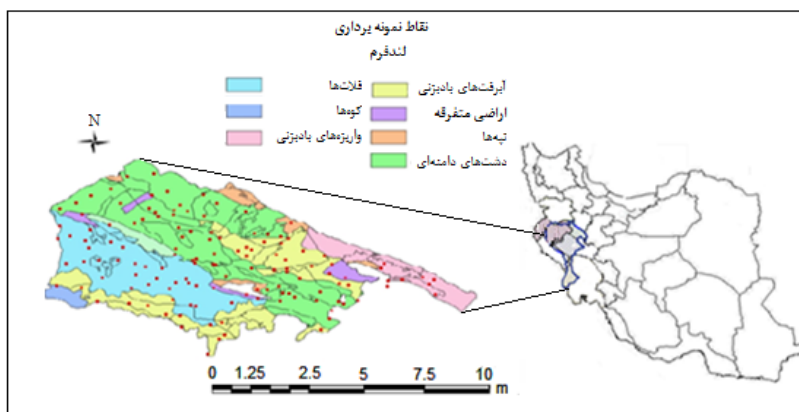
بنابراین، هدف از این پژوهش، شناسایی عامل‌های مدیریتی اعمال شده در منطقه و سپس اولویت‌بندی اثرات عوامل مدیریتی در کمیت ذخیره کربن آلی خاک در شرایط مدیریت سنتی حاکم بر دیم‌زارهای مناطق غرب کشور با مطالعه موردی حوضه سرفیروزآباد کرمانشاه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: برای این پژوهش، دیم‌زارهای حوضه آبخیز سرفیروزآباد کرمانشاه به وسعت ۱۴۰۰۰ هکتار از زیرحوضه‌های بالادستی حوضه کرخه، انتخاب شد. این محدوده در مختصات جغرافیایی بین $34^{\circ} 25'$ تا $34^{\circ} 22' 18''$ طول جغرافیایی شرقی و بین $34^{\circ} 38' 0''$ تا $34^{\circ} 31' 31''$ عرض جغرافیایی شمالی قرار دارد (شکل ۱). متوسط ارتفاع حوضه از سطح دریا ۱۶۶۶ متر است. از لحاظ اقلیمی متوسط درجه حرارت سالانه حدود $8/86$ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالانه حدود ۷۹۰ میلی‌متر است.

می‌شوند، شامل استفاده از پوشش گیاهی و عدم استفاده از روش‌های مختلف خاک‌ورزی، کوددهی و کمپوست می‌باشد.

با توجه به اهمیت ذخیره کربن در خاک، بیشتر مطالعات در سطح جهانی که در این خصوص انجام شده به مطالعات نقطه‌ای و موردی محدود شده که به بررسی و مقایسه اثرات یک یا دو اقدام مدیریتی بر ظرفیت ذخیره کربن پرداخته است. همچنین، کار پژوهشی اندکی پیرامون یافتن روش‌های آنالیز کمی و جستجوی روشی موثر برای ارزیابی و ارائه الگوی مناسب مدیریتی خاک انجام شده است. لذا، تاکنون در یک مطالعه جامع وضعیت اثر اقدامات مدیریتی حاکم بر عرصه اراضی و در شرایط واقعی پرداخته نشده است. این خلاء تحقیقاتی به خصوص در مناطق مختلف کشور، مشهودتر می‌باشد. همچنین، اثر سناریوهای مدیریتی به دلیل پیچیدگی‌هایی که در تعریف شاخص‌های کیفی برای ارزیابی آن حاکم است و نیز ماهیت تغییرپذیر و بومی بودن آن‌ها، کمتر مورد توجه قرار گرفته است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه سرفیروزآباد در استان کرمانشاه

با توجه به سه نظام مدیریتی یادشده، حوضه به مناطق همگن تفکیک و نمونه‌برداری از سطح خاک تا عمق شخم (Stöckle و همکاران، ۲۰۱۲)، به صورت دست‌خورده و دست‌نخورده انجام گرفت. به این ترتیب که نمونه‌برداری به صورت سیستماتیک تصادفی (Yu و همکاران، ۲۰۱۲)، در هر سامانه مدیریتی انجام شد. ابتدا کرت‌ها به صورت شبکه‌ای مربع شکل و با ابعاد ۱۰متر در ۱۰ متر مشخص و سپس نمونه‌ها از چهار

روش پژوهش: با توجه به این که سامانه‌های عملیات مدیریت زراعی در منطقه مورد مطالعه می‌تواند آثار تعیین‌کننده‌ای بر میزان ذخیره کربن داشته باشد، الگوهای مدیریتی شامل ۱۶ متغیر منفرد یا ترکیبی بر اساس ماهیت و میزان برهمکنش آن‌ها شناسایی و سپس در سه زمینه مدیریتی یعنی مدیریت خاک‌ورزی، مدیریت نظام تناوبی، مدیریت بقایای محصول بررسی شد.

