



ارزیابی فرسایش‌پذیری سازندها از طریق مورفوسکوپی رسوبات معرف رودخانه‌ای (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سجادرود)

مجتبی یمانی^۱، حمید عمونیا^۲، منصور خیری‌زاده اروق^۳

چکیده

میزان فرسایش‌پذیری سنگ‌ها به مقاومت آن‌ها وابسته است. در یک حوزه آبخیز، مقاومت سنگ‌ها و مساحتی که هر کدام به خود اختصاص می‌دهند، یکسان نیست. بدیهی است، حساسیت سازندها در برابر فرسایش و وسعت رخنمون آن‌ها تعیین‌کننده میزان تولید رسوب در آن حوزه می‌باشد. در این پژوهش به بررسی فرسایش‌پذیری سازندهای حوزه آبخیز رودخانه سجادرود در برابر فرسایش پرداخته شده است. روش تحقیق، توصیفی-تحلیلی و مبتنی بر روش‌های میدانی و کتابخانه‌ای است. جهت تعیین حساسیت سازندها در مقابل فرسایش، ابتدا از پایین‌دست و حوالی خروجی حوزه، ۲۰ نمونه رسوب به روش انتخابی-تصادفی برداشت شده است. این نمونه‌ها پس از آماده‌سازی در آزمایشگاه، به روش مورفوسکوپی بر حسب جنس به هفت گروه اصلی به عنوان سنگ‌های معرف حوزه تفکیک شده است. سپس با استفاده از نقشه‌های رقومی توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و همچنین تصاویر ماهواره‌ای لندست و تعیین حدود حوزه بر روی آن‌ها، پهنه‌های تحت پوشش هر سازند مشخص و مساحتی شده است. در مرحله بعد، نمونه‌های رسوب تفکیک شده، با نقشه‌ها تطبیق داده شده است. در این خصوص، از طریق تطبیق پهنه‌های همگن، قابلیت فرسایش‌پذیری سنگ‌های هر گروه و پهنه، مشخص و گسترش هر یک در قالب نرم‌افزار Arc GIS بر روی نقشه انتقال داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که فرسایش‌پذیری در سازندهایی که جنس آن‌ها آهک و ماسه‌سنگ است، بیشتر می‌باشد. آهک و ماسه‌سنگ، بخشی از تناوب سازندهای لار و شمشک را تشکیل می‌دهند و به دلیل وسعت رخنمون سطحی، بیشتر در معرض فرسایش بوده و حجم بیشتری از دبی رسوب حوزه را شامل می‌شوند. با این وجود سنگ‌های سیلت و شیل علیرغم داشتن درجه سختی پایین‌تر، ولی به دلیل رخنمون کمتر در سطح حوزه رسوب کمتری را تولید می‌کنند.

واژه‌های کلیدی:

فرسایش‌پذیری، منشأیابی، تولید رسوب، حوزه سجادرود

۱ - دانشیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران Email: myamani@ut.ac.ir

۲ - کارشناس ارشد رشته ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

۳ - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز



Scientific-Research Quarterly Journal Of
Environmental Erosion Researches
Vol. 2, No. 7, autumn 2013, pp: 17-28

Assessment of formations erodibility through reagent alluvial sediments morphoscopy (Case study: Sajjadrud basin)

Yamani M.^۱, Amoniya H.^۲, Kheirizadeh Arough M.^۳

Abstract

Erodibility of basin formations is depends on their resistance versus of erosion. In a basin are not the same stones, their resistance and covering area. Obviously, formations sensitivity versus of erosion are determining rate of sediment production in a river. In this research has been analysis formation erodibility versus of erosion in the Sajjadrud basin. Research methods are descriptive–analytical and based on field and library methods. In order to determination of formation sensitivity versus of erosion, initially from downstream and around output of basin, were taken 20 samples with selected-randomly method. The samples after of preparing in the laboratory with morphoscopic and morphometric methods based on kind of stone have been separated to seven main groups. Then basin was delimited using of digital topographical map with scale of 1: 50000 and geological map with scale of 1: 100000 and also Landsat satellite image, then covering extent by each formation has been identified and survey. In the next stage separated samples of sediments has been adapted with maps. In this regard, according to adaptation homogeneous area, has been determined erodibility of stones each any group and area. Then has been transferred extent any area on the map with Arc GIS software. Results shows that erodibility in formation that their kind is limestone and sandstone, have maximum amount and shows volume of degradation in the basin. Lar and Shemshak formations have the largest percentage of limestone and sandstone; therefore are the most erodibility formations in the basin. Also, shale and silt stone, respectively have less erodibility in the basin.

Keywords:

Erodibility, Originating, Sediment Productive, Sajjadrud Basin

^۱ Associate Prof. Faculty of Geography, University of Tehran, Email: myamani@ut.ac.ir

^۲ Student of Geomorphology, University of Tehran

^۳ PhD Student of Geomorphology, Tabriz University

۱- مقدمه

به طور متوسط سالانه ده میلیارد تن مواد رسوبی توسط رودخانه‌های دنیا حمل می‌گردد و در حوزه‌های رسوبی از قبیل سدها، دریاچه‌ها، دریاها، پلایاها و یا در زیرمحیط‌های مختلف خود سیستم رودخانه‌ای مانند درون کانال، کانال‌های متروکه، دشت‌های سیلابی و... نهشته می‌گردند (امینی، ۱۳۷۹). اغلب رسوبات رودخانه‌ها از منطقه تولید در قسمت‌های بالادست حوزه منشأ می‌گیرند. این رسوبات از طریق فرآیندهای مختلف فرسایش مانند تخریب و هوازدگی، فرسایش یخچالی، مجاور یخچالی و فرسایش جانبی در اختیار رودخانه‌ها قرار می‌گیرند (رو چالرتون^۱، ۲۰۰۸). بنابراین، با نمونه‌برداری از رسوبات در پایین‌دست رودخانه‌ها، می‌توان سازندها را از نظر فرسایش‌پذیری در سطح حوزه مورد بررسی قرار داد و از این طریق به پهنه‌بندی حوزه از نظر فرسایش اقدام کرد. از آنجا که یکی از مهم‌ترین مسائل حوزه‌های آبخیز، مسئله فرسایش می‌باشد. بنابراین، بحث فرسایش‌پذیری سازندهای حوزه و شناخت نوع و مقاومت آنها در برابر فرسایش اهمیت پیدا می‌کند. فرسایش خاک از مهم‌ترین و گسترده‌ترین مسائل جهانی است که هم تهدید محسوب می‌گردد و هم به از بین رفتن زمین‌های حاصلخیز کشاورزی منجر می‌گردد (لایو^۲ و همکاران، ۲۰۰۸).

