

بررسی ارتباط کربن آلی رسوب با ویژگی‌های هیدروژنومورفولوژیک حوزه آبخیز (مطالعه موردی: استان اردبیل)

کیوان خرمی^۱، حبیب نظرنژاد^{۲*}، احمد محمودزاده^۳، فرخ اسدزاده^۴، اسماعیل شیدای کرکج^۵

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۰۹)

چکیده

شناخت عوامل مؤثر در ایجاد رسوب، نقش مهمی در درک پدیده فرسایش و عواقب آن داشته و از اصول مهم مدیریت بهینه یک حوزه آبخیز به‌شمار می‌رود. در بررسی ارتباط میان پارامترهای محیطی و هیدروژنومورفولوژیک حوزه آبخیز با فرسایش و رسوب تاکنون بیشتر بر ویژگی‌های کمی رسوبات تأکید شده، در حالی که در این پژوهش ارتباط کربن آلی رسوب به‌عنوان یک شاخص مهم کیفیت با پارامترهای اقلیمی شامل بارندگی متوسط سالانه، دمای میانگین سالانه، توپوگرافی شامل ارتفاع، درصد شیب، جهت شیب و عامل زمین‌شناسی (سازند) در سطح استان اردبیل بررسی شده است. ۹۸ نمونه رسوب پس از جمع‌آوری از سطح محدوده مطالعاتی، در آزمایشگاه به روش والکلی بلک اصلاح‌شده برای استخراج میزان کربن آلی تجزیه و آزمایش شده و با استفاده از روش‌های آماری رگرسیون گام به گام و رگرسیون حداقل مربعات جزئی (PLSR) مورد آنالیز و تحلیل قرار گرفتند. یافته‌های پژوهش نشان داد از میان پارامترهای هیدروژنومورفولوژیک، دو پارامتر جهت شیب و مقاومت سازند نسبت به فرسایش به‌ترتیب با ضرایب رگرسیونی $-0/293$ و $-0/078$ به‌عنوان عوامل تأثیرگذار بر کربن آلی رسوب شناخته شدند که همبستگی و ارتباط معکوسی با آن دارند و جهت شیب تأثیر معنی‌دارتری نسبت به عامل سازند برای تبیین تغییرات کربن آلی رسوب دارد که خروجی هر دو مدل رگرسیونی تقریباً مشابه می‌باشد. بنابراین کربن آلی رسوب علاوه بر کمیت و مقدار رسوبات می‌تواند به‌عنوان شاخصی مهم برای بررسی وضعیت فرآیندهای تخریب و فرسایش حوزه آبخیز و همچنین هدررفت کربن آلی خاک مورد توجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: رگرسیون حداقل مربعات جزئی، رگرسیون گام به گام، کیفیت رسوب، متغیرهای محیطی

خرمی ک.، نظرنژاد ح.، محمودزاده ا.، اسدزاده ف.، شیدای کرکج ا. ۱۴۰۱. بررسی ارتباط کربن آلی رسوب با خصوصیات هیدروژنومورفولوژیک حوزه آبخیز (مطالعه موردی: استان اردبیل). تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۱۰، شماره ۴. صفحه: ۱۱-۲۴.

۱- دکتری تخصصی علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه

۲- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه

۳- دانشیار بازنشسته گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه

۴- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۵- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه

*پست الکترونیک: h.nazarnejad@urmia.ac.ir

مقدمه

فرسایش خاک توسط آب گسترده‌ترین شکل تخریب خاک در سراسر جهان بوده (Maetens *et al.*, 2012; Garcia-Ruiz *et al.*, 2017) و یکی از تهدیدات عمده در فرآیند ارائه خدمات اکوسیستم خاک محسوب می‌شود (Li and Fang, 2016; Prosdocimi *et al.*, 2016; Borrelli *et al.*, 2017) که تأثیر آن در تولید رسوب، هدررفت عناصر غذایی خاک، کاهش حاصل‌خیزی و قابلیت تولید اراضی کشاورزی قابل توجه است. تولید رسوب و نهشته شدن رسوبات از پیامدهای شاخص و پر اهمیت فرسایش خاک بوده (Khaledi Darvishan *et al.*, 2012) که از اثرات اصلی فرآیندهای تخریب سرزمین در حوزه‌های آبخیز به‌شمار می‌رود. رسوبات ذرات سست و ریزی هستند که در اثر تخریب و فرسایش (مواد معدنی) به‌وجود آمده‌اند (Bortone & Palumbo, 2007) و دارای ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی متفاوت از لحاظ ترکیب و نوع ماده آلی، اندازه ذرات و pH می‌باشند (Adesuyi *et al.*, 2016). مقداری از آن می‌تواند حمل و در سطح حوزه آبخیز نهشته شده و یا در نهایت به یک خروجی همانند ایستگاه اندازه‌گیری رسوب برسد (Feiznia., 2018). شناخت مناطق مختلف یک حوزه از نظر وقوع و شدت فرسایش و رسوب در فازهای مختلف مطالعات پایه، همواره یکی از مهم‌ترین اهداف کارشناسان علوم طبیعی بوده و مدیریت صحیح یک حوزه آبخیز نیز مشروط بر شناخت عوامل مؤثر و بررسی رفتار آن‌ها در شرایط متفاوت است (Sadeghi *et al.*, 2011). مطالعات مختلفی تاکنون نشان داده‌اند که فرآیند فرسایش و رسوب، تخریب زمین و هدررفت مواد مغذی خاک ناشی از عوامل متعددی همچون اقلیم، پستی و بلندی، سنگ‌شناسی، تغییر کاربری اراضی و فعالیت‌های انسانی می‌باشد (Hevia *et al.*, 2007; Symeonakis *et al.*, 2007; Xu *et al.*, 2011; Bajocco *et al.*, 2012; Vanwallegem *et al.*, 2012). رسوبی که به دلیل فرسایش در حوزه آبخیز به‌عنوان یکی از محدوده‌های مطالعاتی در هیدروژئومورفولوژی (Ahmadabadi *et al.*, 2015) ایجاد می‌شود، می‌تواند نمایانگر ارتباط عوامل ژئومورفولوژیکی و محیطی با ویژگی‌های رسوب‌شناختی حوزه باشد. مطالعه و

شناخت عوامل تأثیرگذار، نقش مهمی در درک سازوکار فرسایش و رسوب خواهد داشت (Shayan *et al.*, 2013). شناخت عوامل مؤثر در تولید رسوب، نقش مهمی را در تعیین مقدار رسوب یک حوضه و درک پدیده فرسایش و عواقب آن به همراه دارد و می‌تواند در اولویت‌بندی زیرحوضه‌های یک حوزه آبخیز استفاده شود (Motamed & Azari, 2018). ویژگی‌های ژئومورفولوژی، خاک‌شناسی، اقلیم، کاربری اراضی و پوشش زمین ملاحظات مهمی در توسعه برنامه مدیریتی و اجرایی حوزه آبخیز بوده (Borji *et al.*, 2020) که با داشتن آگاهی از این ویژگی‌ها می‌توان تصویر نسبتاً دقیقی از عملکرد کمی و کیفی سیستم فرسایشی، هیدروژئومورفولوژیکی (Honarbakhsh *et al.*, 2019) و مورفولوژیکی حوضه داشت و با توجه به تأثیرگذاری شرایط و عوامل محیطی و فیزیوگرافی بر فرآیندهای رسوبات و تخریب زمین، بررسی روابط بین این ویژگی‌ها و فرآیندها ضروری به‌نظر می‌رسد چرا که ویژگی‌های کمی و کیفی رسوبات در حوزه‌های آبخیز می‌تواند نمایانگر فعل و انفعالات و اثرات متقابل این ویژگی‌ها با شاخص‌ها و عوامل محیطی و هیدروژئومورفولوژی باشد. همچنین درک روابط و الگوی بین پارامترهای محیطی و کمی حوزه آبخیز با ویژگی‌های رسوب‌شناختی می‌تواند در برنامه‌ریزی اقدامات حفاظت آب و خاک و تصمیم‌گیری‌های عملیاتی - اجرایی برای دست‌اندرکاران و ذینفعان جهت مدیریت بهینه سیستم‌های حوزه آبخیز تأثیر به‌سزایی داشته باشد. فرسایش خاک موجب افزایش غنی‌شدگی رسوبات از کربن (Wang *et al.*, 2010)، باعث انتقال و جابجایی آن و تسریع فرآیند معدنی شدن (به‌طور مثال انتشار کربن) می‌شود. وان اوست و همکاران (Van Oost *et al.*, 2007) میزان هدررفت سالانه کربن توسط فرسایش خاک را حدود ۲۶ درصد (سالانه حدود ۰/۱۲ پتاگرم کربن) برآورد نمودند که اهمیت نقش فرسایش خاک را به‌عنوان عامل مهم و اصلی ایجاد دی‌اکسید کربن اتمسفر بیان می‌نماید (Nosrati, 2011). از جمله مهم‌ترین ویژگی‌های کیفی رسوب، کربن آلی رسوب می‌باشد که می‌تواند به‌عنوان شاخصی مؤثر در بررسی وضعیت فرسایش و رسوب، تخریب حوزه آبخیز و سلامت و پایداری اکوسیستم مورد توجه قرار گیرد.