همچنین، برای تخمین ذخیره کربن خاک در حوضه مورد مطالعه با روش‌های تحلیل چندمتغیره آنالیز عاملی، خوشه‌ای (Bohm و همکاران، ۲۰۱۲) و رگرسیون، به بررسی تاثیر عامل‌های مدیریتی در تغییرپذیری ذخیره کربن در این حوضه پرداخته شد. آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS18 صورت گرفت.

نتایج و بحث

در ارتباط با سه زمینه مدیریتی مورد بررسی، شاخص‌هایی ثبت شده که می‌توان برای نظام تناوب زراعی، مشخصه‌هایی نظیر اندازه قطعات اراضی، کوددهی، توالی لگوم و غلات در تناوب، آیش زمستانه، الگوی تناوب زراعی، برای نظام مدیریت بقایا، چرا در مزارع، برداشت بقایا، کلش‌سوزانی، تراکم دام و الگوی مدیریت بقایا و برای نظام خاک‌ورزی، فرسایش خاک، شاخص شخم، شاخص انرژی ماشین، جهت شخم والگوی خاک‌ورزی را نام برد. خلاصه شاخص‌های آماری شامل میانگین، حداقل، حداکثر و انحراف معیار ۱۶ عامل مدیریتی در جدول ۱ آمده است.

میانگین کل کربن ذخیره شده در واحد سطح منطقه مورد مطالعه ۳۱/۱۹ تن بر هکتار برآورد شده است. متوسط فرسایش خاک نقاط نمونه‌برداری در حوضه کمتر از یک است. این به معنای آن است که شکل غالب فرسایش خاک در حوضه به‌صورت فرسایش سطحی و شیاری است با این حال در اغلب مناطق حوضه تشکیل سله سطحی در سطح مزارع مشهود است. دامنه برداشت بقایا در بین سایت‌های نمونه‌برداری بین صفر تا ۷۰ درصد با متوسط برداشت بیش از ۴۰ درصد از بقایا از سطح مزارع متغیر است. ضرایب همبستگی بین عامل‌های مدیریتی مورد مطالعه به‌روش پیرسون محاسبه و نتایج آن در جدول ۲ درج شده است.

بین ذخیره کربن با اندازه قطعات اراضی و جهت شخم، همبستگی منفی و معنی‌دار بوده و رابطه مثبت و معنی‌دار با آیش زمستانه و چرا در مزارع در سطح پنج درصد وجود دارد. بین ذخیره کربن با توالی غلات در تناوب، الگوی تناوب زراعی، برداشت بقایا، الگوی مدیریت بقایا، شاخص انرژی ماشین و شاخص شخم

گوشه کرت و مرکز آن برداشته و با هم مخلوط شد تا یک نمونه مرکب برای آن کرت به‌دست آمد. نمونه‌ها در داخل کیسه‌های پلاستیکی قرار داده شده و به آزمایشگاه منتقل شد. پس از ارسال نمونه‌ها به آزمایشگاه، نمونه‌های خاک را در هوای آزاد خشک نموده، پس از خرد کردن کلوخه‌ها و جدا کردن ریشه‌ها، سنگ و سایر ناخالصی‌ها و عبور دادن از الک ۰/۵ و دو میلی‌متری (مش ۲۰)، برای اعمال تجزیه‌های مورد نیاز آماده شد.

در آزمایشگاه وزن مخصوص ظاهری خاک به‌روش کلوخه بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب و کربن آلی خاک به‌روش والکلی بلاک اندازه‌گیری شد (Black و همکاران، ۱۹۶۵). مقدار ذخیره کربن خاک بر حسب تن در هکتار بر اساس رابطه (۱) محاسبه شد.

$$CS = 10000 \times \%SOC \times Bd \times d \quad (1)$$

که در آن، CS ذخیره کربن بر حسب تن بر هکتار، SOC درصد کربن آلی خاک، Bd وزن مخصوص ظاهری بر حسب تن بر مترمکعب و d عمق نمونه-برداری خاک بر حسب متر است. برای تجزیه و تحلیل و مقایسه داده‌ها، پس از بررسی ویژگی‌های آمار توصیفی که شامل مقادیر میانگین، حداکثر، حداقل، انحراف معیار، ضریب تغییرات، چولگی و کشیدگی می‌باشد، نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفت.

به‌منظور تعیین روابط بین عامل‌های مدیریتی و ذخیره کربن، ضرایب همبستگی بین عامل‌ها به‌روش پیرسون محاسبه شد. با توجه به تعدد عامل‌های مورد بررسی در تجزیه همبستگی، برای حذف متغیرهایی که تاثیر معنی‌داری روی تابع (ذخیره کربن) نداشتند، از مدل رگرسیونی گام به گام استفاده شد، به‌نحوی که در آن ذخیره کربن به‌عنوان متغیر تابع مورد بررسی قرار گرفت تا مشخص شود کدام‌یک از متغیرهای مستقل مدیریتی که شامل فرسایش خاک، اندازه قطعات اراضی، کوددهی دامی، توالی لگوم و غلات در تناوب، آیش زمستانه، الگوی تناوب زراعی، چرا در مزارع، برداشت بقایا، کلش‌سوزانی، تراکم دام، الگوی مدیریت بقایا، شاخص انرژی ماشین، شاخص شخم، جهت شخم، الگوی خاک‌ورزی می‌باشد، بیشترین سهم را بر ذخیره کربن در خاک دارند.