فرسایش، حمل و رسوب‌گذاری رسوبات رودخانه‌ای در داخل حوزه‌های آبخیز از فرآیندهای اصلی سطح زمین می‌باشند که بر روی ژئومورفولوژی کانال رودخانه، دشت‌های سیلابی و دلتاهای آبرفتی تأثیرگذار می‌باشند (پنک^۳ و همکاران، ۲۰۱۰). بنابراین، توجه به فرسایش و منشأیابی آن بسیار مهم می‌باشد. ضرورت این امر زمانی بیشتر احساس می‌شود که یافته‌های این نوع تحقیقات در پروژه‌های عمرانی همچون سدسازی و طرح‌های کاربردی نظیر طرح‌های آبخیزداری مورد استفاده قرار می‌گیرد (ابراهیم‌خانی، ۱۳۸۸).

از روش‌های معمول در زمینه جمع‌آوری اطلاعات منابع رسوب می‌توان به پین‌ها و پلات‌های فرسایشی، بررسی از طریق عکس‌ها و مشاهدات صحرایی و اندازه‌گیری بار رسوبی در انتهای زیرحوزه‌های آبخیز اصلی برای تعیین اهمیت آنها در تولید رسوب اشاره کرد. استفاده از این روش‌ها معمولاً با مشکلات نمونه‌گیری مکانی و زمانی و تنگناهای اجرایی و هزینه‌های زیاد همراه می‌باشد. به دلیل همین مشکلات، استفاده از منشأیابی مورد توجه محققین قرار گرفته است. این روش برخلاف روش‌های سنتی، با مرتبط کردن منابع رسوب به رودخانه و تولید رسوب به طور مستقیم سهم منابع رسوب را مشخص می‌کند (حکیم‌خانی و احمدی، ۱۳۸۷). از دیگر علل توجه به استفاده از روش منشأیابی، عدم کارایی برای کاربرد گسترده و دقت نه چندان مطلوب سایر روش‌ها و مدل‌های برآورد تولید رسوبات است، که فاقد قابلیت در منشأیابی رسوبات و تعیین سهم مشارکت واحدهای سنگی مختلف در تولید رسوب در حوزه‌های آبخیز می‌باشند. بررسی منشأ رسوبات رودخانه‌ها در قسمت انتهایی یک حوزه آبخیز می‌تواند کمک مؤثری در تشخیص مناطق حساس به فرسایش باشد (خوش‌اقبال، ۱۳۸۵) و در مدیریت مناطق حساس فرسایشی بسیار کارآمد باشد (هوفس^۴ و همکاران، ۲۰۰۹) و خسارات ناشی از فرسایش را کاهش دهد.

با استفاده از روش منشأیابی می‌توان اقدام به طبقه‌بندی مقدار تولید رسوبات بر اساس نوع سازندهای زمین‌شناسی (واحدهای سنگی) و تعیین سهم مشارکت هر یک از آنها در تولید رسوب و تهیه نقشه پهنه‌بندی مناطق تولید رسوبات در حوزه‌های آبخیز نمود. از این طریق می‌توان راهکارهای عملی مهار فرسایش را در راستای کاهش رسوب‌دهی حوزه‌های آبخیز، در طرح‌های آبخیزداری که هدف آنها جلوگیری یا کاهش انباشت رسوبات در مخازن سدهای ذخیره‌ای، رودخانه‌ها، کانال‌های آب‌رسانی و اراضی زراعی و کمپینه نمودن فرسایش خاک با استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی در مدیریت منابع طبیعی در جهت ایجاد الگوی مناسب مدیریتی حفظ منابع موجود است، عملی کرد (برزویی و همکاران، ۱۳۸۴). از آنجا که در اکثر حوزه‌های آبخیز، سواحل

۱ Ro Charlton

۲ Liu

۳ penk

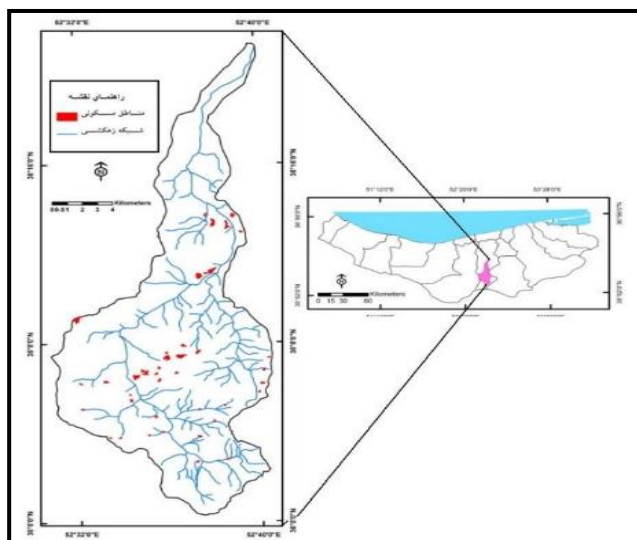
۴ Hughes

رودخانه‌ای و گالی‌ها از جمله عوامل مهم در رسوب‌زایی هستند (اولی^۱ و همکاران، ۱۹۹۳؛ والبرینگ^۲ و همکاران، ۱۹۹۸؛ واسون^۳ و همکاران، ۱۹۹۸؛ پوسن^۴ و همکاران، ۲۰۰۳)؛ منشأیابی رسوبات رودخانه‌ای می‌تواند به شناخت تقریباً کاملی از مناطق فرسایش‌پذیر منجر شود. روش منشأیابی در مطالعات افرادی چون والدن^۵ و همکاران (۱۹۹۷)، راسل^۶ و همکاران (۲۰۰۱)، امیری (۲۰۰۲)، کولینز^۷ و همکاران (۱۹۹۷) استفاده شده است. در ایران در این رابطه می‌توان به فیض‌نیا، بهرامی، ساعدی، پذیرا، نجفی‌نژاد، طالب‌پور و... اشاره نمود (صوفی، ۱۳۷۷). همچنین، خاک‌سار و همکاران (۱۳۸۵) در مورد تعیین حساسیت فرسایش سازندهای زمین‌شناسی حوزه آبخیز مهارلو، به مسئله فرسایش‌پذیری سازندهای زمین‌شناسی اشاره کرده‌اند. اغلب پژوهش‌های انجام‌شده در مورد فرسایش و رسوب حوزه‌ها نیز از طریق مدل‌های کمی انجام پذیرفته است. در این پژوهش، حوزه آبخیز سجادرود واقع در شهرستان بابل از نظر فرسایش‌پذیری سازندهای زمین‌شناسی به روش تجربی مورد بررسی قرار گرفته است. هدف اصلی پژوهش نیز، تعیین دامنه فرسایش‌پذیری و حساسیت سازندهای حوزه مورد بررسی است. بنابراین در نظر دارد از طریق روش تجربی برداشت رسوبات معرف از پایین‌دست حوزه و انجام کارهای آزمایشگاهی و سپس تطبیق آن با وسعت رخنمون سازندها و نسبت حجمی رسوبات مذکور، حساسیت هر سازندها را به فرسایش تعیین نماید.

