ارتباط ذخیره کربن آلی خاک با برخی ویژگی‌های خاک در مراتع آذربایجان شرقی

اسماعیل شیدای کرکج*[۱]، عادل سپهری[۲]، حسین بارانی[۳] و جواد معتمدی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۲/۰۲ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۱۱/۲۰

چکیده

این مطالعه به‌منظور ارزیابی عوامل خاکی مؤثر بر میزان ذخیره کربن آلی خاک و توسعه مدلی برای تخمین توان ذخیره کربن با استفاده از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در مراتع استان آذربایجان‌شرقی انجام شد. پس از برداشت تعداد ۹۲ نمونه خاک از مکان‌های مختلف مرتعی، اندازه‌گیری ویژگی‌های مختلف خاک و ذخیره کربن آلی آن صورت پذیرفت. برای ارائه مدل از روش تحلیل مسیر و رگرسیون گام به گام استفاده شد. بدین ترتیب نتایج تحلیل میسر نشان داد پارامترهای رطوبت اشباع، اسیدیته، سیلت، هدایت الکتریکی و میزان رس به ترتیب با ضرایب مسیر ۰/۴۴۳، ۰/۲۴۴-، ۰/۲۲۳، ۰/۲۰۴- و ۰/۱۷۵ دارای اثر مستقیم بر میزان کربن آلی ذخیره‌ای خاک هستند. پارامترهایی نظیر وزن مخصوص ظاهری، سنگریزه، ظرفیت تبادل کاتیونی در مجموع به میزان ۰/۳۴۹- دارای اثر غیرمستقیم می‌باشند. ویژگی‌های فیزیکی خاک از لحاظ مجموع تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم با میزان ۰/۵۵ بیشترین تأثیر را نسبت به ویژگی‌های شیمیایی (با میزان ۰/۰۹-) بر کربن آلی خاک دارند. نتایج انجام رگرسیون گام به گام کل متغیرهای خاک به منظور به‌دست آوردن مدل نهایی تخمین کربن آلی خاک نشان داد، فاکتورهای رس، سیلت، توان حفظ رطوبت، اسیدیته و هدایت الکتریکی بر میزان کربن اثرگذار است و در حدود ۵۷ تغییرات آن را تبیین می‌نماید. این در حالی است که آنالیز تحلیل مسیر توانسته است حدود ۵۹ درصد واریانس کربن آلی خاک را تبیین نماید. با توجه به پارامترهای مهم اثرگذار کربن آلی ذخیره‌ای خاک به نظر می‌رسد مدیریت صحیح مراتع از طریق حفاظت خاک از فرسایش ذرات ریز و توجه به میزان زهکشی خاک‌ها و جلوگیری از شورشدن آن سبب حفظ پتانسیل ذخیره‌ای کربن در اکوسیستم‌های مرتعی خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: مراتع، مدل تحلیل مسیر، رگرسیون گام به گام، ذخیره کربن، ویژگی‌های خاک.

[۱]- دانش‌آموخته دکتری علوم مرتع، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان- استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر، دانشگاه تبریز

*: نویسنده مسئول: esmaeil.sheidai@tabrizu.ac.ir

[۲]- استاد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

[۳]- دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

[۴]- دانشیار پژوهشی، بخش تحقیقات مرتع، موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1396.11.2.1.0]

مقدمه

خاک، منبع زمینی مهم و با ارزش در ذخیره کربن آلی است که با نگهداشت در حدود ۱۵۰۰ میلیارد تن کربن نقش قابل توجهی در فرآیند چرخه جهانی کربن اتمسفر دارد (۳۰). از طرفی دیگر کربن آلی خاک یکی از پارامترهای مهم تعیین‌کننده میزان حاصلخیزی خاک، قابلیت تولید و شاخص مهمی در نشان‌دادن کیفیت خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک است که در آن مقادیر ورودی کربن ناچیز است (۵۶، ۳۸ و ۱۲).

در این میان مراتع در حدود نیمی از خشکی‌های جهان را تشکیل می‌دهند و حاوی بیش از یک سوم ذخایر کربن زیست‌کره خاکی بوده و یکی از مهم‌ترین اکوسیستم‌های خشکی هستند که جهت ذخیره کربن به‌شمار می‌روند. اگر چه مقدار ذخیره کربن آن‌ها در واحد سطح ناچیز است، اما با توجه به وسعت بالای آن‌ها، این اراضی دارای قابلیت زیادی جهت ترسیب کربن می‌باشد (۴۹). سه مؤلفه مهم کنترل‌کننده میزان کربن آلی خاک شامل اقلیم (دما و میزان رطوبت)، عوامل بیولوژیکی (ترکیب گیاهی و اضافه شدن بقایای گیاهی) و ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی خاک نظیر ساختار، بافت، میزان رس، کانی‌شناسی و اسیدیته می‌باشد (۳۹). عموماً میزان کربن آلی توسط این سه عامل کنترل می‌شود. اما در مناطق نیمه‌خشک میزان ماده آلی توسط ویژگی‌های خاک با توجه به کمبود برگشت بقایای گیاهی و دمای بالای این مناطق اتفاق می‌افتد (۱۱). به عبارت دیگر در مناطق استوایی و گرم و مرطوب پوشش گیاهی و کانی‌شناسی مهم‌ترین فاکتورهای کنترل‌کننده میزان ماده آلی خاک است در حالی‌که در مناطق نیمه‌خشک ماده آلی با توجه کم‌بودن برگشت میزان لاشبرگ و بالابودن دما بیشتر توسط ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک کنترل می‌شود (۸).

بنابراین آگاهی و دانش در مورد توزیع منابع کربن و تغییرات آن برای تشخیص مکانیسم‌های کنترلی چرخه جهانی کربن و پایداری میزان کربن فعلی در مدیریت این اراضی ارزشمند می‌باشد (۱۲ و ۱۸). علاوه بر این داشتن چنین دانش و اطلاعاتی برای برنامه‌ریزی سیاست‌های مختلف تغییر اقلیمی نیز بسیار مهم و سرنوشت‌ساز است. از طرفی مطالعه رابطه متغیرهای اقلیمی، ویژگی‌های محیطی، توپوگرافیکی و مواد مادری با میزان ذخیره کربن آلی در مناطق مختلف می‌تواند برای پیش‌بینی میزان کربن آلی خاک مفید باشد. همچنین این امر می‌تواند در شبیه‌سازی نحوه اثرگذاری تغییرات محیطی بر میزان کربن خاک کمک‌کننده باشد (۴۰). در زمینه نقش خصوصیات خاک در تعیین و کنترل توان ذخیره و حفاظت کربن آلی مطالعاتی صورت پذیرفته است. نتایج تحقیقات مختلف نشان داده است که تغییر در کربن آلی خاک‌ها با تغییرات ساختار خاک و یا ثبات آن در ارتباط است (۹) و اجزای ذخیره‌ای کربن ذره‌ای به دلیل حفاظت بلند و میان‌مدت کربن در خود توسط حفاظت فیزیکی و شیمیایی، بیشتر حائز اهمیت است (۲۰)، به‌طوری‌که طبیعت پیوندهای ارگانیکی- مینرالوژیکی (آلی-کانی‌شناسی) و توزیع آن در بین خاکدانه‌های خاک میزان حفاظت فیزیکی تثبیت شیمیایی آن را تعیین می‌کنند (۴۲).

طی تحقیقی در مراتع نیمه‌خشک مدیترانه‌ای در کشور تونس به بررسی ارتباط ویژگی‌های خاک با میزان کربن آلی خاک دو نوع خاک رسی و خاک شنی پرداخته شد. یافته‌های این مطالعه بیانگر آن است که میزان کربن آلی ذخیره‌ای خاک با پارامترهای فیزیکی و شیمیایی نظیر وزن مخصوص ظاهری، میزان شن، سیلت، رس و اسیدیته در ارتباط است و تفاوت در نوع خاک می‌تواند تفاوت میزان و نحوه این ویژگی‌ها را توجیه کند (۱۱).

در داخل کشور نیز به منظور تعیین عامل‌های بوم‌شناختی مؤثر بر ترسیب کربن طی مطالعه‌ای در درمنه‌زارهای استان سمنان از رگرسیون چندمتغیره استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد مقدار کربن ذخیره‌ای در این اکوسیستم‌ها بیشتر تحت تأثیر زیتوده ریشه، رس و نیتروژن خاک، عامل ارتفاع از سطح دریا و میانگین بارش سالیانه قرار دارد. علاوه بر این به عنوان یکی از نتایج این مطالعه عنوان شده است، خاک با دارابودن ۸۷ درصد کربن در خود سهم بیشتری در ذخیره کربن را نسبت به سایر مؤلفه‌های اکوسیستم نظیر بیوماس دارا است (۵).

