19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025

نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۱ تا ۱۳ آذر ۱۴۰۴

مدیریت جامع‌نگر و هوشمند خاک و آب
Holistic and Smart Soil and Water Management
دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

رابطه بار رسوب با ویژگی‌های فیزیکی حوزه‌های آبخیز استان اردبیل

سعید صفری[۱]، علی‌رضا واعظی[۲]، حسین شهاب آرخازلو[۳]

۱. دانشجو دکتری فیزیک و حفاظت خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان؛* (s1366saeed@gmail.com)
۲. استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان
۳. دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

چکیده

عوامل مؤثر در رسوب حوزه آبخیز در شرایط اقلیمی و زمین‌شناسی حوضه متفاوت است. با توجه به اهمیت رسوب حوضه‌ها در مناطق نیمه‌خشک، بررسی روابط بین ویژگی‌های فیزیکی حوزه‌های آبخیز با رسوب سالانه نقش مهمی در مهار تولید رسوب دارد. هدف این پژوهش بررسی رابطه میان بار رسوب و ویژگی‌های فیزیکی حوزه‌های آبخیز در استان اردبیل بود. ابتدا شش حوزه آبخیز که دارای ایستگاه هیدرومتری و رسوب‌سنجی بودند، شناسایی و آمار و داده‌های رسوب و میزان بارندگی از ادارات مربوطه گرفته شد. نتایج نشان داد کمترین و بیشترین بار رسوب در حوزه‌های آبخیز به ترتیب ۰/۵ و ۴/۸۳ تن در روز است. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین بار رسوب حوزه آبخیز با عامل شکل (هورتون) وجود دارد ($p<۰/۰۵$ و $r=۰/۸$). مقدار ضریب عامل شکل از ۰/۲۳تا ۰/۶۶ تغییر می‌کند. براساس یافته‌های این پژوهش امکان ارائه‌ی روابط تجربی برای پیش‌بینی رسوب در مناطق نیمه‌خشک وجود دارد که می‌تواند در روش‌های زیستی و سازه‌ای برای مهار رسوب استفاده شود.

واژگان کلیدی: حوزه آبخیز، رسوب، ضریب شکل، مناطق نیمه‌خشک.

مقدمه

تولید رسوب یکی از پیامدهای مهم فرسایش خاک است. هر سال هزاران تن خاک حاصلخیز از اراضی مختلف کشور، در اثر فرسایش از دسترس خارج شده و با انباشت در مناطق رسوبگذاری، موجب بروز خسارات قابل ملاحظه‌ای می‌شوند. (صدوق و همکاران، ۱۳۹۴). رسوب به اشکال مختلف مانند غلتشی، خزشی، جهشی و معلق، جهشی توسط جریان انتقال می‌یابد. مواد در مجاورت بستر غالباً به شکل غلتشی، خزشی و جهشی انتقال می‌یابند و به آن بار بستر گفته می‌شود. به کل موادی که به صورت معلق در آب توسط رود انتقال می‌یابند بار معلق می‌گویند. مقدار بار معلق با دور شدن از سطح آب و نزدیک شدن به کف بستر به‌طور جزئی افزایش پیدا می‌کند. مجموع بار بستر و بار معلق، بار رسوب نامیده می‌شود (واعظی، ۱۳۹۸). برآورد رسوب معلق از موارد ضروری در اتخاذ روش‌های مدیریت بهتر زمین و آب در حوزه‌های آبخیز است. انتقال رسوب در رودخانه-ها دارای اثرات منفی مانند پرشدن مخزن و تغییر در خصوصیات کانال است و ممکن است رسوبات حاصل از دامنه‌ها و مناطق کوچک در شبکه رودخانه‌ها و یا کانال‌های آبیاری تجمع یابند. علاوه بر این باعث کاهش بهره‌وری و همچنین آلودگی منابع آب می‌شود (اسفندیاری درآباد و همکاران، ۱۴۰۱). بررسی و تخمین شدت فرسایش و میزان تولید رسوب به منظور نگهداری منابع آب و خاک در زیر حوزه‌های آبخیز ضروری است.