۲- مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

حوزه سجادرود یکی از زیر حوزه‌های رودخانه بابل رود می‌باشد. این حوزه با شعبات خود از ارتفاعات البرز مرکزی سرچشمه گرفته و به دریای خزر می‌ریزد. موقعیت جغرافیایی آن ۳۶ درجه و ۳ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۲ دقیقه عرض شمالی و ۵۲ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۵۴ دقیقه طول شرقی است. بابل‌رود از چند زیرشاخه به نام‌های سجادرود، کالارود و خردون‌رود تشکیل شده است. این رودها نهایتاً در ارتفاع نزدیک به سطح تراز دریاهای آزاد به هم پیوسته و پس از تشکیل بابل‌رود به دریای خزر می‌ریزند. از لحاظ تقسیمات سیاسی نیز، این حوزه در شهرستان بابل از استان مازندران قرار دارد (شکل ۱).



شکل ۱- تصویر موقعیت حوزه مورد مطالعه در استان مازندران

محدوده مورد مطالعه از لحاظ زمین‌شناسی در واحد البرز قرار دارد که قسمت انتهایی آن، محدود به جلگه خزر می‌باشد. با توجه به تقسیم‌بندی مذکور، حوزه بابل رود در واحد زمین‌شناسی نئوژن شمالی و شمالی-مرکزی قرار گرفته است؛ به گونه‌ای که در این محدوده و در شمال گسل بزرگ البرز، رخساره سنگ‌های دوره تریاس میانی (سازند الیکا) و کرتاسه فوقانی، همچنین

۱ Olley

۲ Wallbrink

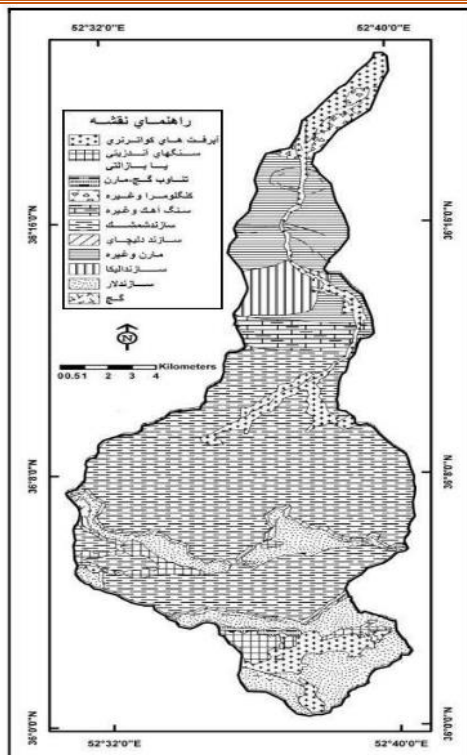
۳ Wasson

۴ Poesen

۵ Valdown

۶ Rosel

۷ Kolinz



شکل ۲- سنگ‌ها و سازندهای حوزه سجادرود

سنگ‌های دوران میوسن و پلیوسن (نئوژن) قرار دارد (شکل ۲). در جنوب گسل و روراندگی بزرگ البرز نیز رخساره سنگ‌های سازند شمشک (تریاس فوقانی - ژوراسیک تحتانی) همراه با گسل‌های مزدوج دیده می‌شود (احمدی و فیض نیا، ۱۳۸۵). از نظر چینه‌شناسی و سنگ‌شناسی نیز اختصاصات آن به شرح زیر می‌باشد:

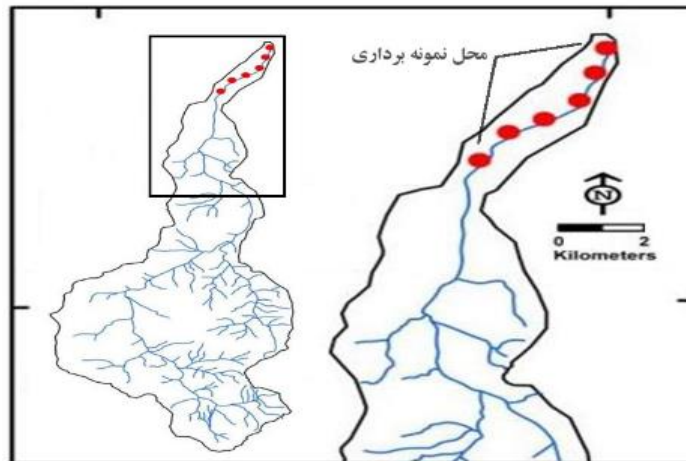
دوران اول شامل نهشته‌های پرمین متعلق به سازند روته از جمله سنگ آهک فوزولین دار و سنگ آهک دولومیتی می‌باشد که با یک دگرشیبی بر روی سازند شمشک قرار گرفته است. رسوب‌های مربوط به این سازند در اطراف رودخانه کر سنگ برونزد پیدا نموده است. دوران دوم نیز سنگ‌های رسوبی مربوط به تریاس، گسترش خوبی در این ناحیه دارند. طبقات آهکی و دولومیتی تریاس زیرین - میانی، مربوط به سازند الیکا رخساره شاخص در منطقه هستند، رخنمون آن در مقطع گلوگاه به سماکوش محله به خوبی قابل رویت است. نهشته‌های ژوراسیک مربوط به سازند شمشک نیز با ضخامت زیاد، گسترده‌ترین برونزد را در حوزه نشان می‌دهند. به طور کلی، این سازند در قسمت زیرین دارای تناوب ماسه سنگ‌های ریزدانه، سیلت و شیل و به ندرت با لایه‌های زغالی دیده می‌شود. در قسمت فوقانی لایه‌های ضخیم ماسه سنگ متناوب با سیلت سنگ، شیل و باندهای کنگلومرا قابل مشاهده است.

نهشته‌های کرتاسه پس از رسوبات مربوط به سنوزوئیک و سازند شمشک بیشترین گسترش را در منطقه مورد مطالعه به خود اختصاص داده است. به دلیل سنگ‌شناسی مخصوص به خود و مقاومت کم به ضعی از لایه‌ها در مقابل فرسایش، در نواحی گسترده‌ای تپه ماهورهای وسیعی با پوشش گیاهی متراکم به وجود آورده است. دوران سوم نیز ضخامت رسوبات پالئوژن - نئوژن به مقدار زیادی کاهش یافته و فقط به صورت نوار باریکی بر روی رسوبات دوران دوم برونزد دارند. جنس این رسوبات شامل گچ، ماسه سنگ، مارن و کمی سنگ آهک می‌باشد. رسوب‌های میوسن و پلیوسن نیز در شمال نوار باریک رسوبات پالئوژن - نئوژن قرار گرفته است. عمده نهشته‌های پلیوسن، مارن است و لایه‌های کنگلومرای به مقادیر کمتر و غالباً در قسمت‌های قاعده‌ای دیده می‌شوند. نهشته‌های نئوژن جوان در حد شمالی به صورت تپه‌ماهورهای چین خورده‌اند و به تدریج کم ارتفاع‌تر شده و در نهایت رسوبات کواترنری جلگه‌ای جنوب خزر در مساحت‌های زیادی گسترش یافته و تا حدی در دامنه‌ها گسترده شده‌اند.