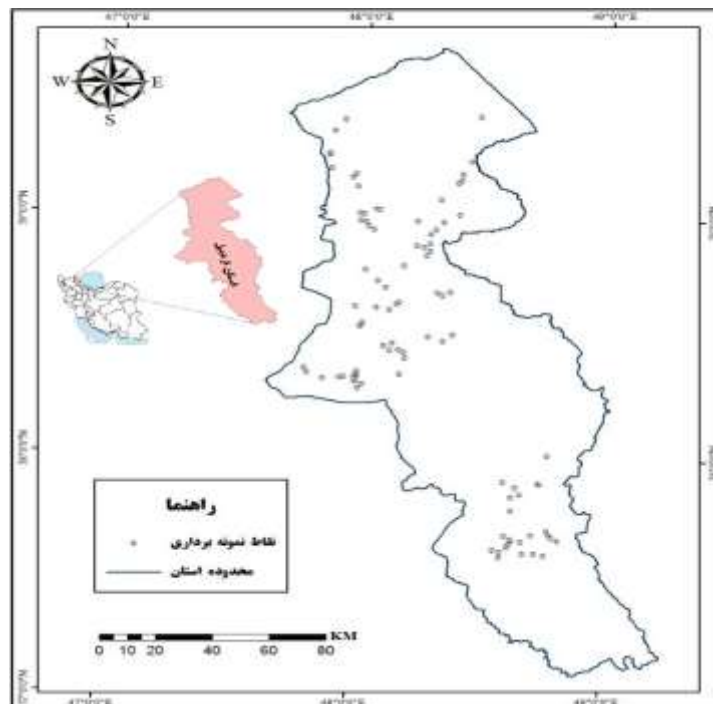
عملیات حفاظت آب و خاک با توجه به ویژگی‌های ژئومورفومتری حوضه می‌تواند باعث تقویت ذخیره‌سازی آب، جلوگیری از هدررفت خاک، کنترل رسوبات و حفظ منابع طبیعی گردد. با توجه به تأثیرگذاری عوامل محیطی بر فرآیندهای رسوبات و تخریب زمین‌زوری به نظر می‌رسد روابط بین این پارامترها و فرآیندها، مورد بررسی قرار گیرند چرا که ویژگی‌های تبیین‌کننده کیفی رسوبات در حوزه‌های آبخیز می‌تواند نمایانگر فعل و انفعالات و اثرات متقابل این ویژگی‌ها با عوامل محیطی و هیدروژئومورفولوژی باشد، هم‌چنین درک روابط و الگوی بین پارامترهای محیطی حوزه آبخیز با ویژگی‌های رسوب‌شناختی می‌تواند در برنامه‌ریزی اقدامات حفاظت آب و خاک و تصمیم‌گیری‌های عملیاتی - اجرایی برای دست‌اندرکاران و ذینفعان جهت مدیریت بهینه سیستم‌های حوزه آبخیز تأثیر به‌سزایی داشته باشد. در پژوهش حاضر، تأکید بیشتر بر مشخص نمودن ارتباط پارامترهای هیدروژئومورفولوژیک با کربن آلی به عنوان یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های کیفیت رسوب می‌باشد که بر پایداری خاکدانه‌ها، استحکام و ثبات ساختمان خاک تأثیر گذاشته و باعث افزایش مقاومت آن در برابر فرآیندهای فرسایشی و تخریب زمین می‌شود. افزون بر این، هدررفت مواد مغذی و آلی خاک از طریق رسوبات می‌تواند منجر به خسارات زیادی به اکوسیستم گردد. تاکنون مطالعاتی که در این زمینه انجام شده متمرکز در حوضه‌های رودخانه‌ای با وسعت کم برای بررسی کیفیت رسوبات معلق بوده، در حالی که در این پژوهش به بررسی برخی از پارامترهای کمی محیطی در مقیاس وسیع زیرحوضه‌هایی از استان اردبیل با مساحتی بالغ بر ۱۷۵۱۵/۲ کیلومتر مربع پرداخته شده و در نهایت ارتباط پارامترهای یاد شده با کربن آلی رسوبات، تحلیل و ارزیابی علمی و آماری شد. علاوه بر آن در اکثر مطالعات و پژوهش‌های انجام شده پیشین، بیشتر کمیّت رسوب و فرسایش مورد بررسی قرار گرفته و ویژگی‌های کیفی رسوب از جمله مواد آلی و کربن آلی به‌عنوان نمادی مهم از هدر رفت مواد مستحکم‌کننده و ثبات‌بخش ساختمان خاک و جلوگیری از فرسایش آن مغفول مانده که در این پژوهش مورد تأکید قرار گرفته است.

حقیان و سالاری (Haghian & Salari, 2018)، عوامل محیطی کنترل‌کننده کربن آلی خاک به‌عنوان یک ویژگی کیفی در مراتع منطقه یانسی گناباد را بررسی نمودند، یافته‌های تحقیق نشانگر نقش زیاد پارامترهای پوشش گیاهی، اقلیمی، بافت خاک و ارتفاع در کنترل کربن آلی خاک در محدوده مطالعاتی بود. شیدای و همکاران (Sheiday *et al.*, 2017)، به تعیین پارامترهای اثرگذار خاکشناسی بر توان ذخیره کربن در اکوسیستم‌های مرتعی آذربایجان شرقی پرداختند. نتایج نشان داد مدیریت صحیح مراتع با حفاظت خاک از فرسایش ذرات ریز و توجه به زهکشی خاک‌ها و جلوگیری از شور شدن آن سبب حفظ پتانسیل ذخیره‌ای کربن در مراتع خواهد شد. لی و همکاران (Li *et al.*, 2020)، اثر تغییرات ویژگی‌های حوزه آبخیز بر کمیّت و کیفیت مواد آلی محلول رسوبات در خلیج جیائوژو (Jiaozhou) چین را مورد بررسی قرار دادند، نتایج تحقیق مبین آن بود که به‌طور کلی ویژگی‌های زیرحوضه‌های آبخیز اثرات قوی-تری بر کیفیت مواد آلی محلول رسوبات نسبت به محتوای آن دارند و این مطالعه بینش جدیدی را مورد کیفیت و محتوای مواد آلی رسوبات فراهم می‌کند. یافته‌های پژوهش محمود آبادی و همکاران (Mahmoodabadi *et al.*, 2021) در مورد بررسی تأثیرپذیری هدررفت کربن آلی و غنی‌شدگی رسوب طی فرسایش بین‌شیاری ناشی از وقوع هم‌زمان باد و باران حاکی از افزایش هدررفت کربن آلی خاک به تبع هدررفت خاک بوده و کنترل هدررفت کربن آلی در گرو کاهش سرعت باد در اراضی کشاورزی می‌باشد. نتایج پژوهش یانگ و همکاران (Yang *et al.*, 2020) در بررسی ارتباط بین ژئومورفولوژی، خاک و رسوب در شمال شرقی فلات تبت چین بیانگر آن است که با ارتباط و اتصال میان ژئومورفولوژی، رسوب‌شناسی، اکولوژی و خاکشناسی می‌توان به گسترش مفهوم توسعه، تکامل و تغییرات لندفرم‌ها و اکوسیستم کمک کرد. آسفاو و ورکینه (Asfaw & Workineh, 2019)، با استفاده از شاخص‌های مورفومتری به تجزیه و تحلیل کمی حوزه‌های آبخیز Ribb و Gumara در اتیوپی، به منظور اجرای صحیح اقدامات و عملیات حفاظت آب و خاک پرداختند. یافته‌های تحقیق نشانگر آن بود که