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1396.11.2.1.0]

در تحقیق دیگر طی بررسی توان ترسیب کربن گون‌زارهای استان مرکزی اذعان شده است خاک با سهم ذخیره میزان ۸۷/۴۳ درصد از کل ذخیره کربن اکوسیستم مهم‌ترین منبع ذخیره کربن در اکوسیستم است و بررسی روابط رگرسیونی گام به گام نشان داده ترسیب کربن با ارتفاع و حجم بوته‌های گون، مقدار لاشبرگ، رطوبت اشباع خاک و کربن آلی خاک رابطه مثبت قوی دارد (۱).

در برخی مطالعات نیز مشخصه درصد رس و نیتروژن خاک (۵۱) و بافت خاک، نیتروژن و نسبت کربن به نیتروژن (۳۷) به‌عنوان مهم‌ترین اجزای تأثیرگذار خاک بر مقدار کربن و ذخایر ترسیب کربن گزارش شده‌اند. ذخیره کربن در خاک می‌تواند فرآیندهای تثبیت شیمیایی و پروسه‌های بیوشیمیایی محافظت فیزیکی آن را شامل شود. علاوه بر این در مقیاس بزرگ نیز ماده آلی اساساً مسئول ثبات خاکدانه‌های بزرگ است با این وجود این نوع ماده آلی کمتر از ماده آلی میان خاکدانه‌های میکرو محافظت می‌گردد (۱۴). به‌طوری‌که به نظر می‌رسد تجزیه ماده آلی خاک در خاک‌های سطحی با بافت ریز کمتر از خاک‌هایی با بافت درشت است و ذرات رس و سیلت ریز میزان بالایی از کربن آلی را حفظ می‌کنند (۲۹). در مطالعه‌ای دیگر فاکتورهای نظیر بارندگی، دما و میزان رس و بافت خاک در ارتباط با میزان کربن خاک مهم ارزیابی شده است (۲۴).

با این توصیفات آشکار می‌شود ذخیره کربن خاک نتیجه تعادل خالص بین ورودی کربن و خروجی آن است. این تنظیمات بیولوژیکی جریانی عمدتاً به میزان تولید اولیه و نحوه تجزیه مواد آلی یا حفظ آن بستگی دارد. هر دو مؤلفه تولید و تجزیه ماده آلی شدیداً توسط آب و هوا و ویژگی‌های خاک نظیر بافت، میزان مواد غذایی و آب قابل دسترس تنظیم می‌گردد که در نهایت میزان جریان ماده آلی به داخل خاک و کیفیت آن و سرعت تجزیه را تعیین کرده و تحت کنترل دارد. تعیین کربن آلی خاک در مقیاس منطقه‌ای اطلاعات تکمیلی ضروری را برای واسنجی، اعتبارسنجی و کاربرد مدل‌های شبیه‌سازی فراهم می‌نماید (۱۷). علاوه بر این کربن آلی خاک تأثیر معنی‌دار و مهمی در نفوذ آب و پایداری خاکدانه‌ها دارد (۱۳).

مرور منابع نشان می‌دهد مطالعات بیشتری در مورد اثرات عوامل خاکی در میزان کربن ذخیره‌ای مناطق معتدله و استوایی صورت پذیرفته است. اما در مناطق نیمه‌خشک اطلاعات نه چندان زیادی در مورد نحوه ذخیره کربن در خاک و عوامل مؤثر و ارتباط بین آن‌ها وجود دارد. از آنجا که برنامه مقابله با گرم‌شدن دمای جهانی و افزایش توان ذخیره کربن در اکوسیستم‌ها در سطح ملی و جهانی به عنوان یک راهبرد کلان در جهت حل معضل زیست‌محیطی مطرح است لذا نیل به این هدف مستلزم شناخت دقیق این عوامل و تعیین سهم هر یک از آن‌ها در این مسئله است. در این پژوهش همراه با شناسایی دقیق‌تر عوامل و امتیازدهی به اثر آن‌ها، نوعی سهم‌بندی یا اولویت‌بندی نیز انجام گرفته و بر اساس یافتن روابط علی معنی‌دار با سایر پارامترها می‌توان میزان کربن را در شرایط محیطی مشابه شبیه‌سازی نمود. از طرف دیگر ذکر این نکته ضروری است که برای تعیین کمیت کربن آلی در خاک، بایستی نمونه خاک ابتدا جمع‌آوری شود و سپس در آزمایشگاه آنالیز گردد. متأسفانه فرآیند جمع‌آوری نمونه و آنالیز وقت‌گیر و هزینه‌بر است که در این راستا محققان در حال تحقیق و یافتن روش‌های جایگزین ارزان برای تخمین میزان کربن نسبت به تعیین مستقیم آن برای نمونه خاک می‌باشند. هدف از این مطالعه، تعیین پارامترهای خاکی اثرگذار بر میزان توان ذخیره کربن و تخمین میزان کربن آلی خاک توسط کاربرد خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و یافتن روابط علی معنی‌دار با سایر پارامترها توسط استفاده از روش‌های مختلف تحلیل مسیر و رگرسیون در مراتع استان آذربایجان‌شرقی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این مطالعه در سطح استان آذربایجان‌شرقی انجام یافته است. از نظر موقعیت جغرافیایی در محدوده ۴۵ درجه و ۷ دقیقه الی ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه الی ۳۹ درجه و ۲۶ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. این استان در گوشه شمال‌غرب کشور واقع گردیده که در تقسیم‌بندی مرزهای استانی کشور، بخش

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1396.11.2.1.0]

میانی واحد بزرگ فلات آذربایجان در شمال غرب ایران را به خود اختصاص داده است. مرتفع‌ترین نقطه در استان قله سهند با ارتفاع ۳۷۰۷ متر و پست‌ترین نقطه آن کنار رودخانه ارس یعنی اراضی ساحلی در شهرستان کلیبر با ارتفاع ۱۵۰ متر از سطح دریا می‌باشد. مساحت استان آذربایجان شرقی ۴۴۶۷۸۶۰ هکتار است که از این میزان در حدود ۲۴۷۳۴۴۰ هکتار یا ۵۳ درصد آن را مراتع طبیعی تشکیل می‌دهد (۲۵). از نظر تقسیمات حوضه‌های آبریز کشور، حوضه‌های آبخیز ارس، سفیدرود ـ قزل‌اوزن و دریاچه ارومیه پهنه استان را پوشش می‌دهند که بیشترین مساحت استان در محدوده حوضه آبریز دریاچه ارومیه قرار گرفته‌است. در حالت کلی، استان آذربایجان‌شرقی یک منطقه کوهستانی محسوب می‌شود که حدود ۴۰ درصد از سطح آن را کوهستان و ۲۸/۲ درصد را تپه‌ماهورها و ۳۱/۸ درصد را زمین‌های هموار (دشت‌ها و جلگه‌های میان‌کوهی) فرا گرفته‌است. از مناطق کوهستانی معروف منطقه، می‌توان توده آتشفشانی سبلان در شرق و سهند در غرب و جنوب غربی و رشته‌کوه‌های قره‌داغ در شمال و رشته‌کوه‌های تخت سلیمان و اربط در جنوب و ارتفاعات بزقوش در جنوب شرق و قوشاداغ در شمال‌شرق استان و دشت‌های مهم شامل تبریز، مراغه، مرند و سراب را نام برد. آب و هوای استان آذربایجان‌شرقی بر اساس روش طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن از خشک سرد تا نیمه‌مرطوب فراسرد گسترش یافته است. سردترین منطقه استان با میانگین دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد در نواحی کوهستانی و گرم‌ترین نواحی در نواحی دشتی با میزان ۳۸ درجه سانتی‌گراد و بارندگی سالیانه با دامنه ۲۲۰ الی ۳۵۰ میلی‌متر می‌باشد (۱۹).