روش تحقیق

این پژوهش با هدف تعیین حساسیت و فرسایش‌پذیری سازندها از طریق منشأیابی رسوبات حوزه آبخیز سجادرود در چند مرحله انجام گرفته است. آمار و داده‌ها و نیز ابزارها از جمله نقشه‌های توپوگرافی (۱:۵۰۰۰۰)، زمین‌شناسی (۱:۱۰۰۰۰۰) و تصاویر ماهواره‌ای گردآوری شده‌اند. مطالعات سنگ‌شناسی و سازندهای منطقه و همچنین مطالعات رسوب‌شناسی با استفاده از ابزارها و داده‌های مذکور انجام گرفته است. برای کارهای رسوب‌شناسی نیز ۲۰ نمونه رسوب به روش انتخابی از محل خروجی حوزه سجادرود در فواصل ۲۰۰ تا ۳۰۰ متری برداشت شد و موقعیت آن‌ها با استفاده از دستگاه GPS مارک شده است (شکل ۳). نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه، ابتدا خشک و سپس وزن شدند. پس از جدا کردن قله‌سنگ‌های با قطر بالای ۲ سانتی‌متر به وسیله دستگاه شیکر دانه‌بندی شده و ذرات با قطر ۲۵۰ تا ۱۰۰۰ میکرونی آن به عنوان رسوب معرف جهت مورفوسکوپی تفکیک و وزن شدند. در مرحله بعد، پس از شستشوی مجدد، نمونه‌ها در آون خشک شد و پس از آن مجدداً وزن شده‌اند. در این مرحله با توجه به اختلاف وزن قبل از عمل شستشو و بعد از آن، نسبت حجم سیلت و رس موجود در نمونه‌ها تعیین گردید. در مرحله بعد، با استفاده از دستگاه شیکر، نمونه‌ها در اندازه‌های مختلف تفکیک و دانه‌سنجی شده‌اند. با توجه به شرایط تقریباً یکسان نقاط

نمونه‌برداری، برای سهولت و دقت انجام کار، نمونه‌های برداشت‌شده باهم ادغام و مخلوط شدند و تعداد آن‌ها به چهار نمونه کاهش یافت. سپس، با استفاده از میکروسکوپ بینوکار، دانه‌ها بر حسب جنس در قالب هفت گروه کلی به عنوان نمونه‌های معرف از سازندهای حوزه از یکدیگر تفکیک و وزن شده است و در نتیجه، در صد وزنی هر گروه به دست آمده است. رسوبات تعیین جنس شده با نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه تطبیق داده شده و پس از تطابق جنس، پهنه‌های تحت پوشش هر سازند مساحتی و نسبت مساحت رخنمون هر سازند با وزن رسوب هر یک از نمونه‌ها نسبت‌گیری و مورد ارزیابی قرار گرفته است. در نهایت فرسایش‌پذیری هر سازند از این طریق تعیین و محاسبه شده است.



شکل ۳ - موقعیت نقاط نمونه‌برداری شده در نزدیکی خروجی حوزه مورد بررسی

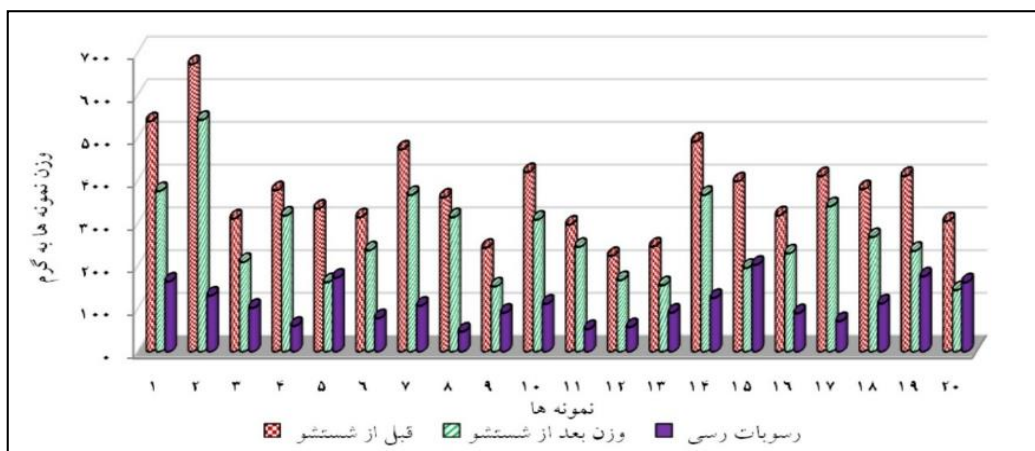
۳- نتایج

همان‌گونه که ذکر گردید، تعداد ۲۰ نمونه رسوب از محل خروجی حوزه و با شرایط خاص از بستر فعال رودخانه برداشت شد. نتایج تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی بر روی نمونه‌های برداشت شده شامل: وزن نمونه‌ها و همچنین وزن مقدار رس موجود در نمونه‌ها، داده‌های مربوط به دانه‌سنجی، و وزن چهار نمونه (ادغام شده) در سازندهای مختلف حوزه بر حسب گرم در جداول ۱ تا ۳ و همچنین اشکال ۴ تا ۵ آورده شده است.

جدول ۱- نمونه‌های برداشت‌شده از بستر رودخانه سجادرود و وزن آن‌ها بر حسب گرم

شماره نمونه	وزن قبل از شستشو	وزن بعد از شستشو	وزن مقدار رس
۱	۵۳۸/۳	۳۷۴/۹۶	۱۶۳/۳۴
۲	۶۷۱/۸۴	۵۴۱/۴	۱۳۰/۴۴
۳	۳۱۰/۶۶	۲۰۸/۸۱	۱۰۱/۸۵
۴	۳۷۶/۹	۳۱۷/۴۶	۵۹/۴۴
۵	۳۳۳/۸۹	۱۶۱/۶۳	۱۷۲/۲۶
۶	۳۱۳/۶۲	۲۳۶/۱۷	۷۷/۴۵
۷	۴۷۲/۲۹	۳۶۵/۷۷	۱۰۶/۵۲
۸	۳۵۹/۷۴	۳۱۳/۶۴	۴۶/۱
۹	۲۴۱/۹۷	۱۵۱/۷	۹۰/۲۷
۱۰	۴۱۹/۳	۳۰۷/۹۴	۱۱۱/۳۶
۱۱	۲۹۶/۵۱	۲۴۴/۳۷	۵۲/۱۴

شماره نمونه	وزن قبل از شستشو	وزن بعد از شستشو	وزن مقدار رس
۱۲	۲۲۳/۰۴	۱۶۶/۵۳	۵۶/۵۱
۱۳	۲۴۵	۱۵۴/۵	۹۰/۵
۱۴	۴۹۰/۸۴	۳۶۵/۸۹	۱۲۴/۹۵
۱۵	۳۹۷/۶۷	۱۹۵/۲۹	۲۰۲/۳۸
۱۶	۳۱۸/۱۳	۲۲۹	۸۹/۱۳
۱۷	۴۰۹/۸	۳۳۹/۳	۷۰/۵
۱۸	۳۷۹/۲۷	۲۶۷/۲۳	۱۱۲/۰۴
۱۹	۴۱۰/۲۲	۲۳۵	۱۷۵/۲۲
۲۰	۳۰۴/۳	۱۴۲/۹	۱۶۱/۴