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سطح استان اردبیل انجام گرفته است (شکل ۱). این استان با مساحتی برابر با ۱۷۵۱۵/۲ کیلومتر مربع در شمال فلات ایران بین عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۴۵ دقیقه و ۳۹ درجه و ۴۲ دقیقه شمالی تا ۴۷ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۵۵ دقیقه طول شرقی در شمال غربی کشور واقع شده است (Spatial Planning of Ardabil Province) (Report, 2019). استان اردبیل از نواحی سردسیر و کوهستانی کشور محسوب شده و از لحاظ اقلیمی تنوع قابل توجهی دارد. میانگین ارتفاع آن بیش از ۱۴۰۰ متر

از سطح دریا بوده و متوسط بارندگی سالانه از ۲۱۰ تا ۲۴۰ میلی‌متر در شمال استان و ۳۵۰ میلی‌متر در مناطق جنوبی تا بیش از ۴۰۰ میلی‌متر در نواحی غربی متغیر بوده و میانگین سالانه دمای هوا هم در محدوده ۷/۹ تا ۱۵/۲ درجه سلسیوس در نوسان می‌باشد (Meteorological Organization of Ardabil Province). تخریب منابع طبیعی همانند جنگل‌ها و مراتع، تغییرات کاربری اراضی و عدم مدیریت صحیح منجر به ایجاد فرسایش و رسوب در نقاط مختلف استان شده که به شکل‌های مختلف فرسایش اعم از فرسایش‌های سطحی، شیبی، آبراهه‌ای، خندقی و سایر اشکال فرسایش با شدت‌های متفاوت نمود پیدا کرده‌اند.



شکل ۱- موقعیت استان اردبیل در کشور و پراکنش جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری
Figure 1. Location of Ardabil province in the country and geographical distribution of sampling points

زمین‌شناسی (سازند) مشخص شده، سپس نقاط نمونه‌برداری رسوب (۹۸ نقطه) بر اساس رعایت تنوع و تغییرپذیری پارامترهای هیدروژئومورفولوژیک و نیز شرایط دسترسی به حوضه و نقطه مورد نظر تعیین شدند که دارای پراکنش مناسب و از مناطق مختلف

برای بررسی ارتباط کربن آلی رسوب با پارامترهای محیطی حوزه آبخیز، ابتدا پارامترهای موثر محیطی شامل متوسط بارندگی سالانه (میلی‌متر)، میانگین دمای سالانه (درجه سلسیوس)، شیب آبراهه (درصد)، جهت آبراهه (درجه)، ارتفاع از سطح دریا (متر) و

استان اردبیل (شهرستان‌های اردبیل، مشگین‌شهر، گرمی، پارس آباد، اصلاندوز، بیله‌سوار، انگوت، نیر، نمین، خلخال و کوثر) بودند. پس از مشخص شدن پارامترهای محیطی و نقاط نمونه‌برداری رسوب، با استفاده از ابزار شیب‌سنج، آزیموت‌سنج و جی پی اس (GPS) به ترتیب ویژگی‌های شیب آبراهه، جهت آبراهه و ارتفاع نقاط مورد نظر به صورت میدانی اندازه‌گیری و ثبت شدند. عامل جهت آبراهه با تبدیل مربوطه کمی-سازی شد. برای به دست آوردن میزان بارش برای هر نقطه نمونه‌برداری از آمار ۱۵ ساله مشترک (۱۳۸۴ - ۱۳۹۹) و همگن ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک، باران‌سنجی و تبخیرسنجی در مجموع به تعداد ۱۲۵ ایستگاه با توزیع نرمال برای پهنه‌بندی بارش‌های مختلف درون‌یابی در سیستم اطلاعات جغرافیایی (ArcGIS 10.3.1) استفاده شد و روش کریجینگ با میزان خطای پایین‌تر نسبت به سایر روش‌ها انتخاب و سپس بر اساس نقشه پهنه‌بندی بارش تهیه شده برای استان میزان بارندگی برای هر نقطه برآورد شد. برای به دست آوردن مقدار دما یا درجه حرارت هم (آمار ۱۵ ساله) از داده‌های ۲۶ ایستگاه سینوپتیک هواشناسی و تبخیرسنجی وزارت نیرو جهت پهنه‌بندی بارش درون‌یابی چندجمله‌ای محلی و برازش مدل رگرسیونی و استخراج رابطه دما استفاده شد و از خروجی نقشه مقدار متوسط درجه حرارت سالانه برای تمامی نقاط نمونه‌برداری در GIS به دست آمد. در مورد عامل زمین-شناسی (سازند) ابتدا نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کاغذی (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور) در محیط نرم افزار ArcGIS زمین مرجع و رقومی، سپس برای هر محل نمونه‌برداری شده رسوب، سازندها و واحدهای زمین‌شناسی - سنگ‌شناختی استخراج و بر اساس جدول طبقه‌بندی حساسیت ذاتی واحدهای سنگ و خاک نسبت به فرسایش (Peyrowan et al., 2012) ارزش‌گذاری کمی شدند (جدول ۱). هم-زمان با اندازه‌گیری پارامترهای محیطی قابل سنجش در عرصه، نمونه‌های رسوب از ۹۸ نقطه با عمق صفر تا پنج سانتی‌متر برداشت و سپس به آزمایشگاه منتقل و با روش والکلی بلک، مقدار کربن آلی رسوبات تعیین شد. ماتریس داده‌های آزمایشگاهی و پارامترهای هیدروژئومورفولوژیک تشکیل و تحلیل آماری نمونه‌ها با استفاده از روش‌های رگرسیون چندمتغیره گام‌به‌گام در محیط SPSS و رگرسیون حداقل مربعات جزئی با افزونه XLSTAT در Excel انجام شد. در روش گام‌به‌گام متغیرها یک به یک وارد مدل شده و متغیری که بیشترین همبستگی را با متغیر وابسته دارد، انتخاب می‌شود. دومین متغیری که وارد تحلیل می‌شود، متغیری است که پس از تفکیک متغیر مقدم بر آن، موجب بیش‌ترین افزایش در ضریب تبیین می‌شود (Habibpour & Safari, 2017). ورود یک به یک متغیرها به مدل تا زمانی انجام می‌شود که معنی‌داری متغیر به ۹۵ درصد برسد و سطح خطا ۵ درصد شود. سپس عملیات متوقف می‌شود (Mansoorfar, 2018). در این روش، کارایی هر مرحله، با آزمون F سنجیده می‌شود. رگرسیون حداقل مربعات جزئی یا PLSR (Partial Least Square Regression) ترکیبی از ویژگی‌های تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی، رگرسیون خطی چندگانه و رگرسیون چندمتغیره است (Zhang et al., 2015) که تخمین‌گرها را به مجموعه کوچک‌تر از اجزای غیرهمبسته تقلیل می‌دهد و حداقل رگرسیون مربعات را بر روی این اجزا انجام می‌دهد. به عبارت دیگر روشی برای ارتباط دو ماتریس داده X و Y توسط یک مدل چند متغیره خطی است که فراتر از یک رگرسیون معمولی بوده و با افزایش تعداد متغیرها و مشاهدات دقت پارامترهای مدل بهبود می‌یابد (Wold et al., 2001).