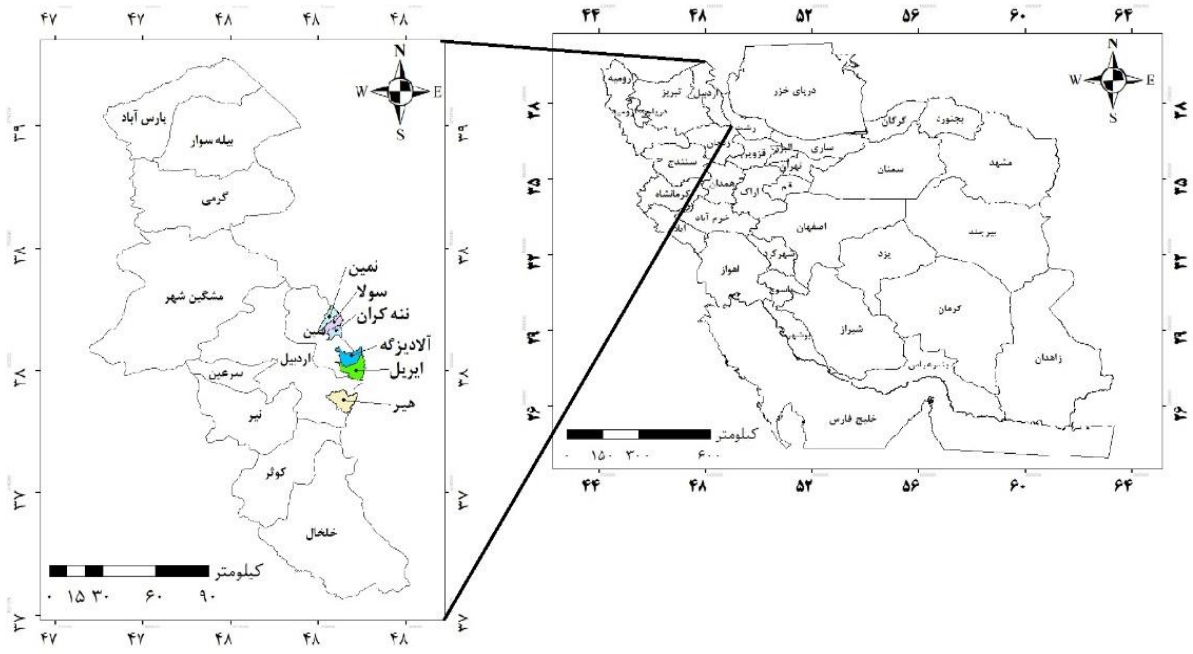
عواملی مانند شرایط اقلیمی و پوشش گیاهی بر میزان تولید رسوب در حوزه‌های مورد مطالعه مؤثر هستند. پیش‌بینی جامع رسوب بر اساس مطالعه کوهن در مقیاس جهانی توسط مدل تعادل آب و بار رسوب انجام می‌شود که مهمترین ورودی‌های این مدل شامل عوامل انسانی، پوشش یخ، سنگ‌شناسی، رسوب مخزن، دما و دبی روزانه است (Cohen, et al, 2013). عملکرد

بار معلق در یک حوزه آبخیز از طریق فرآیندهای فیزیکی مانند جداسازی خاک، حمل و نقل و رسوب رخ می‌دهد (Cheng, et al, 2017). محققان در پژوهشی به مدل‌سازی رابطه بین میزان بار رسوب معلق با ویژگی‌های ژئومورفیکی حوضه رودخانه قرانقو پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مقدار رسوب تولیدی با حجم جریان و ضریب فرم حوضه، همبستگی مثبت داشته و چهار عامل مساحت، محیط، طول و ضریب فرم حوضه، ۹۲/۲ درصد از واریانس تمامی متغیرهای پژوهش را تبیین می‌کنند (اصغری و قلعه، ۱۳۹۹).