متغیرهای ورودی، ذخیره کربن خاک را با خطای متوسط حدود ۲/۱ درصد برای متغیرهای مدیریتی برآورد می‌نماید. ضریب کارایی ۰/۴۴ برای این مدل بیانگر این نکته است که ۴۴ درصد از کل تغییرات در مقادیر مشاهده‌ای می‌تواند به وسیله مدل توصیف شود و این مدل در مقادیر مختلف ذخیره کربن خاک، کم-برآورد نشان می‌دهد. که مدل در رابطه (۲) ارائه شده است.

$$CS = 5.91 - 0.298Cer.F - 0.051R.Scen - 0.108Fw + 0.06Burn - 0.044Pl.dir \quad (2)$$

که در آن، CS ذخیره کربن آلی، $Cer.F$ توالی غلات در تناوب، $R.Scen$ الگوی تناوب زراعی، Fw آیش زمستانه، $Burn$ کلس سوزانی و $Pl.dir$ جهت شخم است.

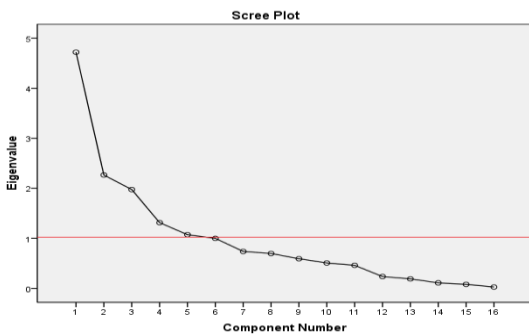
الف- رگرسیون گام به گام: از روش رگرسیون گام به گام برای دستیابی به مدل خطی پیش‌بینی ذخیره کربن با استفاده از متغیرهای مدیریتی استفاده شد. نتایج جدول ۳ نشان داد که در مرحله اول تنها از توالی غلات در تناوب، ضریب تبیین ۰/۳۳ به دست آمد. در مرحله دوم، الگوی تناوب زراعی به مدل اولیه اضافه شد که ضریب تبیین آن به ۰/۴۱ افزایش یافت. در مرحله سوم و چهارم نیز با افزایش آیش زمستانه و کلس‌سوزانی در مدل ضریب تبیین به ترتیب به ۰/۴۴ و ۰/۴۹ رسید. در نهایت مدل نهایی با افزودن جهت شخم به مدل توانست ۵۱ درصد ذخیره کربن خاک را توجیه کند. در جدول ۴ نتایج ارزیابی مدل حاصل از روش گام به گام نشان داده شده که مشخص می‌نماید، مدل گام به گام اعمال شده برای محدود نمودن

جدول ۳- نتایج تجزیه رگرسیون گام به گام ذخیره کربن با عوامل مدیریتی

مراحل رگرسیون گام به گام	عوامل	R	R ²
۱	Cer.F	۰/۵۸۰	۰/۳۳۷
۲	Cer.F+ R.Scen	۰/۶۴۲	۰/۴۱۲
۳	Cer.F+ R.Scen+Fw	۰/۶۶۷	۰/۴۴۶
۴	Cer.F+ R.Scen+Fw+ Burn	۰/۷۰۲	۰/۴۹۳
۵	Cer.F+ R.Scen+ Fw+ Burn+ Pl.dir	۰/۷۱۴	۰/۵۱۷

جدول ۴- شاخص‌های ارزیابی سه مدل مورد بررسی

مدل	R	R ²	% RMSE	MBE	EF
گام به گام	۰/۷۱۴	۰/۵۱۷	۲/۱۶۰	۰/۰۰۵	۰/۴۴۸
تحلیل عاملی	۰/۶۹۷	۰/۴۸۵	۲/۱۶۲	۰/۰۰۴	۰/۴۴۷
تحلیل خوشه‌ای	۰/۷۲۴	۰/۵۲۴	۲/۱۳۷	۰/۰۱۶	۰/۴۶۰



شکل ۲- تعداد محورهای قابل تفکیک متغیرها براساس ریشه پنهان ماتریس همبستگی بالای یک

ب- تحلیل عاملی: از این تحلیل برای کاهش حجم داده‌ها و تبدیل متغیرهای اولیه به چند عامل محدود که بتواند بیشترین پراش متغیرهای اولیه را توضیح دهد، استفاده شد. شکل ۲ تغییرات مقدار ویژه (مقداری از واریانس کل که به وسیله یک عامل خاص برآورد می‌شود) را در ارتباط با محورها به صورت نزولی نشان می‌دهد. با توجه به شکل یادشده، می‌توان پنج محور را به عنوان محورهای مهم که بیشترین نقش را در تبیین واریانس داده‌ها داشته و مقدار ویژه آن‌ها بیشتر از یک بوده و ۷۱ درصد از منابع تغییرپذیری متغیرها را توضیح می‌دهند، استخراج کرد.