استان اردبیل (شهرستان‌های اردبیل، مشگین‌شهر، گرمی، پارس آباد، اصلاندوز، بیله‌سوار، انگوت، نیر، نمین، خلخال و کوثر) بودند. پس از مشخص شدن پارامترهای محیطی و نقاط نمونه‌برداری رسوب، با استفاده از ابزار شیب‌سنج، آزیموت‌سنج و جی پی اس (GPS) به ترتیب ویژگی‌های شیب آبراهه، جهت آبراهه و ارتفاع نقاط مورد نظر به صورت میدانی اندازه‌گیری و ثبت شدند. عامل جهت آبراهه با تبدیل مربوطه کمی-سازی شد. برای به دست آوردن میزان بارش برای هر نقطه نمونه‌برداری از آمار ۱۵ ساله مشترک (۱۳۸۴ - ۱۳۹۹) و همگن ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک، باران‌سنجی و تبخیرسنجی در مجموع به تعداد ۱۲۵ ایستگاه با توزیع نرمال برای پهنه‌بندی بارش‌های مختلف درون‌یابی در سیستم اطلاعات جغرافیایی (ArcGIS 10.3.1) استفاده شد و روش کریجینگ با میزان خطای پایین‌تر نسبت به سایر روش‌ها انتخاب و سپس بر اساس نقشه پهنه‌بندی بارش تهیه شده برای استان میزان بارندگی برای هر نقطه برآورد شد. برای به دست آوردن مقدار دما یا درجه حرارت هم (آمار ۱۵ ساله) از داده‌های ۲۶ ایستگاه سینوپتیک هواشناسی و تبخیرسنجی وزارت نیرو جهت پهنه‌بندی بارش درون‌یابی چندجمله‌ای محلی و برازش مدل رگرسیونی و استخراج رابطه دما استفاده شد و از خروجی نقشه مقدار متوسط درجه حرارت سالانه برای تمامی نقاط نمونه‌برداری در GIS به دست آمد. در مورد عامل زمین-شناسی (سازند) ابتدا نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کاغذی (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور) در محیط نرم افزار ArcGIS زمین مرجع و رقومی، سپس برای هر محل نمونه‌برداری شده رسوب، سازندها و واحدهای زمین‌شناسی - سنگ‌شناختی استخراج و بر اساس جدول طبقه‌بندی حساسیت ذاتی واحدهای سنگ و خاک نسبت به فرسایش (Peyrowan et al., 2012) ارزش‌گذاری کمی شدند (جدول ۱). هم-زمان با اندازه‌گیری پارامترهای محیطی قابل سنجش در عرصه، نمونه‌های رسوب از ۹۸ نقطه با عمق صفر تا پنج سانتی‌متر برداشت و سپس به آزمایشگاه منتقل و با روش والکلی بلک، مقدار کربن آلی رسوبات تعیین شد. ماتریس داده‌های آزمایشگاهی و پارامترهای هیدروژئومورفولوژیک تشکیل و تحلیل آماری نمونه‌ها با استفاده از روش‌های رگرسیون چندمتغیره گام‌به‌گام در محیط SPSS و رگرسیون حداقل مربعات جزئی با افزونه XLSTAT در Excel انجام شد. در روش گام‌به‌گام متغیرها یک به یک وارد مدل شده و متغیری که بیشترین همبستگی را با متغیر وابسته دارد، انتخاب می‌شود. دومین متغیری که وارد تحلیل می‌شود، متغیری است که پس از تفکیک متغیر مقدم بر آن، موجب بیش‌ترین افزایش در ضریب تبیین می‌شود (Habibpour & Safari, 2017). ورود یک به یک متغیرها به مدل تا زمانی انجام می‌شود که معنی‌داری متغیر به ۹۵ درصد برسد و سطح خطا ۵ درصد شود. سپس عملیات متوقف می‌شود (Mansoorfar, 2018). در این روش، کارایی هر مرحله، با آزمون F سنجیده می‌شود. رگرسیون حداقل مربعات جزئی یا PLSR (Partial Least Square Regression) ترکیبی از ویژگی‌های تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی، رگرسیون خطی چندگانه و رگرسیون چندمتغیره است (Zhang et al., 2015) که تخمین‌گرها را به مجموعه کوچک‌تر از اجزای غیرهمبسته تقلیل می‌دهد و حداقل رگرسیون مربعات را بر روی این اجزا انجام می‌دهد. به عبارت دیگر روشی برای ارتباط دو ماتریس داده X و Y توسط یک مدل چند متغیره خطی است که فراتر از یک رگرسیون معمولی بوده و با افزایش تعداد متغیرها و مشاهدات دقت پارامترهای مدل بهبود می‌یابد (Wold et al., 2001).

جدول ۱- نوع و امتیازبندی سازندهای زمین‌شناسی نقاط نمونه‌برداری رسوب

Table 1. Type and scoring of geological formations of sediment sampling points

Code	Formation	Score
Ev	Andesiteporphyry and Megaporphyry	3
Etr	Trachyte, Trachyandesite	2.5
Eob	Olivine Basalt, Local Autoclastic Breccia, Pyrite, Tuff	3.5
Sch	Amphibole Schist, Crystallized Limestone with Strip Structure	3.5
Qs1pad	Andesite - Daciteporphyry	3
Eba	Lavas, Basalts, Andesites, Locally Hyaloclastites, with Pillow Lavas	2
Qb	Basalt, Andesite Basalt	2.5
Eebr	Epiclastic Breccia, Local Lavas and Tuffs, Debris Breccia, Clastic	4.5
Ebr	Volcanic Breccia with Pyroxene Andesite, Tephrite and Trachyandesite Fragments.	3.5
Qt2	Young Terraces	8
Qt1	Old Terraces	6
Ep2	Analcime Bearing, Megaporphyritic Trachyandesite and Trachybasalt	3
Qs1ta	Trachyandesite, Trachyporphyry	3
Qtr	Travertine	5
Ef	Shale, Sandstone, Marl, Conglomerate	6
P-Ef	Alternations of thin bedded Sandstone, Shale, Siltstone, Sandy Limestone (Flyshoid)	6
Plqap	Alternations of Clay Silt, Gravel, Sand and Volcanic Ash	7.5
Ean	Alternations of Andesitic Lavas, Andesite Basalt, Andesite, Basalt with Vitric Tuff	3
Ngms	Alternations of Gray and Red Gypsiferous Marl with Gray Sandstone and Intercalations of Conglomerate	6.5
M1	Alternations of Marl and Clay Silt with Layers of Sandstone and Dolomitic Limestone	6.5
Omz4	Alternation of Sandstone with Silt and Clay	6
E4	Alternation of Tuffic Sandstone, Clay, Silt and Tuffy Sand	5.5
Qs3af	Pumice Breccia Tuff and Ash Flows	7.5
Ed2	Dacite, Ignimbrite	3.5
Ed1	Dacite, Ignimbrite, Trachyandesite	3.5
Ku1	Wide and Thick Gray Orbitoid Limestone	3.5
Omz2	Colorful Silt Stones with Thin Layers of Sandstone	6
E1	Silty Shale, Sandstone, Agglomerate	5.5
Qc	Conglomerate and Clay	5.5
Ec	Conglomerate, Breccia and Thick Layered Tuff Sandstones	3.5
Osc	Pelagic Conglomerate with Alternations of Shale and Sandstone Beds	5
E3b	Pyroxene Basalt Lava	2
Ebp	Tephrite – Andesite Pillow Lavas	3
Ep1	Porphyritic Latite Lava Flows	3
Ep1a	Megaporphyry Lavas, Dacite, Dacite andesite	3
Epa3	Megaporphyry Lavas, Latite, Trachyandesite	3
Ep	Latite Megaporphyry	3
Q1	Lahar	9
Oms	Saliniferous, Gypsiferous Red Marl with Alternations of Sandy Marland Light Colour Sandstone	7
Omz5	Thick Layered Tuff Sandstone	5.5
Omz3	Thick tuff sandstone with layers of shale inside	5.5
Es1	Thin-Layered Tuff Sandstones and Micro Conglomerates	5
Es2	Sandstone, Marl, Conglomerate, Breccia	5.5
Om	Monzonite, Quartz Monzonite, Granodiorite	3