شکل ۴- وزن نمونه‌های رسوب برداشت شده پس از آماده‌سازی در آزمایشگاه

جدول ۲- مورفومتری نمونه‌های برداشت شده از بستر رودخانه سجادرود در قسمت‌های انتهایی

شماره نمونه	وزن نمونه‌ها در اندازه‌های مختلف بر حسب میکرون					
	کمتر از ۱۲۵	۱۲۵	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰
۱	۴/۰۶	۳۱/۱۷	۱۴۶/۶۸	۲۹/۰۸	۲۰/۴۲	۱۴۰/۷۶
۲	۲/۸۳	۳۷/۹	۸۰/۸	۵۱/۴۸	۳۵/۵۵	۳۲۹/۴۴
۳	۵/۵۲	۲۹/۲۱	۵۰/۸۲	۱۶/۵۱	۱۰/۱۱	۹۴/۱۲
۴	۱/۷۳	۱۷/۸۱	۳۸/۴۵	۴۳/۷۴	۴۲/۱۳	۱۷۰/۸۲
۵	۰/۴۴	۱۸/۳۴	۴۵/۶۱	۱۲/۲۷	۱۰/۲۴	۷۱/۶۹
۶	۰/۸۱	۳۸/۹۱	۷۴/۱۶	۳۶/۳۱	۲۲/۵	۶۰/۳
۷	۳/۹۱	۴۵/۳۱	۹۲/۱۹	۴۴/۳۴	۳۳/۴۷	۱۴۵/۸۴
۸	۱/۹۵	۴۰/۴۴	۹۵/۲۳	۲۴/۸۷	۷/۵۷	۱۴۰/۷۵
۹	۹/۴۳	۶۵/۵۶	۳۳/۵۹	۸/۵۱	۸/۳۷	۲۳/۳۵
۱۰	۱/۴۶	۲۶/۷۵	۶۵/۹۵	۹/۳۹	۱۰/۹	۱۹۰/۹
۱۱	۰/۸	۳۳/۶۵	۸۵/۳	۴۹/۰۹	۲۶/۸	۴۶

وزن نمونه‌ها در اندازه‌های مختلف بر حسب میکرون							
شماره نمونه	کمتر از ۱۲۵	۱۲۵	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	وزن کل (گرم)
۱۲	۳/۶۳	۳۱/۲۶	۵۲/۶	۲۸/۴۱	۱۶/۲۵	۳۱/۶۶	۱۶۳/۸۱
۱۳	۴/۶۴	۳۷/۱۹	۲۹/۲۳	۲۸/۹۲	۱۱/۱	۱۹/۷۴	۱۳۰/۸۲
۱۴	۱/۳۲	۴۳/۳	۶۸/۹۷	۴۷/۴۴	۲۷/۸۷	۱۷۴/۲۵	۲۶۳/۱۵
۱۵	۵/۰۸	۵۷/۰۳	۶۲/۶۳	۸/۲۹	۷/۵۳	۵۱/۵۹	۱۹۲/۱۵
۱۶	۶/۰۲	۵۶/۴۱	۷۷/۱۵	۱۰/۵۶	۹/۸۱	۶۷/۰۶	۲۲۷/۰۱
۱۷	۱۸/۶۹	۸۶/۸۳	۳۰/۱۱	۱۰/۶۷	۲۱/۸۷	۱۶۷/۷۹	۳۳۵/۹۶
۱۸	۱/۰۷	۴۱/۶۹	۷۶/۸۷	۳۱/۸۲	۲۳/۳۹	۸۹/۳	۲۶۴/۱۴
۱۹	۱۴/۹۷	۶۹/۶۵	۳۳/۴۵	۴/۶۷	۵/۱۳	۱۲/۸	۱۴۰/۶۷
۲۰	۱۳/۱	۷۷/۷۶	۲۵/۲۲	۳/۴۳	۳/۴۱	۱۷/۳۴	۱۴۰/۲۶
جمع	۱۰۱/۴۶	۸۸۶/۱۷	۱۲۲۶/۵۶	۴۹۹/۷	۳۵۴/۴۲	۲۰۴۵/۵	۵۱۱۳/۸۱
وزن کل نمونه‌ها (گرم)							۵۱۱۳/۸۱

جدول ۳- وزن چهار نمونه (ادغام شده) در سازندهای مختلف حوزه بر حسب گرم

جمع نهایی		نمونه‌ها				منشأیابی رسوبات
درصد از کل	کل (گرم)	۴	۳	۲	۱	جنس رسوب
۴/۷۱۵۵	۷/۸۵	۱/۷۴	۲/۴۵	۱/۹۶	۱/۷	سیلت
۶/۶۷۳۸	۱۱/۱۱	۲/۸۷	۳/۵۲	۲/۳۳	۲/۳۹	شیل
۱۲/۸۵۵	۲۱/۴	۴/۵۹	۳/۸۳	۶/۰۳	۶/۹۵	آذرین
۱۵/۱۰۷	۲۵/۱۵	۷/۶۹	۶/۵۴	۷/۸۲	۳/۱	کوارتزیت
۲۴/۶۵	۴۱/۰۴	۹/۸۷	۱۱/۱۲	۱۰/۲	۹/۸۵	ماسه سنگ
۳۴/۶۷	۵۷/۷	۱۴/۵۲	۱۳/۲۷	۱۴/۴۶	۱۵/۴۵	آهک
۱/۳۳	۲/۲۲	۰/۱۲	۱/۲۷	۰/۲۳	۰/۶	سایر
۱۰۰	۱۶۶/۴۷	۴۱/۴	۴۲	۴۳/۰۳	۴۰/۰۴	کل