متغیرهای مدیریتی که در جدول ۴ نشان داده شده، مشخص نمود که این مدل در مقادیر مختلف ذخیره کربن خاک، کم‌برآورد نشان می‌دهد.

$$CS = 5.864 - 0.225T_{index} - 0.153Cer.F - 0.029R.Scen - 0.043Pl.dir \quad (3)$$

که در آن، CS ذخیره کربن آلی، T_{index} شاخص شخم، $Cer.F$ توالی غلات در تناوب، $R.Scen$ الگوی تناوب زراعی و $Pl.dir$ جهت شخم است.

ج- تحلیل خوشه‌ای: بعد از روش تحلیل عاملی و مشخص شدن عامل‌ها، با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای سطوح همگن مشخص می‌شوند. این تکنیک متغیرهایی را که بیشترین هماهنگی و همگونی از نظر امتیازهای عاملی دارند، در چند خوشه دسته‌بندی می‌کند و مکمل تحلیل عاملی بوده و در ادامه آن حتما باید به کار گرفته شود.

نتایج تجزیه و تحلیل خوشه‌ای برای طبقه‌بندی شاخص‌های مدیریتی موثر بر ذخیره کربن خاک بر اساس پنج محور تعیین شده از تحلیل عاملی به پنج خوشه دسته‌بندی شده است، تجزیه و تحلیل خوشه‌ای به‌منظور طبقه‌بندی شاخص‌های مورد بررسی انجام شد که نتایج آن در شکل ۳ نشان داده شده است. از این طریق می‌توان خلاصه‌ای از مشابهت‌ها را بر اساس متغیرهای اندازه‌گیری شده از تمامی نمونه‌ها بیان نمود. بر اساس دندروگرام به‌دست آمده، شاخص‌های مورد بررسی را می‌توان در پنج خوشه طبقه‌بندی کرد. خوشه اول شامل درجه تخریب خاک و اندازه قطعات اراضی، خوشه دوم شامل کوددهی دامی، توالی غلات در تناوب، چرا در مزارع، برداشت بقایا، الگوی مدیریت بقایا، کلش‌سوزانی، الگوی خاک‌ورزی، شاخص انرژی ماشین و شاخص شخم، خوشه سوم شامل الگوی تناوب زراعی، توالی لگوم در تناوب و آیش زمستانه، خوشه چهارم شامل جهت شخم و در خوشه پنجم تراکم دام قرار دارد.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، متغیرهای مربوط به هر خوشه در مدل رگرسیون اعمال شد و نتیجه نشان داد که مدل با وارد نمودن هفت متغیر معنی‌دار از مجموع ۱۶ متغیر، حدود ۵۲ درصد تغییرپذیری ذخیره کربن را توجیه نمود. نتایج ارزیابی مدل حاصل که در جدول ۴ نشان داده شده است، مشخص نمود

با توجه به انجام تحلیل عاملی روی این ۱۶ متغیر، در ماتریس عاملی دوران یافته در هر یک از پنج محور اصلی، تعدادی عامل شناسایی شد (جدول ۵). محور اول شامل توالی غلات در تناوب، شاخص انرژی ماشین، شاخص شخم و الگوی خاک‌ورزی، محور دوم شامل الگوی تناوب زراعی، توالی لگوم در تناوب و آیش زمستانه، محور سوم شامل برداشت بقایا، چرا در مزارع، کوددهی دامی، محور چهارم شامل تخریب خاک، اندازه قطعات اراضی، جهت شخم، تراکم دام و در نهایت محور پنجم، الگوی مدیریت بقایا، کلش‌سوزانی را در بر دارد.