نتایج و بحث

قالب جدول و نمودار ارائه شده است. جدول ۲، آمار توصیفی شامل حداقل، حداکثر، میانگین و انحراف معیار متغیرها را نشان می‌دهد.

آزمون‌های آماری با استفاده از روش‌های رگرسیون گام به گام و حداقل مربعات جزئی انجام گرفت که نتایج در

جدول ۲- آمار توصیفی متغیرهای محیطی

Table 2. Descriptive Statistics of Environmental Variables

Variable	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	CV %
Elevation (meter)	173.00	2603.00	1299.11	503.05	38.72
Slope (%)	2.00	45.00	14.95	9.79	65.48
Aspect	0.26	3.12	1.74	0.79	45.40
Formation	2.00	9.00	5.43	1.92	35.36
Precipitation (mm)	222.54	403.87	316.43	48.96	15.47
Temperature (°C)	4.71	15.54	10.99	2.19	19.93
OC (%)	0.12	3.75	0.98	0.75	76.53

تنوع مختلف تغییرات پارامترهای هیدروژئومورفولوژیک بر شرایط پژوهش است و می‌تواند تغییرات متغیر وابسته و ارتباط آن با سایر متغیرها را بهتر تبیین نماید. جداول ۳ و ۴، نتایج مدل‌های تشکیل شده حاصل از روش رگرسیون گام‌به‌گام را نشان می‌دهد که به ترتیب در هر مرحله از تشکیل مدل متغیرهایی که بیشترین همبستگی را با متغیر وابسته دارند باقی می‌مانند و سایر پارامترها حذف می‌شوند. در این پژوهش پارامترهای جهت شیب و نوع سازند یا سنگ‌شناسی محدوده مورد مطالعه که به صورت امتیازبندی کمی از لحاظ مقاومت یا حساسیت‌پذیری در برابر فرسایش که منجر به تولید رسوب می‌شوند در تشکیل مدل نهایی رگرسیون گام به گام مشارکت داشتند.

نتایج ضریب تغییرات (CV) پارامترهای محیطی نشان می‌دهد که بیش‌ترین میزان پراکندگی داده‌ها در متغیرهای مستقل مربوط به عامل شیب با ۶۵/۴۸ درصد ضریب تغییرات و بارندگی سالانه با ضریب تغییرات ۱۵/۴۷ درصد دارای کم‌ترین مقدار پراکنش است. متغیر وابسته کربن آلی رسوب نیز نشان‌دهنده ضریب تغییرات بالا (۷۶/۵۳ درصد) و تنوع داده‌ای مناسب است. در مجموع، بررسی ضریب تغییرات و مقایسه متغیرها بیانگر آن است که اکثر متغیرهای مستقل و وابسته محیطی دارای پراکنش مناسب داده‌ای و نمونه‌برداری است که از لحاظ بررسی ارتباط و اثرگذاری تغییرات پارامترهای محیطی بر نرخ کربن آلی رسوب، حائز اهمیت فراوان است و حاکی از حاکم بودن

جدول ۳- مدل‌های تشکیل شده رگرسیون گام به گام در مراحل مختلف ورود متغیرها

Table 3. Formed Models of Stepwise Regression in Different Stages of Entering Variables

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Aspect	.	Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter \leq .050, Probability-of-F-to-remove \geq .100).
2	Formation	.	Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter \leq .050, Probability-of-F-to-remove \geq .100).

Dependent Variable: OC (%)

جدول ۴- نتایج مدل‌سازی روش رگرسیون گام به گام

Table 4. Results of Stepwise Regression Method Modeling

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	1.431	0.179		8.014	0.000		
	Aspect	-0.256	0.094	-0.268	-2.730	0.008	1.000	1.000
2	(Constant)	1.918	0.300		6.401	0.000		
	Aspect	-0.293	0.094	-0.307	-3.114	0.002	0.961	1.040
	Formation	-0.078	0.039	-0.198	-2.007	0.048	0.961	1.040

روی پارامترهای کیفیت خاک، به خصوص کربن آلی به عنوان یکی از مهم ترین پارامترهای کیفیت بایستی در اقدام به برنامه ریزی مناسب مورد توجه قرار گیرد (Maleki et al., 2013). نتایج تحقیق گارسیا و همکاران (Lozano-Garcia et al., 2016) تأکید می کند که بایستی در مدل های تخمین کربن آلی در مقیاس محلی و منطقه ای جهت توپوگرافیک (شیب) گنجانده شود. بیمر و همکاران (Yimer et al., 2006) در تحقیق خود به این نتیجه دست یافتند که جهت های گوناگون شیب، به علت تفاوت در میکروکلیم و پوشش گیاهی باعث تغییرات قابل توجه میزان کربن آلی و ذخیره نیتروژن می شوند. باقری فام و همکاران (Bagherifam et al., 2013) نیز موقعیت و جهت شیب را به عنوان عوامل مهم تغییرات کربن آلی خاک و محیط مطرح نمودند. در مورد حساسیت پذیری سازندها در برابر فرسایش و رابطه آن با کربن آلی رسوب نتایج این پژوهش نشان می دهد، سازندهایی که مقاومت کمتری در برابر فرسایش دارند همانند سازندهای مارنی، گچی، شیل، انیدریت و سایر سازندهای سست مناطقی با پوشش گیاهی ضعیف، خاک کم عمق با مواد معدنی، مغذی و آلی کم، شکننده در برابر نیروهای فرساینده بوده و با این که تولید و حمل رسوبات بیشتری داشته (کمیت و مقدار رسوب با روند افزایشی) ولی در مقابل، میزان کربن آلی و ماده آلی در رسوبات (کیفیت رسوب) روند کاهشی دارند و هر چه مقاومت سازندها نسبت به فرسایش کم تر گردد میزان کربن آلی کاهش پیدا می کند، در واقع در مناطق فرسایش پذیر به دلیل کاهش تراکم پوشش گیاهی و فعالیت کم تر میکروارگانیسم های خاک، میزان ماده آلی و به تبع آن پایداری و چسبندگی خاکدانه ها کم تر بوده و رسوبات حاصل از فرسایش در این مناطق، کربن آلی کمتری دارند. نتیجه پژوهش نصرتی (Nosrati, 2011) نشان داد که میزان ذخیره کربن آلی در اثر از بین رفتن پوشش گیاهی، کاهش می یابد. خلیفه زاده و همکاران (Khalifehzadeh et al., 2018) در پژوهش خود پیشنهاد نمودند که با توجه به ارتباط کربن آلی خاک با حاصلخیزی و میزان مقاومت خاک در برابر فرسایش مدل توزیع مکانی کربن آلی، به عنوان یک زیرمدل مهم در طراحی سایر مدل ها از جمله فرسایش و رسوب مورد