بر اساس گزارش‌های طرح شناخت مناطق اکولوژیک کشور، گروه‌های بزرگ تیپ‌های گیاهی منطقه مورد مطالعه را به صورت عمده عناصر اصلی *Astragalus brachyanus*، *Astragalus Microcephalus*، *Astragalus persicus*، *Thymus kotschyanus*، *Astragalus aureus*، *Thymus*، *Artemisia fragrans*، *Astragalus persicus*، *migrieus*، *Noeae*، *Agropyron tauri*، *Stipa barbata*، *Acanthophyllum mucronata*، *microcephollum*، *Festuca ovina*، *Bromus tomentellus*، *Festuca ovina*، *Onobrychys cornuta*، *Aehillea vermicularis*، *Salsola rigida*، *Alhagi camelarum*، *Salsola rigida*، *Eurotia ceratoiedes* تشکیل می‌دهد. خاطر نشان می‌سازد به‌دلیل وجود سازندهای مارنی در برخی مناطق مرکزی و جنوب شرقی استان تیپ‌هایی با عناصر *Salsola rigida*، *Anabasis aphylla*، *Kochia prostrata*، *Comporosma sp.*، *Alhagi cemelorum*، *Artemisia fragrans*، *Eurtia ceratoiedes*، *Atraphaxis suaedifolia* گسترش دارد. تیپ‌های حاوی گونه‌های بالشتکی و گراس‌ها نظیر *Acanthophyllum microcephollum*، *Onobrychys cornouta* و *Bromous tomeltellus* عمدتاً در مناطق کوهستانی و دامنه‌ها و گونه‌های شورروی نظیر *Aeluropus littoralis*، *Halocnemum strobilaceum*، *Salsola rigida* در مناطق پست، به خصوص اطراف دریاچه ارومیه مشاهده می‌شود.

نمونه‌برداری در مناطق مختلف مرتعی استان آذربایجان شرقی از مکان‌های مختلف شامل واحدهای مختلف اراضی نظیر کوه، تپه، دامنه و دشت در داخل تیپ‌های گیاهی که دارای ویژگی‌های محیطی مختلف بودند، در تابستان سال ۱۳۹۳ انجام پذیرفت. به این ترتیب که در داخل تیپ‌های گیاهی با توجه به تنوع عوامل محیطی و شرایط پستی و بلندی و واحدهای مختلف اراضی، بر اساس نظر کارشناسی و تلفیق نظری مکان‌های معرف طوری انتخاب گردید که با توجه به عوامل اثرگذار خاکسازی و تکامل خاک تا حد امکان دامنه وسیعی از مشخصه‌های خاکی و کربن آلی خاک به‌دست آید. با این توضیح که با توجه به گستردگی تیپ‌ها و تنوع عوامل محیطی در هر تیپ، ممکن بود بیش از یک مکان معرف جهت اندازه‌گیری انتخاب گردد. بایستی عنوان کرد هدف از این مطالعه تنها بررسی ارتباط بین پارامترهای خاکی با ذخیره کربن بوده است اما به منظور آنکه به یک مجموعه بزرگی از اطلاعات خاکی و طیف وسیعی از پارامترهای خاکی دست یافته شود بایستی به پوشش گیاهی، پستی و بلندی و اقلیم نیز حین نمونه‌برداری توجه نمود، چرا که این عوامل جزو فاکتورهای اثرگذار پیدایش و تکامل خاک می‌باشد. لذا با این توضیح به عنوان نتیجه کلی می‌شود عنوان نمود اگر چه به این عوامل مستقیما در مطالعه لحاظ نشده است اما به صورت غیرمستقیم مد نظر بوده‌اند. فاصله مکان‌های نمونه‌برداری بسته به مشخصات توپوگرافیکی، گستره تیپ گیاهی و

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1396.11.2.1.0]

توزیع طبقه‌بندی‌شده و نامنظم آن در سطح استان متغیر بوده است.

در هر مکان معرف انتخابی، یک نمونه خاک با سه تکرار به‌طور تصادفی برداشت شد. البته برای تعیین وزن مخصوص ظاهری خاک، سه نمونه دست‌نخورده از عمق صفر تا سی سانتی‌متری خاک نیز توسط سیلندر برداشته شد. نمونه‌ها در کل از ۹۲ واحد مطالعاتی معرف استان جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل شدند. پس از هوا خشک و کوبیده‌شدن، نمونه خاک‌ها به منظور آنالیزهای شیمیایی از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند.

تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

بافت خاک به روش هیدرومتر، کربنات کلسیم (آهک) به روش تیتراسیون با اسید، کربن آلی به روش واکلی-بلک[1] اسیدیته (pH) در گل اشباع، هدایت الکتریکی (EC) عصاره اشباع، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) به روش جانشینی کاتیون‌های تبادلی با استات سدیم تعیین شدند. توان نگهداشت رطوبت اشباع توسط اندازه‌گیری وزن گل اشباع، وزن مخصوص ظاهری نیز با استفاده از نمونه‌برداری توسط سیلندر صورت پذیرفت (۲۶). برای بهبود نتایج و افزایش دقت، هر نمونه خاک سه بار تحت آنالیز قرار گرفت و یک میانگین از آن استخراج گردید.

تجزیه و تحلیل آماری

محاسبه تحلیل مسیر

در تحقیق حاضر هدف اصلی بررسی تأثیر متغیرهای مستقل خاکی نظیر درصد رس، سیلت، شن، آهک، میزان اسیدیته، هدایت الکتریکی، ظرفیت تبادل کاتیونی، نگهداشت رطوبت اشباع خاک و وزن مخصوص ظاهری بر میزان ذخیره کربن خاک مراتع به عنوان متغیر وابسته می‌باشد.

ابتدا بر اساس نمودار ترسیمی مسیرها از هم تفکیک شدند. در این فرآیند در هر مرحله یکی از متغیرها به‌عنوان متغیر وابسته و متغیرهای مرتبط با مبدأ فلش‌های ختم شده به متغیر فوق به عنوان متغیرهای مستقل در تحلیل رگرسیون مورد استفاده قرار می‌گیرند تا از این طریق ضرایب بتاها که نشان‌دهنده اثرات مستقیم متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته است، به دست آید (۲۸).

جهت مشخص‌نمودن تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم پارامترهای مورد مطالعه بر میزان ذخیره کربن خاک از آنالیز تحلیل مسیر استفاده شد. تحلیل مسیر علاوه بر نمایش تأثیر مستقیم متغیر مستقل (علت) بر روی متغیر وابسته اصلی (معلول)، تأثیرات غیرمستقیم متغیرهای مستقل بر روی یک متغیر وابسته میانجی را نیز نشان می‌دهد. در نمودار مسیر هر خط دارای یک مسیر، جهت و ضریب مسیر (path coefficient) است. این ضریب همان وزن بتا استاندارد است و نمایانگر مقدار اثر متغیر مستقل بر متغیر وابسته به ازای یک واحد تغییر در متغیر مستقل می‌باشد (۲۸).

آنالیز رگرسیون گام به گام و همبستگی

مدل‌یابی میزان کربن آلی خاک توسط رگرسیون گام به گام برای کل پارامترهای مورد اندازه‌گیری انجام شد. ضریب همبستگی پیرسون بین پارامترهای خاک محاسبه و معنی‌داری آن مورد آزمون آماری قرار گرفت (۱۰). به منظور انجام کلیه تجزیه‌های آماری از نرم‌افزارهای SPSS و MINI TAB استفاده گردید.

نتایج

برخی آمار مربوط به ویژگی‌های مختلف اندازه‌گیری شده خاک در نمونه‌های خاک در جدول ۱ آورده شده است.

[1] - Walkely-Black

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1396.11.2.1.0]

جدول ۱- آمار توصیفی ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک‌های مورد مطالعه

پارامتر	علامت	واحد	میانگین	اشتباه معیار	انحراف معیار
سنگریزه	Gravel	درصد	۱۸/۸۴	۱/۱۵	۱۱/۶۷
رس	Clay	درصد	۲۹/۴	۱/۱۵	۱۱/۵۸
سیلت	Silt	درصد	۲۶/۷	۰/۸	۸/۱۷
شن	Sand	درصد	۴۳/۷۹	۱/۵۸	۱۶/۰۱
اسیدیته	pH	-	۷/۶۲	۰/۰۳	۰/۳۷
هدایت الکتریکی	EC	میکرو موس بر سانتی‌متر	۶۵۰/۵	۴۵/۵	۴۵۹/۷
آهک	$Caco_3$	درصد	۱۳/۵	۰/۹۱	۹/۲۷
کربن آلی	OC	درصد	۲/۰۷	۰/۱۷	۱/۷۲
وزن مخصوص ظاهری	BD	گرم بر سانتی‌متر مکعب	۱/۳۲	۰/۰۲	۰/۲
رطوبت اشباع	Saturated Moisture	درصد	۴۵/۰۷	۱/۵۶	۱۵/۸
ظرفیت تبادل کاتیونی	CEC	(میلی اکیوالانت بر صد گرم خاک)	۲۴/۰۸	۱/۳۱	۱۳/۲۸

جدول ۲ میزان ضرایب همبستگی بین پارامترهای مختلف و میزان معنی‌داری آن‌ها را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد بیشترین رابطه معنی‌دار کربن با پارامتر توان حفظ رطوبت با میزان همبستگی (۰/۶۶۷) و در رتبه بعدی بیشترین همبستگی را با پارامتر اسیدیته (۰/۵۶۷-) دارد و کمترین میزان همبستگی معنی‌دار بین کربن و پارامتر هدایت الکتریکی (۰/۱۸۲-) می‌باشد.