جدول ۵- ماتریس دوران یافته متغیرهای مدیریتی

	شاخص‌ها				
	۱	۲	۳	۴	۵
Er	۰/۰۰۹	-۰/۰۶۹	۰/۰۹۳	۰/۸۲۱	۰/۰۵۶
O(h)	۰/۳۳۲	-۰/۰۳۴	-۰/۰۴۲	-۰/۰۶۳۰	-۰/۰۳۵
Mn	-۰/۱۵۳	۰/۲۳۳	-۰/۷۵۷	-۰/۱۴۱	۰/۲۶۳
Leg.F	-۰/۳۶۹	۰/۷۳۸	۰/۱۹۱	۰/۱۱۱	-۰/۰۰۱
Cer.F	۰/۷۶۴	-۰/۳۵۵	۰/۱۶۳	۰/۰۴۱	۰/۱۰۳
Fw	۰/۱۷۴	۰/۸۷۸	۰/۰۰۸	۰/۰۷۱	-۰/۱۱۷
R.Scen	۰/۲۳۷	-۰/۸۴۰	۰/۱۸۲	۰/۱۰۶	۰/۰۲۷
Pas	-۰/۲۸۰	-۰/۱۴۶	-۰/۰۶۸۳	۰/۱۳۱	-۰/۰۳۴
S.H	۰/۲۷۲	۰/۰۰۷	۰/۶۵۶	۰/۲۸۳	۰/۳۳۹
Burn	-۰/۲۴۲	۰/۱۲۵	۰/۱۲۴	۰/۱۰۵	-۰/۸۶۶
S.Scen	۰/۵۷۱	-۰/۰۱۷	۰/۲۳۷	۰/۰۷۷	۰/۶۴۶
Energy	۰/۸۵۸	-۰/۰۹۴	۰/۲۷۷	-۰/۰۵۲	۰/۰۹۶
T_{index}	۰/۸۷۲	-۰/۰۸۶	۰/۲۱۶	۰/۰۳۲	۰/۲۳۸
P.dir	۰/۰۵۴	-۰/۰۹۳	-۰/۳۲۷	-۰/۴۳۷	۰/۲۶۲
T.Scen	-۰/۸۴۴	-۰/۰۱۳	-۰/۰۳۸	۰/۲۱۷	-۰/۱۷۰
Dom	-۰/۳۵۵	-۰/۱۰۵	۰/۳۴۷	-۰/۵۶۵	۰/۱۹۰

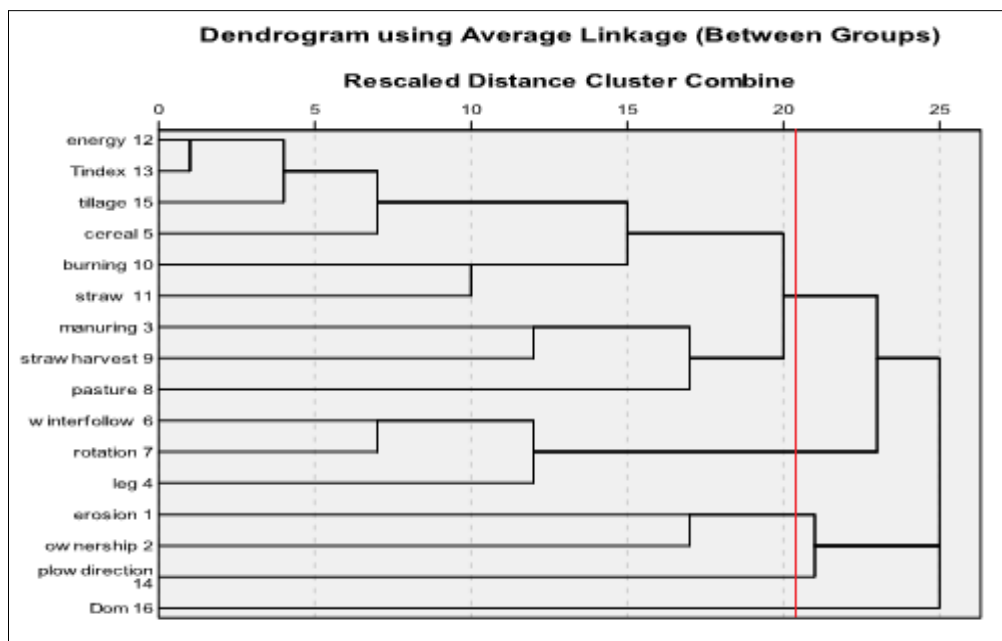
با استفاده از محورهای تعیین شده بر اساس شکل ۲ و جدول ۵، داده‌های اولیه متغیرهای مربوط به هر محور که به آن‌ها اشاره شد، در مدل رگرسیونی اعمال شده که نتیجه نشان داد مدل با وارد نمودن چهار متغیر معنی‌دار از مجموع ۱۶ متغیر، حدود ۴۸ درصد تغییرپذیری ذخیره کربن را توجیه نمود. این چهار متغیر به ترتیب اولویت شامل شاخص شخم، توالی غلات در تناوب، الگوی تناوب و جهت شخم می‌باشد که دارای ضریب همبستگی ۰/۶۹۷ است. همچنین، نتایج ارزیابی مدل حاصل از این تحلیل برای

دارای ضریب همبستگی ۰/۷۲۴ است. مدل حاصل در رابطه (۴) ارائه شده است.

$$CS = 5.863 - 0.11T_{index} - 0.19Cer.F + 0.06Bum + 0.005Mn - 0.04R.Scen - 0.07Fw - 0.04Pl\ dir \quad (4)$$

که در آن، CS ذخیره کربن آلی، T_{index} شاخص شخم، $Cer.F$ توالی غلات در تناوب، Bum کلش سوزانی، Mn کوددهی، $R.Scen$ الگوی تناوب زراعی، Fw آیش زمستانه و $Pl\ dir$ جهت شخم است.