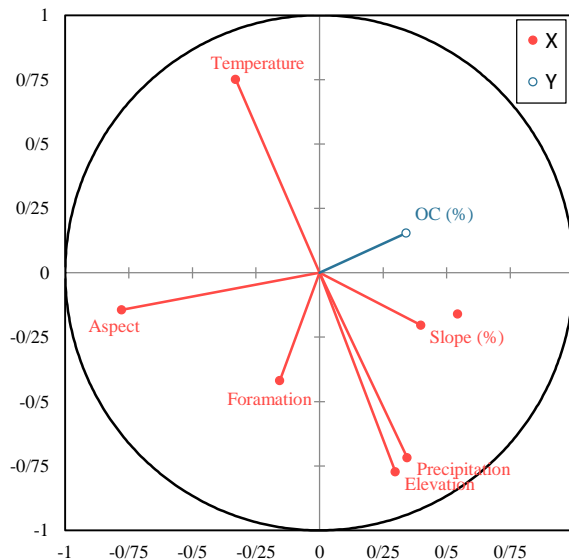
نتایج حاصل از مدل دوم رگرسیون گام به گام (جدول ۴) بیان گر آن است که ضرایب تأثیر رگرسیونی استاندارد نشده (B) -0.293 و 0.078 - و ضرایب تأثیر رگرسیونی استاندارد شده 30.7% (β) - و 0.198 - به ترتیب برای متغیرهای جهت شیب و سازند در سطح معنی داری کوچک تر از 0.01 ($p < 0.01$) و در سطح معنی داری کوچک تر از 0.05 ($p < 0.05$) معنی دار است که رابطه خروجی نهایی مدل رگرسیونی به این صورت می باشد: رابطه (۱)

$$OC = 1.918 - 0.293 * Aspect - 0.078 * Formation$$

عامل تورم واریانس (VIF) و پارامتر تحمل هم نشان دهنده هم خطی پایین بین متغیرهای باقی مانده در مدل می باشد. علامت منفی ضرایب هم دلالت بر همبستگی معکوس متغیرهای مستقل باقیمانده با متغیر وابسته کربن آلی رسوب دارند. به طور کلی خروجی ضرایب و عوامل مدل این پژوهش نشان می دهد که متغیرهای مستقل جهت شیب و سازند بر متغیر وابسته کربن آلی رسوب مؤثرند و بهتر می توانند واریانس یا تغییرات کربن آلی را بیان نمایند. تفسیر نتایج مدل حاکی از همبستگی معکوس جهت شیب و حساسیت پذیری سازند با کربن آلی رسوب است. در این مدل با افزایش مقدار جهت شیب و شمالی تر شدن آن میزان کربن آلی رسوب کاهش و هر چه جنوبی تر شود افزایش پیدا می کند. دامنه های رو به شمال به علت این - که کم تر در معرض نور خورشید قرار می گیرند، از رطوبت بیشتر، خاک عمیق تر، حاصل خیزتر و پوشش - گیاهی غنی تری نسبت به دامنه های رو به جنوب برخوردارند (Maleki & Mosayebi, 2011) و به تبع آن نرخ فرسایش و رسوب کمتری دارند و در نتیجه هدررفت ماده آلی و کربن آلی خاک در اثر فرسایش و حمل رسوبات از دامنه ها به خروجی حوزه های آبخیز و آبراهه ها کاهش پیدا کرده و کربن آلی در رسوبات کم تر است. شوکلا و لال (Shukla & Lal, 2005) در پژوهش خود به این نتیجه دست یافتند که میزان ذخیره کربن آلی در لایه سطحی خاک به ترتیب در خاک های فاقد فرسایش، رسوبات و خاک های فرسایش یافته (متوسط و شدید) کاهش می یابد که به دلیل تأثیر فرسایش بر کاهش کربن آلی می باشد. با توجه به اثر جهت شیب

رسوب) را نشان می‌دهد که طول بردار بیان‌گر شدت اثر بیشتر پارامتر محیطی بر کربن آلی رسوب و کسینوس زاویه بین بردار متغیر وابسته با بردار متغیرهای مستقل محیطی حاکی از داشتن همبستگی یا عدم همبستگی بین آنها است. در مجموع، خروجی نمودار نشان‌دهنده ارتباط و همبستگی معکوس دو عامل حساسیت‌پذیری سازند در برابر فرسایش و جهت شیب آبراهه با واریانس کربن آلی رسوب با در نظر گرفتن کسینوس زوایای این دو پارامتر نسبت به پارامتر وابسته می‌باشد و اثرگذاری جهت شیب آبراهه با توجه به طول بردار، نسبت به سازند بیشتر است.

استفاده قرار گیرد. در بعضی از تحقیقات کاهش غنی-شدگی کربن آلی با افزایش غلظت رسوب گزارش شده (Shi & Schulin, 2018) که به انتقال انتخابی ذرات ریز غنی از کربن آلی در قدرت جریان‌های کم، مرتبط دانسته شده است (Koiter *et al.*, 2017). اشکال ۲ و ۳ خروجی‌های مدل رگرسیون حداقل مربعات جزئی (PLSR) می‌باشد که نتایج این مدل نیز همانند روش رگرسیون گام به گام بر تأثیرگذار بودن دو عامل سازند و جهت شیب بر تغییرات کربن آلی رسوب در بستر آبراهه‌های زیرحوزه‌های آبخیز می‌باشد. شکل ۳، نمودار دو وجهی (بای‌پلات) نحوه ارتباط متقابل میان متغیرهای مستقل محیطی با متغیر وابسته (کربن آلی

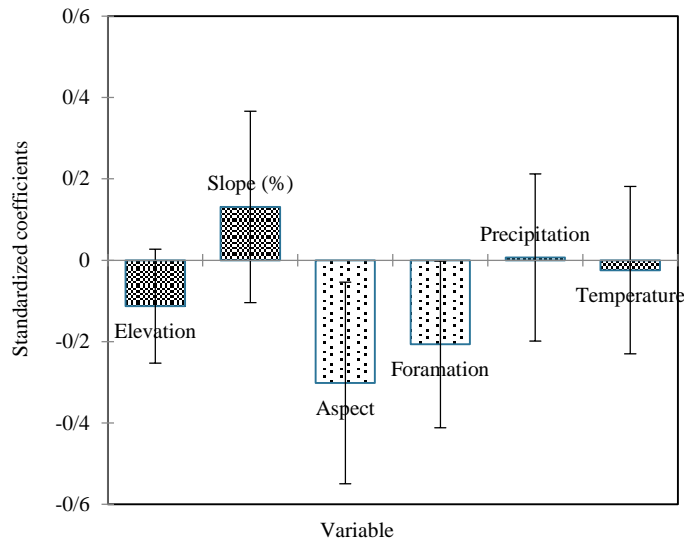


شکل ۲ - نمودار دو وجهی ارتباط پارامترهای محیطی با کربن آلی رسوب - مدل رگرسیون حداقل مربعات جزئی

Figure 2. Diagram of the Relationship between Environmental Parameters and Sediment Organic Carbon - PLSR Model

نشان داده می‌شود و بر حسب بتای استاندارد متغیرها مشخص می‌گردد دو پارامتر جهت آبراهه و سازند با کربن آلی رسوب همبستگی داشته و جهت آبراهه نسبت به سازند اثرگذاری بیشتری دارد که با نتایج رگرسیون گام به گام و دیاگرام شکل ۲ مشابهت دارد.