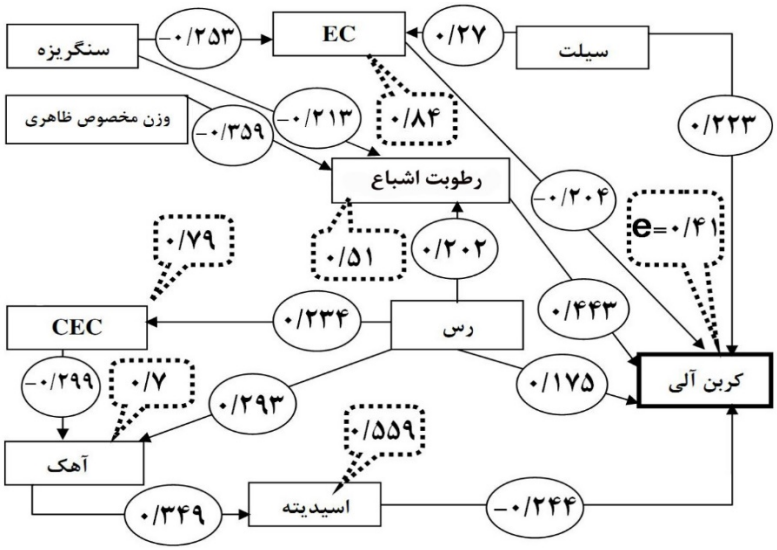
جدول ۲- میزان ضرایب همبستگی بین پارامترهای مختلف خاک

	Gravel	clay	silt	sand	اسیدیته	EC	آهک	OC	BD	رطوبت	CEC
Gravel	۱	۰/۰۰۰	۰/۰۱۵	۰/۰۰۰	۰/۳۴۳	۰/۰۰۷	۰/۹۵۵	۰/۰۲۹	۰/۰۵۴	۰/۰۰۰	۰/۳۷۹
clay	-۰/۳۶۷	۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۷۱۴	۰/۷	۰/۰۰۹	۰/۰۴۸	۰/۰۱۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱
Silt	-۰/۲۳۰	۰/۲۹۱	۱	۰/۰۰۰	۰/۶۵۲	۰/۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۸	۰/۰۰۰	۰/۱۳۷
sand	۰/۳۸۳	۰/۸۶۷	-۰/۷۲۹	۱	۰/۹۷۸	۰/۱۰۹	۰/۰۰۰	۰/۰۲۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱
اسیدیته	۰/۰۹۱	۰/۰۳۵	-۰/۰۴۳	-۰/۰۰۳	۱	۰/۳۷۴	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۲۸۲
EC	-۰/۲۵۵	۰/۰۳۷	۰/۲۴۴	-۰/۱۵۴	۰/۰۸۶	۱	۰/۱۸۲	۰/۰۵۷	۰/۲۴۷	۰/۸۷۳	۰/۱۱۷
آهک	-۰/۰۰۵	۰/۲۴۷	۰/۴۱۶	-۰/۳۹۴	۰/۴۰۶	۰/۱۲۸	۱	۰/۰۲	۰/۵۷۷	۰/۱۴۲	۰/۰۷
OC	-۰/۲۰۸	۰/۱۸۳	۰/۲۸۸	-۰/۲۰۹	-۰/۵۶۷	-۰/۱۸۲	-۰/۲۲۱	۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲
BD	۰/۱۸۴	-۰/۲۳۹	-۰/۲۵۲	۰/۳۰۲	۰/۳۹۷	۰/۱۱۱	۰/۰۵۴	-۰/۴۷۹	۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
رطوبت اشباع	-۰/۳۳۸	-۰/۳۷۵	۰/۳۳۷	-۰/۴۴۴	-۰/۵۳	۰/۰۱۵	-۰/۱۴	۰/۶۶۷	-۰/۶۳۲	۱	۰/۰۰۰
CEC	۰/۰۸۵	۰/۳۲۰	۰/۱۴۳	-۰/۳۰۳	-۰/۱۰۴	-۰/۱۵	-۰/۱۷۳	۰/۲۸۶	-۰/۳۳۳	۰/۳۶۵	۱

× سه نوع ضریب شامل ضرایب **پررنگ‌تر**، علامت‌دار توسط خط زیرین و داخل خانه پررنگ‌تر، با توجه به سطوح معنی‌داری متناظر خود در قطر دیگر مستطیل به ترتیب در سطح ۰/۰۰۱، ۰/۰۱ و ۰/۱معنی‌دار است. مابقی ضرایب (فاقد علامات ذکر شده) از لحاظ آماری معنی‌دار نیستند.

بر اساس تحلیل مسیر، مدل علی تبیین میزان کربن توسط پارامترهای خاک مورد بررسی در شکل ۱ ارائه شده است. در این نمودار هر خط دارای یک مسیر و جهت است که دارای ضریب مسیر (Path Coefficient) یا همان ضریب بتای استانداردشده مدل‌های رگرسیونی چندگانه می‌باشد. هر ضریب نمایانگر مقدار اثر متغیر مستقل بر متغیر وابسته به ازای یک واحد تغییر در متغیر مستقل می‌باشد. تحلیل مسیر بر خلاف رگرسیون علاوه بر نمایش تأثیر مستقیم متغیر مستقل (علت) بر روی متغیر وابسته (معلول) تأثیرات غیرمستقیم یک متغیر مستقل بر روی یک متغیر وابسته را نیز نشان می‌دهد.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1396.11.2.1.0]



شکل ۱- مدل عوامل مؤثر بر درصد کربن آلی خاک توسط آنالیز تحلیل مسیر (R^2=۰/۵۹ و p<0.001)

هم چنین در تحلیل مسیر آنچه که به عنوان اثر یا عوامل ناشناخته باقی می‌ماند به وسیله کمیت خطا (e^2) نشان داده می‌شود که مجموع ضریب تبیین مدل و کمیت خطا برابر با یک است (۲۸). کمیت خطای مدل (e^2) نشان-دهنده مقدار واریانس متغیری است که متغیرهای متقدم مدل آن را تبیین نکرده‌اند، که در این مدل ۰/۴۱ است. به عبارت دیگر ۴۱ درصد از واریانس کربن آلی خاک که در مدل علی طرح‌ریزی‌شده است را تبیین نکرده است و تنها قادر به تبیین ۵۹ درصد واریانس کربن آلی می‌باشد (e^2=1- 0.59= 0.41, R^2 +e^2=1). می‌توان عنوان کرد، ذخیره کربن خاک مراتع تحت تأثیر متغیرهایی خارج از مدل تحلیلی این تحقیق نیز می‌باشد که تغییرات باقی‌مانده آن را تبیین می-کنند.