که این مدل اندکی بیش برآورد نشان می‌دهد. چرا که شاخص MBE در این مدل حدود ۰/۰۱۶ بود و متوسط خطای برآورد مدل خطی حاصل از پیش‌بینی با استفاده از متغیرهای مدیریتی حدود ۲/۱ درصد ذخیره کربن بود. ضریب کارایی ۰/۴۶ برای این مدل بیانگر این نکته است که ۴۶ درصد از کل تغییرات در مقادیر مشاهده‌ای می‌تواند به وسیله مدل توصیف شود. این هفت متغیر به ترتیب اولویت شامل شاخص شخم، توالی غلات در تناوب، کلش سوزانی، کوددهی دامی، الگوی تناوب، آیش زمستانه و جهت شخم می‌باشد که



شکل ۳- دندروگرام خوشه‌ای برای طبقه‌بندی متغیرهای مدیریتی

شیب‌دار و مستعد فرسایش نسبت به خاک‌های رسی دارد. همچنین، می‌توان به نتایج Huang و همکاران (۲۰۱۳) اشاره کرد. نتایج Huang و همکاران نشان داد که برداشت بیش از حد بقایای گیاهی ذخیره کربن آلی خاک را کاهش می‌دهد. در ضمن Blanco-Canqui (۲۰۱۳) نشان داد که شیوه‌هایی از مدیریت که شامل استفاده از روش‌های مختلف خاک‌ورزی، کوددهی و کمپوست می‌باشد و با نتایج تحقیق مطابقت دارد، ذخیره کربن آلی خاک را افزایش می‌دهد.

به گزارش Sombbrero و de Benito (۲۰۱۰)، تناوب زراعی تاثیر معنی‌داری بر میزان کربن آلی

نتایج رابطه (۴) نشان داد در تحلیل‌های مورد بررسی، مقادیر معنی‌دار ضریب همبستگی بین ذخیره کربن و متغیرهای الگوی تناوب زراعی و مولفه‌های آن (توالی غلات در تناوب، کوددهی دامی، الگوی تناوب، آیش زمستانه) و خاک‌ورزی و مولفه‌های آن (شاخص شخم و جهت شخم) در این حوضه بیش از همه نمود دارد و ذخیره کربن با متغیرهای الگوی برداشت بقایا و مولفه‌های آن همبستگی کمتری دارد که با توجه به تحلیل خوشه‌ای، کلش سوزانی نیز موثر می‌باشد. این نتیجه با یافته‌های Blanco-Canqui و Lal (۲۰۰۹) نیز مطابقت دارد. به طوری که برداشت بقایا تاثیر بیشتری بر کاهش کربن آلی خاک در خاک‌های

مقادیر بالای ذخیره کربن خاک، کم‌برآورد نشان می‌دهد. چرا که شاخص MBE در این مدل ۰/۱۶ بود و متوسط خطای برآورد مدل خطی حاصل از پیش‌بینی با استفاده از متغیرهای مدیریتی حدود ۲/۱ درصد ذخیره کربن بود. در پژوهش مشابهی Parvizi (۲۰۱۰) با استفاده از رابطه رگرسیونی بین مقدار ماده آلی و برخی خصوصیات خاک و کاربری، نشان داد که متوسط خطای برآورد مدل خطی حاصل از پیش‌بینی با استفاده از کلیه متغیرهای فیزیکی و مدیریتی حدود ۰/۳۸ درصد کربن آلی بود و این مدل نیز کم‌برآورد می‌باشد. گذشته از این، نتایج پژوهش Wang و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از روش‌های آماری نشان داد که بیشترین تاثیر را در تغییرپذیری مکانی کربن آلی خاک، مدیریت حاکم بر کاربری و نوع خاک، داشته است.

بررسی ضرایب همبستگی بین متغیرهای مدیریتی با ذخیره کربن در خاک، نشان از آن است که تغییرات ذخیره کربن در خاک در کاربری زراعت تا حد زیادی تحت تاثیر الگوهای مدیریتی می‌باشد. آنالیز خوشه‌ای کلیه متغیرهای مدیریتی نشان داد که متغیرهای شاخص شخم، توالی غلات در تناوب، کلش‌سوزانی، کوددهی دامی، الگوی تناوب، آیش زمستانه و جهت شخم به ترتیب بیشترین تاثیرگذاری را بر تغییرات ذخیره کربن خاک زراعت دارند.

با توجه به نتایج سه روش مورد بررسی، آنالیز خوشه‌ای با توان برآورد و دقت بالاتر برای بررسی ذخیره کربن در خاک توصیه می‌شود. از میان عوامل موثر در تعیین تغییرات ذخیره کربن خاک در کاربری زراعت، سهم اصلی به ترتیب متعلق به عوامل مدیریتی خاک‌ورزی (شاخص شخم و جهت شخم)، تناوب زراعی (توالی غلات در تناوب، کوددهی دامی، الگوی تناوب، آیش زمستانه) و مدیریت بقایای گیاهی (کلش‌سوزانی) می‌باشد.