این پژوهش با تمرکز بر شش حوزه آبخیز مجهز به ایستگاه‌های هیدرومتری و رسوب‌سنجی انجام شد. هدف اصلی این پژوهش، شناسایی و تحلیل همبستگی بین ویژگی‌های ژئومورفیک و بار رسوب در حوزه‌های آبخیز استان اردبیل بود تا بتوان روابط تجربی برای پیش‌بینی رسوب در مناطق نیمه‌خشک ارائه داد. این روابط می‌توانند در روش‌های زیستی و سازه‌ای برای مدیریت و کنترل فرسایش خاک و تولید رسوب در حوزه‌های آبخیز مورد استفاده قرار گیرند.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در حوزه‌های آبخیز استان اردبیل در مختصات جغرافیایی بین ۳۷ درجه و ۱۱ دقیقه تا ۳۹ درجه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۵۵ دقیقه طول شرقی انجام گرفت. استان اردبیل از نظر طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن دارای آب و هوای سرد و نیمه‌خشک محسوب می‌شود و مقدار بارش‌های آسمانی در استان اردبیل به‌طور متوسط بین ۲۵۰ تا ۶۰۰ میلیمتر در سال در بخش‌های مختلف استان در نوسان است. داده‌های رسوب ایستگاه‌های رسوب‌سنجی از شرکت مدیریت منابع آب اردبیل و بارندگی روزانه ایستگاه‌های باران‌سنجی از اداره کل هواشناسی استان اردبیل شد. در شکل ۱ موقعیت منطقه مطالعاتی و حوزه‌های آبخیز نشان داده شده است.



شکل۱_ موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان اردبیل

برای بررسی ویژگی‌های فیزیکی حوضه از شاخص‌هایی مختلفی از جمله ضریب شکل، ضریب گراویلیوس، شیب حوضه، مساحت حوضه، طول حوضه، شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده استفاده شد. پرکاربردترین معیار پوشش گیاهی، شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده است که با استفاده از فناوری سنجش از دور به دست می‌آید. این شاخص معرف انعکاس انرژی خورشیدی از سطح زمین است که انواع شرایط پوشش گیاهی را نشان میدهد. مقادیر NDVI[1] بین -۱ و +۱ در نوسان است. زمانی که پاسخ طیفی اندازه‌گیری شده از سطح زمین برای هر دو باند خیلی مشابه باشد، مقادیر NDVI به صفر نزدیک می‌شود. مقادیر NDVI برای پوشش گیاهی سبز مثبت خواهد شد. (Huete, 1988).

ضریب گراولیوس، که بیانگر نسبت محیط حوضه به محیط دایره هم سطح آن می‌باشد، از طریق رابطه زیر تعیین شد (استرالر، ۱۹۶۴):

$$C= 0.28 \times P /\sqrt{A} \quad (۱)$$

در رابطه بالا C ضریب گراولیوس، P محیط حوضه برحسب کیلومتر و A مساحت حوضه برحسب کیلومترمربع است.

عامل شکل یا ضریب شکل حوزه آبخیز با شکل مربع مقایسه می‌گردد. هر قدر مقدار ضریب به یک نزدیکتر باشد، شکل حوضه آبریز به مربع نزدیکتر بوده و هر قدر این ضریب کوچکتر باشد شکل حوضه کشیده‌تر خواهد بود. مقدار این ضریب در روش هورتن با استفاده از رابطه (۲) ارزیابی می‌گردد (هورتون، ۱۹۳۲):

$$R=A/L^2 \quad (۲)$$

در رابطه بالا R عامل شکل، L طول حوضه برحسب کیلومتر و A مساحت حوضه بر حسب کیلومترمربع است.

شیب حوزه‌های آبخیز با استفاده از تقسیم اختلاف ارتفاع (کمترین و بیشترین ارتفاع) بر مجذور مساحت حوضه‌ها و طول حوضه‌ها با استفاده از نرم افزار گوگل ارث تعیین شدند. برای محاسبه شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده از تصاویر ماهواره‌ای و همچنین از نرم افزار ArcGis استفاده شد. به منظور بررسی روابط بین بار رسوب و ویژگی حوزه‌های آبخیز از روش ماتریس همبستگی (پیرسون) استفاده شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم افزار SPSS نسخه ۲۱ استفاده شد.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج بدست آمده، شیب حوزه‌های آبخیز از ۱۲/۱۷ تا ۲۱/۰۱ درصد و طول حوضه‌ها از ۷/۳۹ متر تا ۱۳/۳ متر متغیر است. شاخص پوشش گیاهی از ۰/۴۲ تا ۰/۶۷ و ضریب شکل از ۰/۲۳ تا ۰/۶۶ بدست آمد. میانگین بارندگی منطقه مورد مطالعه ۳۲۵/۸۵ میلی‌متر است که براساس طبقه بندی اقلیمی عمدتاً جزو مناطق نیمه‌خشک محسوب می‌شوند.