تجزیه اثرات در تحلیل مسیر در شناخت اثرات متغیرها بر یکدیگر و اولویت‌بندی اقدامات مدیریتی کمک‌کننده خواهد بود. نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد پارامترهای سیلت و رس بر میزان درصد کربن آلی خاک هم اثر مستقیم و هم اثر غیر مستقیم دارند و پارامترهای سنگریزه، ظرفیت تبادل کاتیونی، آهک و وزن مخصوص ظاهری تنها اثرات غیر مستقیم بر میزان کربن ذخیره‌ای خاک دارند. پارامتر توان حفظ رطوبت خاک با مجموع ۰/۴۴۳ (۴۴/۳ درصد) بیشترین اثر را بر میزان کربن دارند و پس از آن میزان رس با مجموع اثرات مستقیم و غیر مستقیم به میزان ۰/۲۴۵ در رتبه بعدی قرار دارد. همچنین پایین‌ترین اثر را میزان ظرفیت تبادل کاتیونی (۰/۰۲۵) دارد. از یک طرف بیشترین اثر غیرمستقیم منفی مربوط به وزن مخصوص ظاهری خاک و از طرف دیگر بیشترین اثر مستقیم مربوط به توان حفظ رطوبت خاک اراضی می‌باشد. ویژگی‌های فیزیکی خاک از لحاظ مجموع تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم با میزان ۰/۵۵ بیشترین تأثیر را نسبت به ویژگی‌های شیمیایی (میزان ۰/۰۹-) بر کربن آلی خاک دارند. مجموع کل اثر علی متغیرهای مستقل بر کربن خاک ۰/۴۵۲ بوده که از این مقدار ۰/۸ اثر مستقیم مثبت و ۰/۳۴۹ اثر غیرمستقیم منفی می‌باشد. این بدان معنی است که متغیرهای مستقل مورد استفاده در این پژوهش بدون واسط اثرات بیشتری بر روی متغیر وابسته داشته‌اند. مقدار ضریب تبیین (R^2) نشان می‌دهد که در کل مدل پژوهش توانسته است ۵۹ درصد از واریانس کربن آلی خاک را تبیین کند.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1396.11.2.1.0]

جدول ۳- مجموع تأثیرات مستقیم و غیر مستقیم متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته کربن آلی خاک

ردیف	متغیر مستقل	اثرات مستقیم	اثرات غیر مستقیم	مجموع تأثیرات
۱	سیلت	۰/۲۲۳	-۰/۰۵۵	**۰/۱۶۸**
۲	رس	۰/۱۷۵	۰/۰۷۱	**۰/۲۴۵**
۳	رطوبت اشباع	۰/۴۴۳	-	۰/۴۴۳
۴	اسیدیته	-۰/۲۴۴	-	-۰/۲۴۴
۵	EC	-۰/۲۰۴	-	-۰/۲۰۴
۶	سنگریزه	-	-۰/۱۴۶	-۰/۱۴۶
۷	CEC	-	۰/۰۲۵	۰/۰۲۵
۸	آهک	-	-۰/۰۸۵	-۰/۰۸۵
۹	وزن مخصوص ظاهری	-	-۰/۱۵۹	-۰/۱۵۹

با واردکردن تمام پارامترهای اولیه اندازه‌گیری شده تحقیق به صورت یکجا، رگرسیون گام به گام انجام گردید (جدول ۴).

جدول ۴- مشخصات رگرسیون گام به گام نهایی برآورد میزان ذخیره کربن توسط ویژگی‌های خاک

	مدل نهایی رگرسیون گام به گام			
ویژگی/پارامتر	ضریب	ضریب استاندارد بتا	T-Value	Sig. t
حفظ رطوبت اشباع	۰/۰۵۷	۰/۵۱۵	۵/۷۶۷	۰/۰۰۰
اسیدیته	-۱/۲۰۶	-۰/۲۶۲	-۳/۲۶۹	۰/۰۰۱
هدایت الکتریکی	-۰/۰۰۰۰۲۸	-۰/۱۹۳	-۲/۸۹	۰/۰۰۵
سیلت	۰/۰۳۹	۰/۱۹۳	۲/۶۷۱	۰/۰۰۹
رس	۰/۰۲۲	۰/۱۵۰	۲/۰۴۴	۰/۰۴۴
ثابت	۸/۳۰۸	-	۲/۷۸۷	۰/۰۰۶
R		۰/۷۵۶		
R^2		۰/۵۷۱		
R^2-Adj		۰/۵۵۰		
SE		۱/۱۴		
F Test		۲۷/۶۷		
Mallows Cp.		۶		
Sig.		۰/۰۰۰		

مدل رگرسیونی نهایی به صورت زیر به‌دست آمد:

OC% = 8.31 + 0.0219 Clay + 0.0387 Silt - 1.21 pH - 0.000028 EC + 0.0568 Saturated Moisture

($F=27.67^{××}$, SE= 1.14, P<0.01, R^2 = 57.1%)

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج آزمون همبستگی بین پارامترها نشان می‌دهد بیشترین رابطه معنی‌دار کربن با پارامتر توان حفظ رطوبت اشباع با میزان همبستگی مثبت (۰/۶۶۷) و کمترین میزان رابطه معنی‌دار کربن با پارامتر هدایت الکتریکی خاک (۰/۱۸۲-) به‌صورت منفی می‌باشد. در توجیه این نتیجه می‌توان عنوان کرد؛ یکی از اثرات شوری در گیاهان کاهش فعالیت فتوسنتزی است که موجب کاهش مقدار کلروفیل و کاهش جذب دی‌اکسیدکربن و ظرفیت فتوسنتز می‌شود که در نهایت سبب کاهش حجم ورودی لاشبرگ به خاک می‌شود. به نظر می‌رسد میزان هدایت الکتریکی اثر منفی بر روی میزان تولید گیاهی و ورودی لاشبرگ به خاک می‌گردد که در نهایت سبب کمبود کاهش ماده آلی خاک می‌شود. املاح محلول موجود در خاک به دلیل ایجاد محدودیت در استقرار و رشد و توسعه پوشش گیاهی شوری نقش بسیار تعیین‌کننده‌ای بر روی درصد پوشش گیاهی دارد چنانچه مطالعات گسترده‌ای این موضوع را تأیید می‌نمایند (۵۵ و ۵۳) از طرفی افزایش توان حفظ رطوبت خاک سبب ایجاد شرایط مساعد برای رشد گیاهی و افزایش ذخیره تولید لاشبرگ و ذخیره کربن در خاک محیط

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1396.11.2.1.0]

می‌گردد. بنابراین احتمالاً رژیم آبی خاک به عنوان یک ابزار کلیدی تعیین‌کننده کربن محسوب می‌شود و به عنوان یک موضوع مختص این منطقه، حفاظت خاک‌های با زهکشی پایین به منظور بهبود افزایش و انباشت کربن در خاک بسیار مهم و ضروری است (۵۲).

بررسی تحلیل مسیر نشان داد به صورت مستقیم پارامترهای توان حفظ رطوبت اشباع، اسیدیته، سیلت، هدایت الکتریکی و میزان رس که به ترتیب با ضرایب مسیر ۰/۴۴۳، ۰/۲۴۴-، ۰/۲۲۳، ۰/۲۰۴- و ۰/۱۷۵ بر میزان ذخیره کربن آلی خاک اثر می‌گذارند که بالاترین آن مربوط به توان و ظرفیت حفظ رطوبت می‌باشد.

بالابودن میزان ذرات ریز خاک نظیر رس و سیلت که در اکثر خاک‌های تکامل‌یافته اتفاق می‌افتد در حفظ و تثبیت کربن آلی نقش و اهمیت دارد (۳۶). خاک‌های با بافت ریز، نسبت به خاک‌های درشت‌دانه، پتانسیل بیشتری در ترسیب کربن و ذخیره آن به صورت بلند مدت دارند (۲۱). نتایج بسیاری از پژوهش‌ها نیز نشان‌دهنده ارتباط قطعی و معنی‌دار مقدار و کربن ذخیره‌ای خاک می‌باشد (۲۱ و ۲۷). در این خصوص عنوان شده است بافت خاک تأثیر مهمی بر روی ویژگی‌های مواد الی خاک دارد به‌طوری که مقادیر بالای ماده آلی و بیشترین حفاظت فیزیکی و شیمیایی خاک از مواد آلی در خاک‌های با محتوی بالای رس اتفاق می‌افتد. عواملی دیگر نظیر تنفس بالا در خاک‌های شنی منجر به مقادیر کم کربن در مقایسه خاک‌های رس -که هدررفت تنفسی کمتر دارند- می‌شود (۴۵).

نهایت آن که در این مطالعه نتایج نشان داد ذرات ریز رس و سیلت با ضریب تأثیر مثبت ۰/۱۷۵ و ۰/۲۲۳ ظرفیت و پتانسیل بالایی در ذخیره کربن را دارند. محققان مختلفی بر اهمیت خاک‌های رسی و سیلتی در ترسیب کربن اشاره داشته‌اند. آماتو و لاد[2] (۱۹۹۲) عنوان نموده‌اند که در خاک‌های غنی از رس و سیلت شرایط برای خاکدانه‌سازی مناسب است که این امر سبب چسبیدن ذرات مواد آلی کربن‌دار به ذرات رس می‌گردند و این کربن آلی به صورت بلندمدت تثبیت می‌گردد و از خطر تجزیه حفظ می‌شود. هاسینک و همکاران[3] (۱۹۹۷) نیز در تأیید این مطلب بیان می‌دارند، میزان ذخیره کربن آلی در خاک با میزان رس و سیلت خاک رابطه مثبت بسیار قوی دارد اما عملیات مدیریتی نامناسب، نظیر شخم می‌تواند این رابطه را به طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار دهد. این نکته به خوبی شناخته شده است که میزان کربن آلی چسبیده به ذرات ریز خاک و رس به‌عنوان یک فاکتور کلیدی کنترل‌کننده پویایی کربن در خاک است (۴ و ۲۳).