شکل ۳ نیز ارتباط متغیرها با ضرایب استاندارد شده مدل (β) یا به عبارت دیگر میزان فواصل اطمینان ضرایب استاندارد رگرسیون حداقل مربعات جزئی (PLSR) را نشان می‌دهد که فواصل اطمینان (با استفاده از نتایج بوت استرپ) بر روی ضرایب پارامترها



شکل ۳- نمودار ارتباط متغیرهای مستقل با ضرایب استاندارد مدل رگرسیونی حداقل مربعات جزئی
 Figure 3. Chart of Relationship between Independent Variables and Standardized Coefficients of the PLSR Model

نتیجه‌گیری کلی

یافته‌های پژوهش نشان داد، ویژگی‌های کیفی رسوبات نیز می‌تواند به‌عنوان یک شاخص مهم و مناسب برای بررسی وضعیت حوزه آبخیز از لحاظ سلامت و پایداری اکوسیستم، تخریب سرزمین و برای برنامه‌ریزی‌های حفاظت خاک و کنترل فرسایش و رسوب در سطح حوزه آبخیز مد نظر قرار گیرد. یکی از مهم‌ترین مؤثرترین شاخص‌های کیفیت خاک و رسوب، کربن آلی می‌باشد که نقش آن در استحکام و پایداری خاکدانه‌ها حائز اهمیت فراوان است. در این پژوهش بر اساس خروجی مدل‌های رگرسیونی از میان پارامترهای هیدروژنومورفولوژیک، دو پارامتر جهت شیب و مقاومت سازند نسبت به فرسایش به عنوان عوامل تأثیرگذار بر کربن آلی رسوب شناخته شدند که همبستگی و ارتباط وارونه با آن دارند و جهت شیب تأثیر معنی‌دارتری نسبت به عامل سازند برای تبیین تغییرات کربن آلی رسوب دارد که نتایج تحقیقات متعدد بر اثرگذاری این عامل تأکید دارند. نتایج تحقیق مؤید آن است که با اصلاح دامنه‌های جنوبی با عملیات مختلف حفاظتی

همچون افزایش تراکم پوشش گیاهی می‌توان از هدررفت ماده آلی و کربن آلی خاک جلوگیری کرده و باعث تثبیت و پایداری ساختمان خاک و کنترل فرسایش و رسوب شد و مناطقی که حساسیت‌پذیری بالایی نسبت به فرسایش دارند نیز بایستی عملیات بیولوژیکی و حفاظت خاک در آن صورت گیرد. برای درک بهتر الگوی روابط پارامترهای محیطی با ویژگی‌های کیفی رسوب بهتر است سایر ویژگی‌های کیفی رسوب و همچنین پارامترهای محیطی دیگر در مطالعات وارد شود تا به صورت بهینه بتوان اثرات متقابل پارامترها را در شرایط طبیعت بررسی و نمایان کرد، چرا که بررسی هر یک از پارامترها به تنهایی شاید منجر به بروز تناقضات در تفسیر روابط محیطی گردد و مدنظر قرار دادن توأم سایر عوامل به بهبود درک مفهوم فرآیندهای فرسایش و رسوب و ارتباط با محیط پیرامون در سطح حوزه آبخیز کمک خواهد نمود، علاوه بر آن با بررسی غنی‌شدگی رسوبات از کربن آلی و ارتباط آن با تغییرات ماده آلی خاک نیز می‌توان هدررفت کربن آلی خاک را بهتر مورد ارزیابی قرار داد.

References

- Adesuyi A., Ngwoke M., Akinola M., Njoku K. and Jolaoso A. 2016. Assessment of physicochemical characteristics of sediment from nwaja creek, Niger Delta, Nigeria. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 4:16-27.
- Ahmadabadi A., karam A., Pourbashir M. 2015. Hydrogeomorphology analysis of hydrological response units (HRU) in the Ardebil's Gare-Soo basin. *Applied Geomorphology of Iran*, 3 (5):59-73. (In Persian)
- Asfaw D., Workineh G. 2019. Quantitative analysis of morphometry on Ribb and Gumara watersheds: Implications for soil and water conservation, *International Soil and Water Conservation Research*, 7(2): 150-157.
- Bagherifam S., Karimi A., Lakzian A., Izanloo A. 2013. Effects of land use management on soil organic carbon, particle size distribution and aggregate stability along hill slope in semi-arid areas of northern Khorasan. *Journal of water and soil conservation*, 20(4): 51 – 73. (In Persian)
- Bajocco S., De Angelis A., Perini L., Ferrara A., Salvati L. 2012. The impact of land use/land cover changes on land degradation dynamics: a Mediterranean case study. *Environmental Management*, 49 (5): 980–989.
- Borji M., Nazari Samani A.A., Rashidi Sh., Tiefenbacher J.P. 2020. Catchment-scale soil conservation: Using climate, vegetation, and topo-hydrological parameters to support decision making and implementation. *Science of the Total Environment*, 712, 136124.
- Borrelli P., Robinson D.A., Fleischer L.R., Lugato E., Ballabio C., Alewell C., Meusburger K., Modugno S., Schutt B., Ferro V., Bagarello V., Van Oost K., Montanarella L., Panagos P. 2017. An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nature Communications*, 8: 1 – 13.
- Bortone G., Leonardo p. 2007. Sediment and Dredged Material Treatment (Ed.) Sustainable Management of Sediment Resources – Book series (Volume 2), Elsevier, pp. 1 – 58.
- Feiznia S. 2018. Applied sedimentology, 1st Ed. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources Press, Iran, 364 p. (In Persian)
- García-Ruiz J. M., Beguería S., Lana-Renault N., Nadal-Romero E., Cerdà A. 2017. Ongoing and Emerging Questions in Water Erosion Studies. *Land Degradation and Development*, 28(1): 5– 21.
- Habibpour K., Safari R. 2017. Comprehensive Manual for Using SPSS in Survey Researches. 7th Ed. Motafakeran Press, Tehran, 861 p. (In Persian)
- Haghian I., salari A. 2018. Investigating environmental factors controlling soil organic carbon in rangelands of arid regions (case study: Yansi region of Gonabad). *Journal of Water and Soil Conservation*, 25(3): 281-289. (In Persian)
- Hevia G.G., Mendez M., Buschiazzi D.E. 2007. Tillage affects soil aggregation parameters linked with wind erosion. *Geoderma*, 140(1): 90-96.
- Honarbaksh A., Niazi A., soltani S., tahmasebi P. 2019. Modeling the relationship between suspended sediments and hydrological and environmental characteristics of a basin (case study: basin of Dez Dam). *Quantitative Geomorphological Research*, 8(1): 105-117. (In Persian)
- Khaledi Darvishan A., Sadeghi S., Gholami L. 2011. 'Effects of Erosion Sensitivity and Different Land Uses on Morphometric Characteristics of Bed Sediments (Case Study: Vazrood River)'. *Water and Soil Science*, 21(4): 139-151. (In Persian)
- Khalifezadeh R., Tamartash R., Tatian M., Sarajian Maralan M. 2018. An estimation of topsoil organic carbon by combining factor analysis and multiple regression in semi-steppe rangelands of Lazour, Firouzkoh. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 25(3): 699-712. (In Persian)
- Koiter A. J., Owens P. N., Petticrew E. L., Lobb D. A. 2017. The role of soil surface properties on the particle size and carbon selectivity of interrill erosion in agricultural landscapes. *Catena*, 153: 194-206.
- Li M., Kong F., Li Y., Dong Y., Zhang J., Xi M. 2020. Impact of sub-watershed characteristics and changes on sediment DOM quantity and quality over Jiaozhou Bay. *Ecological Indicators*, 118, 106777.
- Li Z., Fang H. 2016. Impacts of climate change on water erosion: A review. *Earth - Science Reviews*, 163: 94 – 117.