جدول ۱_ شاخص‌های آماری ویژگی‌های حوزه‌های آبخیز

مشخصات حوزه‌های آبخیز	کمترین	بیشترین	میانگین

[1]- Normalized Difference Vegetation Index

رسوب (تن/روز)	۰/۵	۴/۸۳	۲/۶۶
شیب (درصد)	۱۲/۱۷	۲۱/۰۱	۱۵/۸۲
مساحت (کیلومترمربع)	۳۴/۶۱	۹۳/۴۹	۵۲/۰۹
طول حوزه آبخیز(کیلومتر)	۷/۳۹	۱۳/۳	۱۱/۰۶
ضریب شکل	۰/۲۳	۰/۶۶	۰/۴۵
ضریب گراولیوس	۱/۳۳	۱/۵۶	۱/۴۵
شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده	۰/۴۲	۰/۶۷	۰/۵۸
بارندگی (میلی‌متر)	۱۸۹/۹۰	۵۴۰	۳۲۵/۸۵

جدول ۲ نتایج ماتریس همبستگی بار رسوب و ویژگی‌های حوزه آبخیز را نشان می‌دهد. بار رسوب حوزه‌های آبخیز همبستگی مثبت و معنی‌داری با ضریب شکل (هورتون) دارد ($p<0/05$ و $r=0/80$) که با نتایج مطالعات معتمدی و آذری (۱۳۹۶) مطابقت دارد. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که پارامترهای ژئومورفیکی همبستگی بالایی با میزان رسوب سالانه دارد و می‌تواند در پیش‌بینی رسوب استفاده شود. از این میان، پارامترهای مربوط به شکل حوضه شامل ضریب فرم حوضه، کشیدگی حوضه و شاخص شکل حوضه به ترتیب با ضریب همبستگی ۷۶/۸، ۷۶/۵ و ۷۲ درصد، بیشترین همبستگی را با رسوب حوضه‌ها داشته‌اند(معتمدی و آذری، ۱۳۹۶). براساس شاخص‌های شکل محاسبه شده، بیشتر زیرحوضه‌ها مورد مطالعه به شکل کشیده هستند. شکل حوضه می‌تواند تکامل رودخانه و آبراهه‌های حوضه را تحت تأثیر قرار دهد که این بر حجم رواناب و رسوب حوضه مؤثر است.

جدول ۲_ همبستگی بار رسوب و ویژگی‌های حوزه آبخیز

ویژگی	مساحت	بارندگی	شیب	طول	شاخص پوشش گیاهی	ضریب گراولیوس	ضریب شکل	بار رسوب
مساحت	۱							
بارندگی	۰/۱۲	۱						
شیب	۰/۲۶	-۰/۵۰	۱					
طول حوزه آبخیز	-۰/۶۳	-۰/۵۳	۰/۰۲	۱				
شاخص پوشش گیاهی	-۰/۸۹**	-۰/۳۸	۰/۰۹	۰/۷۵*	۱			
ضریب گراولیوس	-۰/۴۶	-۰/۴۹	-۰/۳۱	۰/۸۹**	۰/۴۸	۱		
ضریب شکل	۰/۸۷*	۰/۰۴	-۰/۲۰	۰/۶۲	۰/۷۱	۰/۴۲	۱	
بار رسوب	-۰/۸۹**	۰/۰۶	-۰/۶۵	۰/۶۱	۰/۶۵	۰/۶۲	۰/۸۰*	۱