از سویی دیگر نتایج نشان می‌دهد میزان اسیدیته با کربن آلی ذخیره‌ای خاک رابطه معکوس دارد. در این خصوص؛ مطالعات مختلفی نشان می‌دهد اسیدیته خاک توسط عمل تنظیم فعالیت میکروبی خاک میزان کربن آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد و مقادیر بالای اسیدیته احتمالاً به دلیل تسریع‌شدن تجزیه کربن خاک یک اثر منفی بر میزان کربن خاک دارد (۳۵). ثابت شده است که اسیدیته و ماده آلی بالا در خاک‌ها شرایطی برای دنیترفیکاسیون فراهم می‌نماید (۳۲). لیفلد و همکاران (۲۰۰۸)، اهمیت توجه برای واردشدن بجا و مناسب اسیدیته در مدل‌های مکانیسمی پیش‌بینی چرخه کربن در سطح جهانی را پررنگ کرده‌اند. به همین دلیل مدل‌های پیش‌بینی‌کننده اثرات گرم‌شدن کره زمین بر تجزیه مواد آلی خاک‌ها شامل پارامتر اسیدیته می‌باشند.

در این تحقیق نیز هم راستا با نتایج تحقیقات وانگ و همکاران (۲۰۱۲) میزان کربن خاک با افزایش رطوبت خاک و میزان رس بیشتر می‌شود، که به اثر منفی زهکشی خاک بر میزان ذخیره کربن اشاره دارد. در حقیقت ماده آلی و ذرات معدنی علی‌الخصوص رس سبب ایجاد یک مجموعه مرکب ارگانیکی-معدنی می‌گردد که در نهایت افزایش حفظ رطوبت به مدت طولانی در خاک را در پی دارد (۶ و ۱۵).

نتایج حاصل از نمودار تحلیل مسیر نشان می‌دهد کربن آلی ذخیره‌ای خاک به صورت غیرمستقیم نیز با پارامترهای ظرفیت تبادل کاتیونی، وزن مخصوص ظاهری، درصد سنگریزه خاک و آهک در ارتباط است. بر این اساس مدل حاصله نشان می‌دهد افزایش وزن مخصوص ظاهری سبب کاهش توان و ظرفیت نگهداری رطوبت خاک می‌گردد، به طوری که اسکیدمور و همکاران (۱۹۸۶) عنوان می‌کنند؛ افزایش استواری و محکمی خاک نظیر وزن

2 Amato and Ladd

3- Hassink

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1396.11.2.1.0]

مخصوص ظاهری عموماً با کاهش میزان رطوبت خاک از طریق کاهش تخلخل می‌تواند در نهایت سبب کاهش کربن آلی گردد.

مسیر غیرمستقیم دیگری نشان می‌دهد میزان رس زیاد سبب افزایش قابلیت نگهداشت رطوبت می‌شود. در این خصوص اِسچونینگ و کریستنسن (۲۰۰۶)، بیان می‌دارند ظرفیت آبگیری خاک‌های رسی بسیار بیشتر از خاک‌های شنی است. همچنین خاک‌های رسی در یک درصد ثابت از رطوبت قابل استفاده، آب را با نیروی بیشتری نگه می‌دارند. از طرفی در تفسیر اثر غیر مستقیم میزان سنگریزه بایستی عنوان نمود میزان تخلخل با میزان ذرات درشت نظیر شن و سنگریزه در ارتباط است. به عبارتی با افزایش میزان سنگریزه خاک میزان توان نگهداشت آب به دلیل کم‌بودن میزان رس کمتر می‌گردد (۷).

نمودار تحلیل مسیر نشان می‌دهد رس خاک با اثرگذاری بر روی مقادیر ظرفیت تبادل کاتیونی و میزان آهک به صورت غیر مستقیم با میزان کربن ذخیره‌ای ارتباط دارد. تحقیقات متعددی نشان داده است میزان رس رابطه بالایی با میزان ظرفیت تبادل کاتیونی دارد از طرفی احتمال می‌رود این روند سبب حاصلخیزی خاک و در نتیجه بالابودن پوشش گیاهی و افزایش لاشبرگ ورودی به خاک گردد. ویژگی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک شاخص خوبی برای تعیین کیفیت و تولید خاک بوده و مقدار آن بسته به میزان رس متغیر است. رس خاک به علت دارابودن سطح ویژه زیاد و باردار بودن نقش مهمی در ظرفیت تبادل کاتیونی خاک دارند و با افزایش مقدار رس مقدار این شاخص افزایش می‌یابد (۲۲).

معلمی و همکاران (۲۰۰۹)، با بررسی تعدادی نمونه خاک مربوط به خاک‌های استان گیلان و بهره‌گیری از روش رگرسیون چندگانه خطی برای برآورد تبادل کاتیونی خاک نشان دادند که متغیرهای رس، کربن آلی خاک و اسیدیته میزان ۴۲ درصد از تغییرات ظرفیت تبادل کاتیونی خاک را توجیه می‌کنند که در این میان نقش رس بیشتر از بقیه متغیرها است. از طرفی در خاک‌های با رس زیاد میزان نفوذپذیری کم بوده و در نتیجه میزان آهک کمتر شسته می‌شود (۲). در خصوص منفی‌بودن همبستگی رس با نفوذپذیری می‌توان مطرح کرد که ذرات رس همانند سیمان در خاکدانه عمل کرده و به دلیل آماس موجب کاهش نفوذپذیری می‌شود (۵۴). در مقابل ذرات سیلت و شن به دلیل عدم داشتن چسبندگی و خاصیت آماس لازم، دارای ضریب همبستگی مثبت می‌باشند. عنوان شده است رطوبت نگهداشتی در خاک به پارامترهای از جمله بافت خاک و تخلخل بستگی دارد بطوری که در این میان بافت خاک نقش دوگانه داشته باشد. به طور کلی بافت خاک نه تنها توسط کنترل قابلیت تولید گیاهی از طریق دسترسی آب و حاصلخیزی خاک بر میزان ورود مستقیم کربن خاک اثر دارد (۴۶)، بلکه بر میزان خروجی کربن از خاک از طریق حفاظت آن در برابر تجزیه به واسطه نگهداشت کربن آلی در ذرات رس اثر غیر مستقیمی نیز دارد (۴).

به منظور تعیین مدلی برای تخمین کربن آلی خاک از آنالیز رگرسیون گام به گام استفاده شد. همان‌طور که از نتایج برمی‌آید پنج پارامتر هدایت الکتریکی خاک، میزان رس، سیلت، اسیدیته و توان حفظ رطوبت وارد مدل نهایی رگرسیونی شده‌اند که این پارامترها مهم‌ترین متغیر مستقل تبیین‌کننده میزان کربن آلی خاک در منطقه مورد مطالعه محسوب می‌شود. به طور کلی در این مطالعه مدل حاصل از تحلیل مسیر میزان ضریب تبیین بیشتری (۵۹ درصد) در مقایسه با رگرسیون گام به گام داشته است. بیشترین میزان سهم نسبی پارامترهای مستقل در برآورد و تخمین کربن آلی خاک به ترتیب به صورت توان حفظ رطوبت اشباع (۰/۴۴۳)، اسیدیته (۰/۲۴۴-)، سیلت (۰/۲۲۳)، هدایت الکتریکی (۰/۲۰۴-) و میزان رس (۰/۱۷۵) رتبه‌بندی می‌گردد. به نظر می‌رسد که این پارامترها در مدیریت مرتع بیشتر بایستی مورد توجه برنامه‌ریزان قرار گیرد و اقدامات مهم در جهت حفظ و افزایش این پارامتر صورت پذیرد.