همان‌گونه که مشاهده شد تاثیر و اهمیت عوامل مختلف مدیریتی بر ذخیره کربن در خاک متفاوت است. با توجه به نتایج این پژوهش، اثرات مختلف شناخته شده مدیریتی بر تغییرپذیری ذخیره کربن خاک دلالت دارد که ضرورت بازنگری در رویکردها و نگرش کارشناسان به سمت بهره‌برداری پایدار از منابع

خاک نداشت. در ضمن در اراضی که بقایای لگوم بعد از برداشت غلات به خاک برگردانده می‌شود، نسبت به کرت‌هایی که آیش هستند، دارای ذخیره کربن بالاتری است. در مطالعه‌ای که Huang و همکاران (۲۰۱۳) انجام دادند، نتایج نشان داد که غلظت کربن خاک در عمق صفر الی ۱۰ سانتی‌متر با کلش‌سوزانی و برداشت بقایا تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد ندارند. زیرا کلش‌سوزانی مقدار بقایای آلی ورودی به سطح را کاهش می‌دهد و حذف بقایا منجر به کاهش زیست‌توده میکروبی و تنفس خاک می‌شود.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد، استفاده از تحلیل خوشه‌ای برای پیش‌بینی ذخیره کربن خاک (Breuer, ۲۰۱۲)، با استفاده از متغیرهای مدیریتی، باعث ارتقاء توان پیش‌بینی مدل خطی چندمتغیره شده است. در بررسی دیگری Blanco-Canqui و Lal (۲۰۰۹) گزارش دادند که ذخیره کربن آلی خاک با افزایش برداشت بقایای ذرت بدون در نظر گرفتن سامانه‌های خاک‌ورزی و زراعی در اوهایو و لاوا، به‌طور خطی کاهش یافته است. Almagro و همکاران (۲۰۱۳) نیز برای تعیین میزان تاثیر نوع پوشش گیاهی بر ذخیره کربن، از روش رگرسیون خطی و گام به گام در یک زیست‌بوم مدیترانه‌ای استفاده نمودند.

نتایج این پژوهش نشان داد با استفاده از تحلیل خوشه‌ای، مدل با وارد نمودن هفت متغیر معنی‌دار از مجموع ۱۶ متغیر که به ترتیب اولویت شامل شاخص شخم، توالی غلات در تناوب، کلش‌سوزانی، کوددهی دامی، الگوی تناوب، آیش زمستانه و جهت شخم بود که دارای ضریب همبستگی ۰/۷۲۴ است و حدود ۵۲ درصد تغییرپذیری ذخیره کربن را توجیه نموده است. این نتیجه با یافته‌های Parvizi (۲۰۱۰) تا حدودی مطابقت دارد و دلیل آن را می‌توان سه متغیر شاخص شخم، کلش‌سوزانی و کوددهی عنوان کرد. در مدل حاصل از روش گام به گام که توسط Parvizi (۲۰۱۰) ارائه شد، نشان داد پنج متغیر معنی‌دار از مجموع ۳۱ متغیر، حدود ۴۹ درصد تغییرپذیری کربن را توجیه نموده است. در این پژوهش، پنج متغیر به ترتیب اولویت شامل شاخص شخم، کلش‌سوزانی، درصد آهک، کود دامی و فرسایش است. نتایج ارزیابی مدل حاصل از تحلیل خوشه‌ای نشان داد که این مدل در

هرچه بیشتر کربن در خاک برداشته شود و در ضمن به مدیریت صحیح این کاربری با رویکرد کشاورزی پایدار و حفظ ذخایر کربن خاک توجه بیشتری شود.

خاک در عرصه کشاورزی را می‌رساند. بنابراین، پیشنهاد می‌شود که با بهبود وضعیت سامانه‌های مدیریتی حاکم بر مناطق مختلف، گام مثبتی در کاهش تراکم کربن اتمسفری و در نتیجه ذخیره‌سازی