**معنی‌دار در سطح احتمال ۹۹ درصد و * معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد

همان‌طور که در جدول (۲) مشاهده می‌شود، رابطه بین ضریب شکل (هورتون) و بار رسوب با ضریب تعیین (R^2) ۰/۶۴ و در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. در منطقه مورد مطالعه براساس شاخص‌های شکل محاسبه شده، بیشتر حوضه‌ها مورد مطالعه به شکل کشیده است. درویشان و میرزایی (۱۳۹۵)، در حوضه‌های استان مازندران نیز نشان داد که طول مستطیل، ضریب فرم حوضه در کنار متوسط بارندگی سالانه و درصد شیب، از پارامترهای مهم با همبستگی بالا با میزان رسوب حوضه هستند. نتایج تحلیل مولفه‌های اصلی نشان داد که چهار عامل مساحت ، طول آبراهه اصلی، زمان تمرکز و ضریب کشیدگی به ترتیب با ۳۷/۲۳ درصد، ۲۴/۷۳ درصد، ۱۶/۹۵ درصد و ۹/۸۴ درصد از واریانس تمامی متغیرهای پژوهش را تبیین می‌کنند که نشان می‌دهد ۴ عامل مذکور بیش از ۸۸ درصد تولید رسوب در حوضه قره‌سو را بر عهده دارند (قلعه و همکاران، ۱۴۰۳).

نتیجه‌گیری

با توجه به ارزیابی‌هایی که از رابطه بار رسوب با ویژگی‌های ژئومورفیک حوزه آبخیز استان اردبیل انجام گرفت بار رسوب همبستگی مثبت و معنی‌داری با ضریب شکل (هورتون) داشت. با این وجود روابط معنی‌داری بین بار رسوب و شاخص پوشش گیاهی، شیب حوضه، طول حوضه و میزان بارندگی یافت نشد. بررسی‌های انجام شده نشان داد که بیشتر حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه در این پژوهش به دلیل داشتن ضریب شکل پایین، به‌صورت کشیده هستند. این ویژگی می‌تواند منجر به افزایش زمان تمرکز جریان و در نتیجه تأثیر بر میزان رسوب تولیدی شود. نتایج این پژوهش امکان ارائه روابط تجربی برای پیش‌بینی میزان رسوب در مناطق نیمه‌خشک را تأیید می‌کند. این روابط می‌توانند به‌عنوان ابزاری مؤثر در برنامه‌ریزی و اجرای روش‌های زیستی (مانند احیای پوشش گیاهی) و سازه‌ای (مانند ساخت سدهای رسوب‌گیر) برای کنترل فرسایش خاک و کاهش تولید رسوب مورد استفاده قرار گیرند. علاوه بر این، شناسایی عوامل کلیدی مانند ضریب شکل حوضه می‌تواند به مدیران و سیاست‌گذاران حوزه منابع طبیعی کمک کند تا مناطق بحرانی و حساس به فرسایش را شناسایی کرده و استراتژی‌های مدیریت پایدار منابع آب و خاک را بهبود بخشند.

فهرست منابع

۱- اسفندیاری درآباد، ف.، مصطفیزاده، ر.، پاسبان، ح. و نظافت تکله، ب. (۱۴۰۱). تلفیق شاخص‌های زمینی و پوشش گیاهی برای برآورد و شناسایی خطر فرسایش خاک در حوضه آبخیز عموقین اردبیل. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، دوره ۹، شماره ۹۶-۷۷.

۲- اصغری، ص. و قلعه، ا. (۱۳۹۹). بررسی رابطه بین ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی و تولید رسوب (مطالعه موردی: حوضه قرانقو در استان آذربایجان شرقی). پژوهش‌های ژئومورفولوژیکی کمی، ۸(۳)، ۱۴۶-۱۶۴.

۳- خلجی، م.، و ابراهیمی، ع.، (۱۳۹۴). ارزیابی کیفیت آب دریاچه سد زاینده رود در فصول پاییز و زمستان. اولین همایش ملی کیفیت منابع آب و توسعه پایدار، اراک.