با توجه به اثرگذاری فاکتورهای متعدد کنترل‌کننده میزان کربن نظیر فاکتور اقلیمی (۳۹، ۴۸ و ۳۱)، عوامل بیولوژیک (۴۴ و ۴۱) و ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک (۳۹) انتظار می‌رفت در این مطالعه با واردکردن خصوصیات خاک به تنهایی در مدل قادر به تبیین تنها بخشی از تغییرات کربن خاک باشیم. نتایج تحقیق حاضر نیز مؤید این فرض بوده که واردنشدن سایر پارامترهای محیطی (نظیر مدیریت اراضی، عوامل توپوگرافیکی، اقلیمی و فرسایش) در مدل مورد مطالعه، سبب عدم تبیین مقداری

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1396.11.2.1.0]

از کربن آلی گشته که در صورت وارد شدن آن پارامترها در مدل میزان ضریب تبیین (R^2) در رگرسیون احتمالاً افزایش خواهد یافت. لذا تحقیقات دیگری برای منظورکردن متغیرهای محیطی زیاد در این نوع مطالعات بایستی صورت پذیرد تا زمینه ارزیابی دقیق اثرات تغییرات عمده در منطقه فراهم شود.

نتایج کلی این مطالعه نشان می‌دهد افزایش پارامترهای هدایت الکتریکی خاک (شوری)، اسیدیته خاک، وزن مخصوص ظاهری (متراکم شدن خاک) اثر منفی ولی افزایش پارامترهای توان حفظ رطوبت، ذرات ریز رس و سیلت خاک اثرات مثبت بر میزان ذخیره کربن آلی خاک دارند. بنابراین می‌توان عنوان نمود که در مدیریت مرتع بایستی با مکانیسم‌های مدیریتی استراتژی‌هایی صورت پذیرد که از شورشدن خاک‌ها، هدررفت و فرسایش ذرات ریز خاک، کاهش رطوبت خاک و متراکم‌شدن آن جلوگیری شود تا شاهد افزایش قابلیت ذخیره کربن آلی خاک در این اکوسیستم‌ها شد. کارشناسان با توصیه‌کردن روش‌های مناسب حفاظت خاک و افزایش پوشش گیاهی در مراتع می‌توانند زمینه را برای جلوگیری از فرسایش خاک، شستشو و انتقال ذرات ریز نظیر رس و سیلت و دستیابی به توسعه پایدار زیست‌محیطی مهیا سازند.

به‌عنوان یک نتیجه کاربردی بایستی عنوان کرد اگرچه انسان به طور طبیعی و مستقیم قادر به تغییر برخی ویژگی‌های خاک مؤثر بر ذخیره کربن نیست، اما نقش غیرمستقیم انسان بر این ویژگی‌های از طریق تغییر در سایر مشخصه‌های قابل کنترل محیطی و همچنین جلوگیری از برخی پیامدهای سوء مدیریتی معطوف خواهد بود. به همین دلیل با توجه نقش مهم گیاه به‌عنوان عامل اصلی ورودی کربن به خاک و قابل مدیریت‌بودن آن و همچنین جلوگیری از شورشدن و فرسایش خاک اراضی می‌توان با مدیریت اصولی و افزایش قابلیت بیولوژیک اراضی اقدامات جدی در جهت افزایش ذخیره کربن و حفظ بلندمدت آن قدم برداشت (۱۶). از سوی دیگر با توجه به کمبود منابع رس در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک نسبت به خاک‌های مناطق مرطوب و به تبع آن فقر مواد آلی در این خاک‌ها باید توجه جدی به امر حفاظت خاک و جلوگیری از فرسایش شود. در این ارتباط برخی محققان نشان دادند که کربن خاک به طور عمده از طریق فرسایش کربن ذخیره‌ای به همراه ذرات رس و سیلت از خاک به داخل آبراهه‌های حوزه آبخیز منتقل می‌شود (۴۳). ذکر این نکته ضروری است که پتانسیل ذخیره کربن تحت تأثیر عامل‌های مختلفی خواهد بود از این رو احیای اراضی مخروبه مانع سیر قهقرایی، فرسایش و آبشویی خاک می‌شود و همچنین گام مثبتی در جهت افزایش این پتانسیل محسوب خواهد شد.

تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از رساله دکتری اینجانب (نویسنده مسئول) در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان می‌باشد. بدین‌وسیله از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان که هزینه انجام این تحقیق را در قالب رساله دکتری تأمین نموده است تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

1. Abdi, N., H. Maddah Arefi & Gh. Zahedi Amiri, 2008. Estimation of carbon sequestration in Astragalus rangelands of Markazi province (Case study: Malmir rangeland in Shazand region). Iranian journal of Range and Desert Research, 15(2): 269-282. (In Persian).
2. Aghasi M.J, M.A. Bahmanyar & M. Akbarzade, 2006. Comparison of the effects grazing and water distribution on rangeland vegetation and soil parameters Kiasar Mazandaran province. Journal of Agriculture and Natural Resources, 13(4):73-84. (In Persian).
3. Amato, M. & J.N. Ladd, 1992. Decomposition of C^{14} labeled glucose and legume material in soils: properties influencing the accumulation of organic residue C and microbial biomass C. Soil Biol. Biochem. 24:455- 464.
4. Anderson, D.W., S. Saggar., J.R. Bettany & J.W.B. Stewart, 1981. Particle size fractions and their use in studies of soil organic matter: I. The nature and distribution of forms of carbon, nitrogen, and sulfur. Soil Science Society of America Journal, 45(4): 767–772.
5. Azarnivand, H., H. Joneidi., M.A. Zare Chahooki & H. Maddah Arefi, 2011. Investigation of the effects of some ecological factors on carbon sequestration in *Artemisia sieberi* rangelands of Semnan province. journal of range and watershed management, 64(1): 107-127. (In Persian).

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1396.11.2.1.0]

6. Bayer, C., L. Martin-Neto., J. Mielniczuk., J. Dieckow & T.J.C. Amado, 2006. C and N stocks and the role of molecular recalcitrance and organomineral interaction in stabilizing soil organic matter in a subtropical Acrisol managed under no-tillage. Geoderma, 133 (3-4): 258-268.
7. Benites, V.M., L.O.A. Machado., C.C. Fidalgo., M.R. Coelho & B.E. Madari, 2007. Pedotransfer functions for estimating soil bulk density from existing soil survey reports in Brazil. Geoderma, 139 (1-2): 90-97.
8. Bernoux, M., M.C.S. Carvalho., B. Volkoff & C.C. Cerri, 2002. Brazil's soil carbon stocks. Soil Sciences Society American Journal, 66(3): 888-896.
9. Bicheldey, T.K. & E. Latushkina, 2010. Biogass emission prognosis at the landfills. Int. J. Environ. Sci. Tech., 7 (4): 623-628.
10. Bihamta, M.R. & M.A. Zare chahuki, 2008. Principles of Statistics of Natural Resources. Tehran University Publication, 257p. (In Persian).
11. Brahim, N., D. Blavet., T. Gallali & M. Bernoux, 2011. Application of structural equation modeling for assessing relationships between organic carbon and soil properties in semiarid Mediterranean region. Int. J. Environ. Sci. Tech., 8 (2): 305-320.
12. Chen, D.Z., J.X. Zhang & J.M. Chen, 2010. Adsorption of methyl tert-butyl ether using granular activated carbon: Equilibrium and kinetic analysis. Int. J. Environ. Sci. Tech., 7 (2): 235-242.
13. Chenini, I. & S. Khemiri, 2009. Evaluation of ground water quality using multiple linear regression and structural equation modeling. Int. J. Environ. Sci. Tech., 6 (3): 509-519.
14. Christensen, B.T., 1996. Carbon in primary and secondary organomineral complexes. In structure and organic matter storage in agricultural soils in: Cater, M. R.; Stewart, B. A., (Eds.) 97-165. CRC Press, Boca Raton.
15. Dercova, K., Z. Sejakova., M. Skokanova., G. Barancikova & J. Makovnýkova, 2006. Potential use of organomineral complex (OMC) for bioremediation of penta chlorophenol (PCP) in soil. Int. Biodeter. Biodegr., 58 (3-4): 248-253.
16. Derner, J.D. & G.E. Schuman, 2007. Carbon sequestration and rangelands: A synthesis of land management and precipitation effects, Journal of Soil and Water Conservation, 62: (2): 77-85.
17. Garcia-Pausas, J., P. Casals., L. Camarero., C. Huguet., M.T. Sebastia., R. Thompson & J. Romanya, 2007. Soil organic carbon storage in mountain grasslands of the Pyrenees: effects of climate and topography. Biogeochemistry 82: 279–289.
18. Goyal, P., P. Sharma., S. Srivastava & M.M. Srivastava, 2008. Saraca indica leaf powder for decontamination of Pb: Removal, recovery, adsorbent characterization and equilibrium modeling. Int. J. Environ. Sci. Tech., 5 (1): 27-34.
19. Habibzade, A. M.R. Nikjou & H.R. Peyrovan, 2013. Survey amount of runoff and sediment in Marn East Azerbaijan, journal of geography and planning, 17(43):71-91. (In Persian).
20. Hassink, J., & A.P. Whitmore, 1997. A model for the physical protection of organic matter in soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 61:131-139.
21. Henderson, D.C. B.H. Ellert & M.A. Naeth, 2004. Grazing and soil carbon along a gradient of Albetra rangelands. Journal of range management, 57: 402-410.
22. Hezarjaribi, A., F. Nosrati Karizak., K. Abdollahnezhad & Kh. Ghorbani, 2013. The Prediction Possibility of Soil Cation Exchange Capacity by Using of Easily Accessible Soil Parameters. Journal of Water and Soil. 27(4):712-719. (In Persian).
23. Homann, P.S., J.S. Kapchinske & A. Boyce, 2007. Relations of mineral-soil C and N to climate and texture: regional differences within the conterminous USA. Biogeochemistry, 85(3): 303–316.
24. Hontoria, C., J.C. Rodr´ ıguez-Murillo & A. Saa, 1999. Relationships between soil organic carbon and site characteristics in Peninsular Spain. Soil Science Society of America Journal, 63(3): 614-621.
25. Iranian organization of Forests, rangelands and watershed management, 2004. Report of producing vegetation map of Iran, 130 p. (In Persian).
26. Jafari Haghighi, M., 2003. Analytical methods of soil and the important physical and chemical sampling and analysis, with emphasis on theory and application. Nedaye zoha Publication, 236 p. (In Persian).
27. Joneidi, H. H. Azarnivand., M.A. Zare Chahooki., M. Jafari & S. Nikoo, 2013. Study of the effects of some ecological factors and management practices on carbon sdorage in *Artemisia sieberi* species in rangelands using PCA analyze. Journal of natural environment, 65(4): 451-464. (In Persian).
28. Kalantari, Kh., 2006. Data Processing and analysis in socio- economic research. Sharif Publications, Tehran. 388p. (In Persian).
29. Koutika, L.S., T. Choné., F. Andreux., G. Burtin & C.C., Cerri, 1999. Factors influencing carbon decomposition of topsoils from the Brazilian Amazon Basin. Biology and Fertility of Soils, 28 (4): 436-438.
30. Lal, R., 2002. Soil carbon dynamic in cropland and rangeland. Environment Pollution, 116 (3): 353-362.
31. Lal, R., 2003. Offsetting global CO_2 emissions by restoration of degraded soils and intensification of world agriculture and forestry. Land Degrad. Develop., 14 (3): 309-322.
32. Laverman, A.M., H.R. Zoomer & H.A. Verhoef, 2001. The effect of oxygen, pH and organic carbon on soil-layer specific denitrifying capacity in acid coniferous forest. Soil Biol. Biochem., 33 (4-5): 683-687.
33. Leifeld, J., M. Zimmermann & J. Fuhrer, 2008. Simulating decomposition of labile soil organic carbon: Effects of pH. Soil Biol. Biochem., 40 (12): 2948–2951.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1396.11.2.1.0]