- Lozano-García B., Parras-Alcántara L., Brevik E.C. 2016. Impact of topographic aspect and vegetation (native and reforested areas) on soil organic carbon and nitrogen budgets in Mediterranean natural areas. *Science of the Total Environment*, 544: 963-970.
- Maetens W., J. Poesen J., Vanmaercke M. 2012. How effective are soil conservation techniques in reducing plot runoff and soil loss in Europe and the Mediterranean. *Earth - Science Reviews*, 115(1-2): 21 – 36.
- Mahmoodabadi M., Zamani S., Yazdanpanah N. 2021. Organic carbon loss and sediment enrichment during interrill erosion influenced by simultaneous wind and rain. *Watershed Engineering and Management*, 13(1): 13-28. (In Persian)
- Maleki M., Mosayebi M. 2011. Cartography of watersheds. 1st Ed. Hazrat Abbas Press, 224 P. (In Persian)
- Maleki S., Khormali F., Kiani F., Karimi A. 2013. Effect of slope position and aspect on some physical and chemical soil characteristics in a loess hillslope of Toshan area, Golestan Province, Iran. *Journal of Water and Soil Conservation*, 20(3):93-112. (In Persian)
- Mansourfar K. 2018. Advanced Statistical methodes: using applied software. 5th Ed. Tehran University Press, 480 p. (In Persian)
- Meteorological Organization of Ardabil Province Portal (<http://www.ardebilmet.ir/to/3-eglim.htm>).
- Motamedi R., Azari M. 2018. The Relationship between Geomorphic Characteristics and Watershed Sediment Yield: A Case of Selected Subwatersheds of Khorasan Razavi. *E.E.R*, 7 (4): 82-101. (In Persian)
- Nosrati K. 2011. The Effect of Land use and Soil Erosion on Soil Organic Carbon and Nitrogen Stock. *E.E.R*, 1 (3): 127-140. (In Persian)
- Peyrowan H., Bayat R., Shariat jafari M., Jafari A. 2012. Classification and studying of erodibility rates of geological formations of watershed basins of Iran, Watershed Basins Atlas Project. Soil Conservation and Watershed Management Research Center of Iran, 239 p. (In Persian)
- Prosdociami M., Jordán A., Tarolli P., Keesstra S., Novara A., Cerdà A. 2016. The immediate effectiveness of barley straw mulch in reducing soil erodibility and surface runoff generation in Mediterranean vineyards. *Science of the Total Environment*, 547: 323 – 330.
- Sadeghi S., Zarif Moazam M., Mirnia S. 2011. Effect of Slope Steepness and Aspect on Surface Runoff and Sediment Yield from Experimental Small Plots in Kojour Watershed. *Water and Soil*, 25(3): 583 – 592. (In Persian)
- Shayan S., Zare GH. R., Yamani M., Sharifikia M., Sultanpour M. 2013. Analysis of the trend of statistics changes in the discharge and sediment of the Mend watershed and its application in environmental planning. *Applied Geomorphology*, 1(2): 50-37.
- Sheidai Karkaj E., Sepehry A., Barani H., Motamedi J. 2017. Soil organic carbon reserve relationship with some soil properties in East Azerbaijan rangelands. *Journal of Rangeland*, 11(2): 125 – 138. (In Persian)
- Shi P., Schulin R. 2018. Erosion-induced losses of carbon, nitrogen phosphorus and heavy metals from agricultural soils of contrasting organic matter management. *Science of the Total Environment*, 618: 210-218.
- Shukla M.K., Lal R. 2005. Erosional effects on soil organic carbon stock in an on-farm study on Alfisols in west central Ohio. *Soil and Tillage Research*, 81: 173-181.
- Spatial Planning of Ardabil Provincef Analysis of watersheds and sub-watersheds report. 2019. Ardabil Province Program and Budget Organization, 214 p (In Persian).
- Symeonakis E., Calvo-Cases A., Arnau E. 2007. Land use change and land degradation in Southeastern Mediterranean Spain. *Environmental Management*, 40 (1): 80–94.
- Van Oost K., Quine T.A., Govers G., De Gryze S., Six J., Harden J.W., Ritchie J.C., McCarty G.W., Heckrath G., Kosmas C., Giraldez J.V., Marques Da Silva J.R., Merckx R. 2007. The impact of agricultural soil erosion on the global carbon cycle. *Science*, 318: 626 – 629.
- Vanwalleghem T., Gómez J.A., Infante Amate J., González de Molina M., Vanderlinden K., Guzmán G., Laguna A., Giráldez J.V. 2017. Impact of historical land use and soil management change on soil erosion and agricultural sustainability during the Anthropocene. *Anthropocene*, 17: 13–29.

- Wang Y., Fu B., Lü Y., Song C., Luan Y. 2010. Local-scale spatial variability of soil organic carbon and its stock in the hilly area of the Loess Plateau, China. *Quaternary Research*, 73: 70-76.
- Wold S., Sjöström M. Eriksson, L. 2001. PLS-regression: a basic tool of chemometrics. *Chemometrics and intelligent laboratory systems*, 58(2): 109-130.
- Xu Y., Luo D., Peng J. 2011. Land use change and soil erosion in the Maotiao River watershed of Guizhou Province. *Journal of Geographical Sciences*, 21, 1138.
- Yang F., Zhang G.L., Sauer D., Yang F., Yang R.M., Liu F., Song X.D., Zhao Y.G., Li D.C., Yang J.L. 2020. The geomorphology – sediment distribution – soil formation nexus on the northeastern Qinghai-Tibetan Plateau: Implications for landscape evolution. *Geomorphology*, 354, 107040.
- Yimer F., Ledin S., Abdelkadir A. 2006. Soil organic carbon and total nitrogen stocks as affected by topographic aspect and vegetation in the Bale Mountains, Ethiopia. *Geoderma*, 135: 335-344.
- Zhang H. Y., Shi Z. H., Fang N. F., Guo M. H. 2015. Linking watershed geomorphic characteristics to sediment yield: Evidence from the Loess Plateau of China. *Geomorphology*, 234, 1.

Investigation of the Relationship between Sediment Organic Carbon and Hydrogeomorphological Characteristics of the Watershed (Case Study: Ardabil Province)

Keivan Khorrami¹, Habib Nazarnejad^{2*}, Ahmad Mahmoodzadeh³, Farrokh Asadzadeh⁴, Esmaeil Sheidai-Karkaj⁵

(Received: July 2021

Accepted: October 2021)

Abstract

Recognition of effective Parameters in sediment Production has an important role in understanding the phenomenon of erosion and its consequences and is one of the important principles of optimal management of a watershed. In the study of the relationship between watershed environmental and hydrogeomorphological parameters with erosion and sediment, the quantity and amount of sediment has been considered so far, while in this research, has been studied the relationship between important climatic parameters including average annual rainfall, average annual temperature, altitude, slope, aspect and geological factor (formation) with sediment organic carbon as an important parameter and qualitative indicator in some of the Ardabil province watersheds. 98 samples of sediment after collecting from the study area, were analyzed in the laboratory by Walkley - Black method to extract the amount of organic carbon, then performed statistical analyze on samples using stepwise regression and partial least squares regression (PLSR) models. Findings showed that among the hydrogeomorphological parameters, slope and formation with regression coefficients of - 0.293 and -0.078, respectively, were identified as factors affecting the sediment organic carbon, so that both parameters have an inverse correlation with the sediment organic carbon and aspect parameter is more effective than the formation and output of both regression models is almost the same. Therefore, sediment organic carbon, in addition to the quantity and amount of sediments, can be considered as an important indicator for studying the degradation processes, watershed erosion and loss of soil organic carbon.

Keywords: Environmental Variables, Organic Carbon, PLSR, Sediment, Stepwise Regression

Khorrami K., Nazarnejad H., Mahmoodzadeh A., Asadzadeh F. and Sheidaykarkaj E. 2023. Investigation of the relationship between sediment organic carbon and hydrogeomorphological characteristics of the watershed (case study: ardabil province). *Applied Soil Research*, 10(4): 11-24.

1. Ph.D. of Watershed Management Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, Urmia University

2. Associate Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University

3. Retired Associate Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University

4. Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University

5. Assistant Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University

* Corresponding Author Email: h.nazarnejad@urmia.ac.ir