۴- درویشان، ع. و میرزایی، س. (۱۳۹۵). امکان سنجی تخمین پارامترهای منحنی‌سنجه رسوب با استفاده از ویژگی‌های فیزیکی و ریخت‌سنجی در حوزه‌های آبخیز فاقد آمار. دوازدهمین کنفرانس ملی علوم و مهندسی مدیریت حوضه‌های آبخیز. ۷۸۴-۷۷۵.

۵- صدوق، س. ح.، حسین‌زاده، م.م. و آزادی، ف. (۱۳۹۲). پهنه‌بندی فرسایش در حوضه‌ی آبخیز کهمان با استفاده از سه مدل EPM، Fargas و BLM. هیدروژئومورفولوژی. (۲): ۱۳۷-۱۵۴.

۶- قلعه، ا.، اصغری سراسکانرود، ص.، اسفندیاری، ف. و زینالی، ب. (۱۴۰۳). بررسی عوامل کنترل‌کننده رسوب معلق رودخانه قره‌سو در استان اردبیل با استفاده از تحلیل مولفه‌های اصلی و رگرسیون چند متغیره. پژوهش‌های فرسایش محیطی، ۱۴(۱)، ۴۲-۵۹.

۷- معتمدی، ر. و آذری، م. (۱۳۹۶). رابطه بین ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی و رسوب‌گذاری حوضه آبخیز (مطالعه موردی: زیرحوضه منتخب خراسان رضوی). تحقیقات فرسایش محیطی ایران. ۲۸(۴):۸۲-۱۰۱.

۸- واعظی، ع. (۱۳۹۸). فرسایش آبی: فرآیندها و مدل‌ها، انتشارات دانشگاه زنجان. ۴۵۳صفحه.

9- Cheng, NN. He. H. M. Yang. S.Y. Lu. Y. J. Jing. Z.W. (2017). Impacts of topography on sediment discharge in Loess Plateau. China. Quaternary International. 440(2): 119-129 .

10-Cohen. S. Kettner. A.J. Syvitski. J.P.M. Fekete. B.M. (2013). WBMsed. a distributed global- scale riverin sediment flux model: Model description and validation. Computers Geosciences Journal. 53(5): 80-93.

11- Horton RE, (1932). Drainage basin characteristics, Transactions, American Geophysical Union 13: 350–361. Kelarestaghi A, Ahmadi H, Esmali A, Jafari M, Ghodosi J, 2011. Comparison of runoff and sediment yield from different agricultural treatments. Iran Watershed Science and Engineering, 2(5): 41–52.

12- Huete, A.R. (1988). A soil adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sensing of Environment, 295- 309.

13- Strahler AN, (1964). Quantitative geomorphology. Handbook of Applied Hydrology, New York, USA 3: 232. Sriwongsitanon N, Taesombat W, 2011. Effects of land cover on runoff coefficient. Journal of Hydrology 410: 226–238.

The relationship between sediment load and geomorphological characteristics of the watersheds in Ardabil Province

Saeed Safari[1], Ali Reza Vaezi[2], Hossain Shahab Arkhazloo[3]

1- PhD Student of Soil Physics and Conservation, Faculty of Agriculture, University of Zanjan.
2- Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan.
3- Associate Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili.

Abstract

Factors influencing watershed sedimentation vary depending on the climatic and geological conditions of the basin. Given the importance of basin sediment deposition in semi-arid regions, examining the relationship between watershed physical characteristics and annual sediment yield plays a significant role in controlling sediment production. The aim of this research was to investigate the relationship between sediment load and the physical characteristics of watersheds in Ardabil province. First, six watersheds with hydrometric and sedimentological stations were identified, and sediment and rainfall data were obtained from the relevant departments.The results showed that the minimum and maximum sediment loads in the studied watersheds were 0.5 and 4.83 tons per day, respectively, and the Horton shape factor varied from 0.23 to 0.66 meters. There is a significant positive correlation between the sediment load of the watershed and the shape factor (Horton) ($p<0.05$ and $r=0.8$). Based on the findings of this research, it is possible to provide empirical relationships for predicting sediment in semi-arid regions, which can be used in biological and structural methods for sediment control.

Keywords: Watershed, Sediment, Shape Factor, Semi-arid Regions.