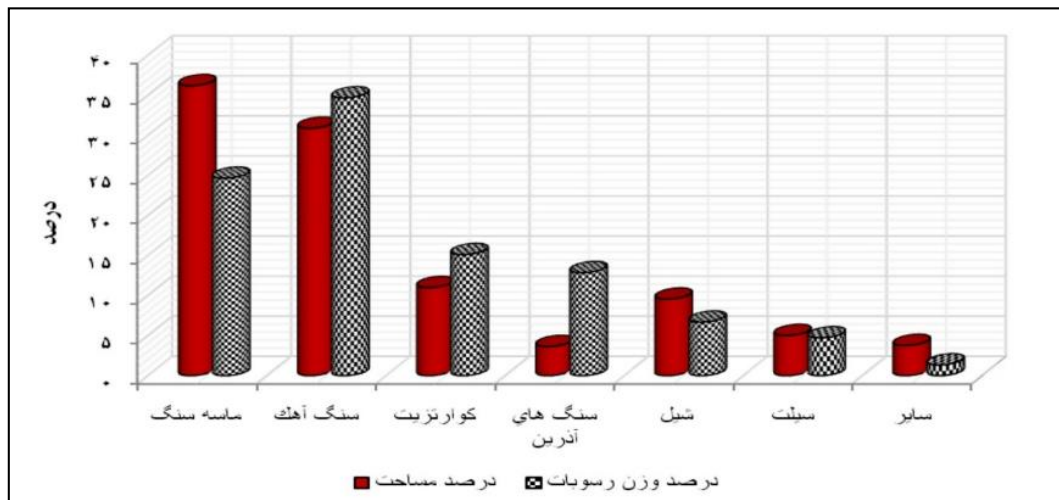


شکل ۵- نمودار درصد وزنی رسوبات در نمونه‌های برداشت شده

با توجه به جدول (۴)، ماسه سنگ با ۳۶/۲ درصد و سنگ آهک با ۳۰/۸۸ درصد، بیشترین پوشش سطحی حوزه را در برمی گیرند. در نمونه‌های برداشت شده نیز سنگ آهک و ماسه سنگ بیشترین فراوانی را دارند. بنابراین، باید به این موضوع توجه داشت که در صد بیشتر آهک و ماسه سنگ در نمونه‌های برداشت شده با گستردگی سنگ آهک و ماسه سنگ در سطح حوزه همبستگی نشان می‌دهد. سنگ‌های آذرین با وجود اینکه در سطح حوزه گسترش زیادی ندارند اما درصد قابل توجهی را در نمونه‌های برداشت شده به خود اختصاص داده‌اند و این مسئله نشانگر آن است که تخریب و هوازدگی در سنگ‌های آذرین بیشتر می‌باشد.

جدول ۴- تطبیق درصد مساحت تحت پوشش هر سازند با درصد وزن آن در نمونه‌های معرف

رتبه از نظر فرسایش پذیری	درصد وزن رسوبات	درصد مساحت	مساحت تحت پوشش به کیلومتر مربع	سازند معرف
۳	۲۴/۶۵	۳۶/۲۰	۹۳/۳۶	ماسه سنگ
۲	۳۴/۶۷	۳۰/۸۸	۷۹/۶۵	سنگ آهک
۴	۱۵/۱۱	۱۰/۹۹	۲۸/۳۵	کوارتزیت
۱	۱۲/۸۶	۳/۶۳	۹/۳۵	آذرین
۵	۶/۶۷	۹/۵۵	۲۴/۶۲	شیل
۶	۴/۷۲	۵/۰۰	۱۲/۸۹	سیلت
۷	۱/۳۳	۳/۷۶	۹/۶۹	سایر



شکل ۶- نمودار درصد داده‌های تطبیق داده شده وزن و وسعت سازندهای معرف

با توجه به نقشه زمین شناسی و با در نظر گرفتن جنس سازندهای موجود و گسترش آن‌ها در سطح حوزه و همچنین نوع رسوبات موجود در نمونه‌های برداشت شده (جدول ۳) از طریق مقایسه درصد نوع سنگ‌ها و درصد مساحت تحت پوشش، می‌توان سازندهایی که بیشترین میزان فرسایش پذیری را دارا می‌باشند، در قالب گروه‌های زیر طبقه‌بندی نمود:

۱- سنگ‌های آذرین: با توجه به شکل (۶) با مقایسه درصد مساحت تحت پوشش سنگ‌ها و درصد آن‌ها در نمونه‌های برداشت شده، سنگ‌های آذرین بیشترین میزان حساسیت را نسبت به فرسایش دارند، اما با در نظر گرفتن وسعت کم سنگ‌های آذرین در سطح حوزه از اهمیت چندانی برخوردار نیستند.

۲- سنگ آهک: سنگ آهک با ۳۰/۸۸ درصد بعد از ماسه سنگ بیشترین گسترش را در سطح حوزه دارد. این امر در درصد فراوانی آهک در نمونه‌های برداشت شده نیز قابل مشاهده می‌باشد. به طوریکه ۳۴/۶۷ درصد حجم نمونه را به خود اختصاص می‌دهد. بنابراین از بیشترین اهمیت در میزان فرسایش حوزه برخوردار می‌باشد. یکی از دلایلی که سنگ‌های آهکی با وجود پوشش

سطحی کمتر از ما سه سنگ در حوزه مورد مطالعه دارای فرسایش بیشتری می‌باشند، تأثیرات فرسایش مجاور یخچالی و نبود پوشش گیاهی مناسب و در نتیجه تخریب مکانیکی است که علت افزایش میزان رسوبات آهکی نسبت به ماسه‌سنگ در نمونه‌ها می‌باشد. در مناطق گرم و مرطوب و سرد و مرطوب، آهک انحلال پیدا می‌کند. اما تخریب آن در مناطق خشک و سرد، غالباً به صورت مکانیکی است. سازندهایی که بیشترین تناوب آهک را در سطح حوزه دارند، از اهمیت زیادتری در میزان تولید رسوبات برخوردار می‌باشند. آهک‌های مذکور در گروه‌های چینه‌شناسی سازند لار، سازند دلیچای، سازند مارن و سنگ آهک کرتاسه قرار می‌گیرند.

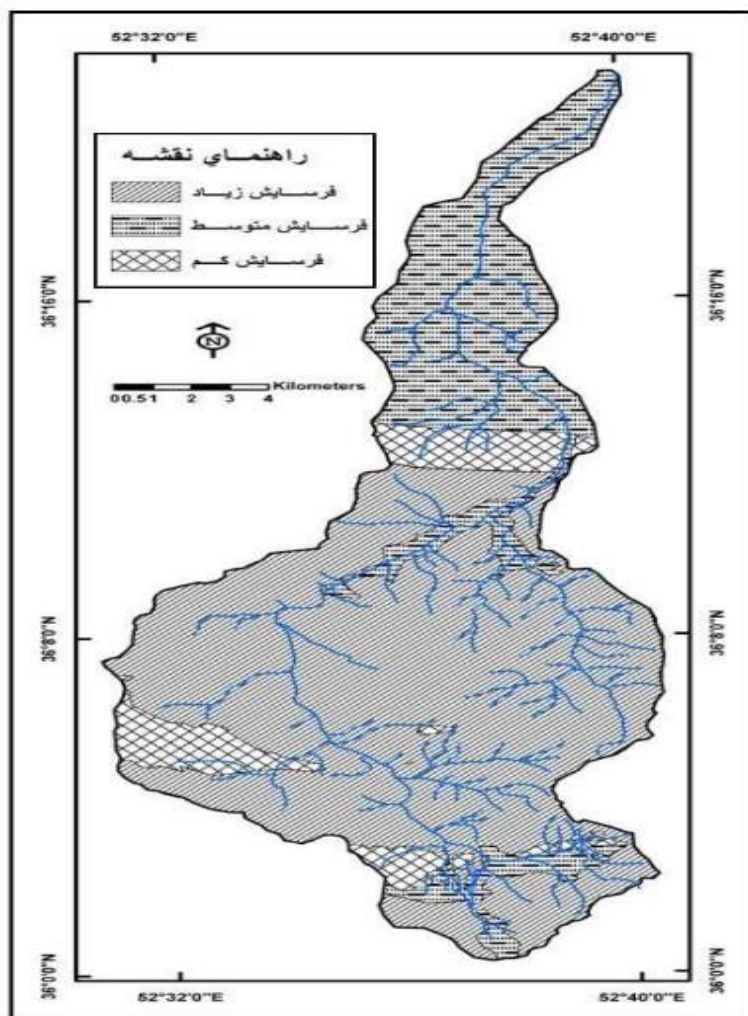
۳- ما سه سنگ: با توجه به جدول (۴)، ما سه سنگ با وجود اینکه با ۳۶/۲۰ درصد، دارای بیشترین میزان وسعت در سطح حوزه می‌باشد اما درصد وزنی آن در نمونه‌های برداشت شده کمتر از سنگ آهک است. در نتیجه از نظر فرسایش‌پذیری بعد از سنگ آهک قرار می‌گیرد. در بین سازندهای حوزه مورد مطالعه سازند شمشک بیشترین مقدار ما سه سنگ را دارا می‌باشد. این سازند گسترده‌ترین و ضخیم‌ترین سازند در حوزه مورد مطالعه می‌باشد که شامل ماسه‌سنگ، شیل، سیلت‌سنگ، رس‌سنگ و زغال‌سنگ می‌باشد. در این سازند، به دلیل وجود پوشش گیاهی و شکستگی‌های ناشی از گسلش، تعیین نوع سنگ بسیار دشوار است. یکی از دلایلی که فراوانی ما سه سنگ را در نمونه‌ها نشان می‌دهد؛ وسعت زیاد این سازند می‌باشد. البته وجود پوشش گیاهی برای فرسایش این سازند می‌تواند مانعی مهم محسوب گردد. در هر صورت با توجه به نمونه‌های برداشت شده؛ سازند شمشک فرسایش‌پذیری بالایی را در حوزه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