34. Moallemi, S., N. Davatgar & F. Darigh goftar, 2009. Relationship between cation exchange capacity and some soil physical and chemical properitces in Giulan soils. Soil research journal (soil and water sciences). 23 (2):173-179. (In Persian).
35. Motavalli, P.P., C.A. Palm., W.J. Parton., E.T. Elliott & S.D. Frey, 1995. Soil pH and organic C dynamics in tropical forest soils: evidence from laboratory and simulation studies. Soil Biology and Biochemistry, 27(12): 1589–1559.
36. Muller, T., & H. Hoper, 2004. Soil organic matter turnover as a function of the soil clay content: consequences for model applications. Soil Biol Biochem 36:877–888.
37. Nobakht, A., M. Pourmajidian., S.M. Hojjati & A. Fallah, 2011. A comparison of soil carbon sequestration in hardwood and softwood monocultures (Case study: Dehmian forest management plan, Mazandaran). Iranian Journal of Forest, 3(1): 13-23. (In Persian).
38. Okoye, A.I., P.M. Ejikeme & O.D. Onukwuli, 2010. Lead removal from wastewater using fluted pumpkin seed shell activated carbon: Adsorption modeling and kinetics. Int. J. Environ. Sci. Tech., 7 (4): 793-800.
39. Paustian, K., E. Levine., W.M. Post & I.M. Ryzhova, 1997. The use of models to integrate information and understanding of soil C at the regional scale. Geoderma, 79 (1-4): 227-260
40. Prichard, S.J., D.L. Peterson & R.D. Hammer, 2000. Carbondistribution in subalpine forests and meadows of the Olympic Mountains, Washington. Soil Sci Soc Am J 64:1834–1845
41. Quideau, S.A., R.C. Graham, O.A. Chadwick & H.B. Wood, 1998. Organic carbon sequestration under chaparral and pine after four decades of soil development. Geoderma, 83 (3-4): 227-242
42. Randall, E.W., D.S. Mahieu., D.S. Powlson & B.T. Christensen, 1995. Fertilization effects on organic matter in physically fractionated soils as studied by 13C NMR: results from two long-term field experiments. Eur. J. Soil. Sci., 46 (4): 449-459.
43. Rhoton F.E. W.E. Emmerich., D.C. Goodrich., S.N. Miller & D.S. McChesney, 2006. Geomorphological characteristics of a semiarid watershed: influence on carbon distribution and transports. Soil science society of America journal, 70: 1532-1540.
44. Sanger, L.M., J.M. Anderson., D. Little & T. Bolger, 1997. Phenolic and carbohydrate signatures of organic matter in soils developed under grass and forest plantations following changes in land use. Eur. J. Soil. Sci., 48 (2): 311-317.
45. Schimel, D., M.A. Stillwell & R.G. Woodmansee, 1985. Biogeochemistry of C, N and P in a soil catena of short grass steppe. Ecology, 66: 276-282.
46. Schimel D.S., & W.J. Parton, 1986. Microclimatic controls of nitrogen mineralization and nitrification in shortgrass steppe soils. Plant and Soil, 93(3): 347–357.
47. Schjonning, P., & B.T. Christensen, 2006. Physical and chemical properties of a sandy loam receiving animal manure, mineral fertilizer or no fertilizer for 90 years. Eur. J. Soil. Sci., 45 (3), 257-268.
48. Schlesinger, W.H., 2000. Carbon sequestration in soils: some cautions amidst optimism. Agr. Ecosyst. Environ., 82 (1-3): 121-127.
49. Schuman, G.E., J.P. Reeder., J.T. Manley., R.H. Hart & W.A. Manley, 1999. Impact of grazing management on the carbon and nitrogen balance of a mixed-grass rangeland. *Ecol. Appl.* 9: 65-71.
50. Skidmore, E.L., J.B. Layton., B.V. Armbrust & M.L. Hooker, 1986. Soil physical properties as influenced by cropping and residue management. Soil Sci. Soc. Am. J., 50: 415-416.
51. Varamesh, S., S.M. Hosseini., N. Abdi & M. Akbarinia, 2010. Increment of soil carbon sequestration due to forestation and its relation with some physical and chemical factors of soil. Iranian Journal of Forest, 2(1): 25-35. (In Persian).
52. Wang. Sh., X. Wang & Zh. Ouyang, 2012. Effects of land use, climate, topography and soil properties on regional soil organic carbon and total nitrogen in the UpstreamWatershed of Miyun Reservoir, North China. Journal of Environmental Sciences, 24(3): 387–395.
53. Yibing, Q., 2008. Impact of habitat heterogeneity on plant community pattern in Gurbantunggut Desert. Geographical science, 14(4): 447-455pp.
54. Zare abyane, H., S. Vahedi., M. Taheri & H. Bayat, 2013. Evaluating of performance artificial neural network with genetic algirithm and fuzzy logic in infiltration rate estimation of Ghezel Ozan river soils in Zanjan. journal of soil quality. 2(3):1-12. (In Persian).
55. Zare Chahouki, M.A., L. Khalasi Ahvazi & H. Azarnivand, 2010. Environmental factors affecting distribution of vegetation communities in Iranian Rangelands. Vegetos, 23 (2): 1-15.
56. Zornoza, R., J. Mataix-Solera., C. Guerrero., A. Victoria., F. García-Orenes., B. Mataix & A. Morugán, 2007. Evaluation of soil quality using multiple lineal regressions based on physical, chemical and biochemical properties. Sci. Total Environ., 378 (1-2): 233-237.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1396.11.2.1.0]