منابع مورد استفاده

1. Almagro, M., J. Ignacio Querejeta, C. Boix-Fayos and M. Martínez-Mena. 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.
2. Black, C.A., D.D. Evans, J.L. White, L.E. Ensminger and F.E. Clark. 1965. *Methods of soil analysis, part 2*. American Society of Agronomy. 771-1572.
3. Blanco-Canqui, H. and R. Lal. 2009. Crop residue management and soil carbon dynamics. p. 291-309. In: Lal R., R.F. Follet (eds), *Soil carbon sequestration and the greenhouse effect*. SSSA Special Publication 57, 2nd ed., Madison, WI.
4. Blanco-Canqui, H. 2013. Crop residue removal for bioenergy reduces soil carbon pools: How can we offset carbon losses? *Bioenergy research*, 6(1): 358-371.
5. Bohm, K., E. Smit and J. Tintner. 2012. Application of multivariate data analysis in waste management, *Multivariate Analysis in Management, Engineering and the Sciences*. Chapter 2, 15-38.
6. Breuer, B. 2012. Effects of vegetation type and species composition on carbon stocks in semi-arid Ethiopian Savannahs. MSc Thesis, University of Hohenheim, 75 pages.
7. Brown, T.T. and D.R. Huggins. 2012. Soil carbon sequestration in the dry land cropping region of the Pacific Northwest. *Journal of Soil and Water Conservation*, 67: 406-415.
8. Dadgar, M. 2012. The Effect of soil characteristic, soil management, and physiography on soil carbon storage and spatial variability of carbon in different land use, case study: some part of Damavand region. PhD Thesis, Tehran Islamic Azad University, 137 pages (in Persian).
9. Franzluebbers, A. 2010. Soil organic carbon sequestration with conservation agriculture in the southeastern USA: Potential and limitations. USDA-Agricultural Research Service.
10. Hou, R., Z. Ouyang and Y. Li. 2012. Effects of tillage and residue management on soil organic carbon and total nitrogen in the North China Plain. *SSSAJ*, 716(1): 1-11.
11. Huang, Z., Z. He, X. Wan, Z. Hu, S. Fan and Y. Yang. 2013. Harvest residue management effects on tree growth and ecosystem carbon in a Chinese fir plantation in subtropical China. *Plant Soil*, 364: 303-314.
12. Lopez, V., N. Blonco-moure, A. Limon and R. Gracia. 2011. Notillage in rainfed Aragon (NESpain): effect on organic carbon in the soil surface horizon. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).
13. Maia S.M.F., S.M. Ogle, C.C. Cerri and C.E.P. Cerri. 2010. Changes in soil organic carbon storage under different agricultural management systems in the Southwest Amazon Region of Brazil. *Soil and Tillage Research*, 106: 177-184.
14. Moghiseh, A., A. Heidari and M. ghannadi. 2012. Effects of forestland change on physico-chemical properties, SOC storage and soil respiration in Kelardasht area. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 43: 1-10 (in Persian).
15. Parvizi, Y. 2010. Mapping of spatial variability of soil organic carbon and predicting the influences of physical and management factors by use of multivariate analysis and artificial neural networks. PhD Thesis, Tehran University, 198 pages (in Persian).
16. Sayyadian, K. and A.B. Aleagha. 2007. Carbon sequestration. Razi University, 176 pages (in Persian).
17. Sombrero A. and A. de Benito. 2010. Carbon accumulation in soil. Ten-year study of conservation tillage and crop rotation in a semi-arid area of Castile-Leon, Spain. *Soil and Tillage Research*, 107: 64-70.
18. Stöckle, C., S. Higgins, A. Kemanian, R. Nelson, D. Huggins, J. Marcos and H. Collins. 2012. Carbon storage and nitrous oxide emissions of cropping systems in eastern Washington: A simulation study. *Journal of Soil and Water Conservation*, 67: 365-377.
19. Wang, L., G.S. Okin, K.K. Caylor and S.A. Macko. 2009. Spatial heterogeneity and sources of soil carbon in southern African savannas. *Geoderma*, 149: 402-408.
20. Yu, J., Y. Wang, Y. Li and H. Dong. 2012. Soil organic carbon storage changes in coastal wetlands of the modern Yellow River Delta from 2000 to 2009. *Bio Geosciences Discuss*, 9: 1759-1779.

Predicting crop management impact on soil carbon storage capacity in drylands using multivariate analysis techniques

Athar Kaveh^{*1}, Mohammad Hossein Mahdian², Yahya Parvizi³, Reza Sokouti Oskuee⁴ and Mohammad Hassan Masih Abadi⁵

¹ PhD Student, Sciences and Researches Unit, Islamic Azad University, Iran, ² Professor, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Iran, ³ Assistant Professor, Agricultural and Natural Resources Research Center, Kermanshah, Iran, ⁴ Associate Professor, Agriculture and Natural Resources Research Center, Western Azerbaijan, Iran and ⁵ Assistant Professor, Sciences and Researches Unit, Islamic Azad University, Iran

Received: 22 Jun 2013

Accepted: 05 November 2013

Abstract

Carbon storage is one of the assessment criteria of ecosystem sustainability, so land improvement and reclamation can be followed by investigating the effective managerial factors. This study was conducted to investigate the management scenarios and their effects on carbon storage in Sar Firoozabad watershed, Kermanshah province, Iran. Mapping units were prepared with combination of slope and aspect layers. The common management systems in the form of scenarios of residue management, crop rotation, and tillage were investigated and relevant indices were quantified. In the next step, the watershed area was separated into homogeneous zones and soil sampling in the units, was performed using a randomized systematic method. After transporting the samples to laboratory, soil organic carbon storage was calculated by determining their bulk density, texture, and organic carbon. Results of multivariate analysis showed that seven variables of tillage index, cereal sequence, straw burning, manure application, rotation systems, winter fallow and plow direction predict 52 percent of the soil carbon storage variability with 0.724 correlation coefficient and 0.46 modeling efficiency, using the cluster analysis,. In general, it can be concluded that cluster analysis is recommended for investigating carbon storage in soils and rotation and tillage systems are significant examples of soil management components that are certainly very important in terms of carbon storage.

Key words: Cluster analysis, Crop residue management, Crop rotation, Organic carbon storage, Tillage

* Corresponding author: athar.kaveh@yahoo.com