از آنجا که سازندهای فوق دارای بیشترین مقدار آهک و ماسه‌سنگ می‌باشند، نسبت به سایر سازندها از فرسایش‌پذیری بالاتری برخوردارند که این امر در نمونه‌های برداشت شده نیز به وضوح قابل مشاهده است. البته در داخل این سازندها نیز سنگ‌هایی وجود دارند که در برابر فرسایش مقاومت بیشتر داشته ولی مقادیر آنها در نمونه‌ها بسیار پایین است.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

رسوبات نمونه‌گیری شده از محدوده خروجی حوزه سجادرود پس از آزمایش، آنالیز و تعیین درصد نوع سنگ‌های فرسایش یافته و برقراری ارتباط با رخنمون آنها، مقدار حساسیت و فرسایش‌پذیری هر کدام تعیین گردید و مشخص شد که کدام نوع از سنگ‌ها از فرسایش‌پذیری بالاتری برخوردارند. نتایج نشان می‌دهند که، سنگ آهک و ماسه‌سنگ تقریباً ۶۷ درصد مساحت سطح حوزه را شامل می‌شوند و این سنگ‌ها تقریباً ۵۹ درصد وزن رسوبات نمونه‌برداری شده را تشکیل داده و همبستگی بالاتری بین مساحت این دو نوع سنگ در سطح حوزه و درصد وزن نمونه‌ها وجود دارد. این موضوع نشانگر فرسایش‌پذیری بالای این دو نوع سنگ در سطح حوزه است. علاوه بر نسبت سطح رخنمون، با در نظر گرفتن مساحت رخنمون‌ها در سطح حوزه و درصد وزنی آنها در نمونه‌های برداشت شده، این نتیجه به دست آمده است که آهک و ماسه‌سنگ بیشترین میزان فرسایش‌پذیری را نسبت به سایر سنگ‌ها دارا می‌باشند. در بین سازندهای حوزه مورد مطالعه، سازند لار و شمشک بیشترین حجم سنگ آهک و ماسه‌سنگ را به خود اختصاص داده‌اند. این دو سازند به دلیل تناوب بیشتر و ضخامت کمتر لایه‌ها، نسبت به سازندهای دیگر از فرسایش‌پذیری بالاتری برخوردار می‌باشند. سنگ‌های سیلت و شیل با وجود اینکه در حدود ۳۷ درصد مساحت حوزه را در بر می‌گیرند (شکل ۷). اما در نمونه‌های برداشت شده با درصد وزنی تقریباً ۱۱ درصد کمترین میزان فرسایش‌پذیری را در بین سایر سنگ‌ها نشان می‌دهند. علت اصلی آن نیز محصور بودن آنها در تناوب چینه‌شناسی در ارتباط با رخنمون سطحی آنها است. زیرا سیلت و شیل ماهیتاً نسبت به سایر سنگ‌ها از مقاومت کمتری برخوردارند. از طرفی پس از تخریب بافت بسیار ریزتری نسبت به سنگ‌های سخت‌تر خواهند داشت. گذشته از مباحث مقاومت سنگ‌ها، در یک نگاه اجمالی، اگر شبکه زهکشی را به عنوان یک عنصر اصلی حوزه آبخیز دخالت دهیم، مشخص می‌شود که در مناطقی که شبکه زهکشی از تراکم سطح و وسعت بیشتری برخوردار است،

زیرحوزه وسیع‌تری را تشکیل داده است. بنابراین وسعت و پهنای زیرحوزه‌ها که نتیجه مستقیم مقاومت سنگ‌ها است نیز با نتایج حاصل از این پژوهش انطباق کاملی را نشان می‌دهد. از نظر اعتبارسنجی یافته‌های این پژوهش را می‌توان با نتایج حاصل از سایر مدل‌های کمی که عمدتاً بر پایه روش‌های پهنه‌بندی و امتیازدهی استوار هستند مقایسه نمود، از جمله زارع و همکاران (۱۳۸۸) با استفاده از سه عامل زمین‌شناسی، شیب و اقلیم و تلفیق آن‌ها واحدهای کاری را تعیین نموده‌اند. سپس حساسیت کیفی سازندها را با استفاده از معیارهای روش مقاومتی و سختی توده سنگ سلبی را به صورت صحرائی تعیین کرده‌اند. در نهایت با تعیین حساسیت کیفی سازندها از مدل USLE استفاده و برای کمی کردن فرسایش‌پذیری سازندها از آمار رسوب ایستگاه‌های هیدرومتری حوزه لتیان استفاده کرده‌اند. همچنین بیاتی‌خطیبی و همکاران (۱۳۸۵) در بررسی نحوه سایش سطوح رسوب‌زا در حوزه قرقنو، با در نظر گرفتن ویژگی سازندهای سطحی و نقش عوامل مختلف در سایش آن‌ها، میزان فرسایش‌پذیری سطوح را



شکل ۷- پهنه‌بندی فرسایش‌پذیری سنگ‌ها و منشأ داده‌های رسوب و انطباق آن با مورفومتری زیر حوزه‌ها و شبکه زهکشی در حوزه سجادرود

تعیین و با بهره‌گیری از روش PSAIC میزان رسوب‌دهی حوزه را برآورد و پهنه‌بندی کرده‌اند. یافته‌های این گروه از پژوهش‌ها نشان می‌دهد که روش مورد استفاده در این پژوهش نتایج واقعی‌تری را نسبت به سایر روش‌ها به دست می‌دهد. زیرا روش‌های مذکور بیشتر از دیدگاه عوامل تأثیرگذار به موضوع می‌پردازند، در حالی که نتایج حاصل از این پژوهش مستند به معلول یعنی داده‌های رسوبی است. از طرفی روش‌های مهندسی از جمله استفاده از چکش اشمیت شاید بتواند مقاومت یک نوع سنگ را بر اساس ضریب خاصی دقیق‌تر تعیین نموده و به تمام سازندهای حوزه تعمیم داده شود. با این وجود نتایج این روش نیز مستند به نمونه‌هایی محدود است که به یک پهنه وسیع و متفاوت تعمیم داده می‌شود. بنابراین بهتر است کار با روش مذکور انجام و با سایر روش‌های کمی و یا روش‌های پهنه‌بندی نیز آزمون شود.

۵- مراجع

- ۱- احمدی، ح.، فیض‌نیا، س. ۱۳۸۵، سازندهای دوره کواترنر، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۲- احمدی، ح.، فیض‌نیا، س.، اختصاصی، م.ر.، قانعی بافقی، م. ج. ۱۳۸۰، منشأیابی تپه‌های ماسه‌ای جنوب بافق، نشریه بیابان، شماره ۲.
- ۳- امینی، ع.، شعبانی‌گرچی، ک. ۱۳۷۹، مطالعه رسوبات و عوامل زمین‌شناسی مؤثر در بار رسوبی رودخانه پلرود استان گیلان، مجله علوم دانشگاه تهران، شماره ۲.

۴- بیاتی خطی، م ۱۳۸۵، بررسی نقش ویژگی‌های سازندهای سطحی و لیتولوژیکی در فرسایش‌پذیری و رسوب دهی حوزه‌های زهکشی نواحی کوهستانی (مطالعه موردی: حوزه قرنقو واقع در دامنه‌های شرقی سهند)، نشریه علوم انسانی جغرافیا و برنامه‌ریزی (دانشگاه تبریز)، شماره ۲۱، صص ۲۰۴-۱۷۷.

۵- حیدری، ف. ۱۳۸۷، تعیین سهم زیرحوزه‌ها در تولید رسوب با استفاده از روش منشأیابی (مطالعه موردی: حوزه مرگن بلدشت، ماکو)، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد پانزدهم، شماره اول.

۶- حیدری، ف.، بنی‌اسدی، مح.، شیرانی، ک.، علیزاده، م.، ۱۳۸۴، سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، منشأیابی رسوبات حوزه آب باریک بم.

۷- خاکسار، ک.، گودرزی، م.، غریب‌رضا، م.ر.، رحمتی، م. ۱۳۸۵، تعیین حساسیت سازندهای زمین‌شناسی حوزه آبخیز مهارلو به فرسایش، تهران، علوم زمین، شماره ۱۶(۶۲)، صص ۱۲۹-۱۱۶.

۸- زارع خوش‌اقبال، م ۱۳۸۵، منشأیابی رسوبات مخروط افکنه‌ای چنداب ورامین، جنگل و مرتع، شماره ۷۵.

۹- زارع خوش‌اقبال، م.، فیض‌نیا، س.، ۱۳۸۸، بررسی حساسیت سازندهای زمین‌شناسی نسبت به فرسایش و تولید رسوب در حوزه آبخیز لتیان، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۵۶، شماره ۳، انتشار اینترنتی.

۱۰- سازمان زمین‌شناسی کشور ۱۹۸۴، نقشه زمین‌شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، قائم شهر.

۱۱- صادقی، س.ج.ر.، نیک‌کامی، د.، جلیلی، خ.، ۱۳۸۴، سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، فرمول‌بندی فرسایش خاک به منظور کاربری بهینه اراضی.

۱۲- صوفی، ع.، ۱۳۷۷، بررسی پتانسیل فرسایش و رسوب در حوزه رودخانه زارم رود، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، به راهنمایی جمشید جداری عیوضی، گروه جغرافیا، دانشگاه تهران.

۱۳- فیض‌نیا، س.، شریفی، ف.، زارع، م. ۱۳۸۲، حساسیت سازندها به فرسایش در حوزه آبخیز چنداب ورامین، پژوهش و سازندگی، شماره ۶۱.

۱۴- فیض‌نیا، س.، محمدی، ع.، محسنی ساروی، م.، قدیمی عروس محله، ف. ۱۳۸۶، بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی و حساسیت سازندها به فرسایش و رسوب‌دهی حوزه‌های آبخیز (نمونه موردی در حوزه آبخیز دریاچه نمک)، تهران، منابع طبیعی ایران، ۶۰، صص ۸۲۸-۸۱۱.

15- Andrew O. Hughes, Jon M. Olley, Jacky C. Croke and Lucy A. Mc Kergow, (2009) Sediment source changes over the last 250 years in a dry-tropical catchment, central Queensland, Australia, *Geomorphology* 104, Elsevier, 262-275.

16- LIU, Ch., SUI, J., Zhao-Yin and WANG, (2008) Sediment load reduction in Chinese rivers, *International Journal of Sediment Research* 23, Elsevier, 44-55.

17- Peng, J., Chen, Sh., and Dong, P., (2010), Temporal variation of sediment load in the Yellow River basin, China, and its impact on the lower reaches and the river delta, *Catena* 83, Elsevier, 135-147.

18- Devereux, O. H., Prestegard, K. L., Needelman, B. A., and Gelli, A. C., (2008), Suspended-sediment sources in an urban watershed, Northeast Branch Anacostia River, Maryland, Interstate Commission on the Potomac River Basin, 20-50, USA.

19- Olley, J. M., Murray, A. S., Mackenzie, D. M., and Edwards, K. (1993), Identifying sediment sources in a gullied catchment using natural and anthropogenic radioactivity.

20- Poesen, J., Nachtergaele, J., Verstraeten, G., and Valentin, C. (2003) Gully erosion and environmental change: importance and research needs. *Catena* 50 (2-4), 91-133.

21- Wallbrink, P. J., Murray, A. S., Olley, J. M., and Olive, L. J. (1998) Determining sources and transit times of suspended sediment in the Murrumbidgee River, New South Wales, Australia, using fallout ¹³⁷Cs and ²¹⁰Pb. *Water Resources Research* 34, 879-887.



- 22-** Ro Charlton (2008), *Fundamentals of Fluvial Geomorphology*, Rutledge, 37-125.
- 23-** Sedimentation on the Southern tablelands of south-eastern Australia: sediment flux dominated by channel incision. *Geomorphology* 24, 291–308.
- 24-** Wasson, R.J., Mazari, R.K., Starr, B., and Clifton, G. (1998). The recent history of erosion and *Water Resources Research* 29, 1037–1043.