



ISSN 2251-7480

## بررسی حساسیت واحدهای سنگی به فرسایش با استفاده از ویژگی‌های کانی‌شناسی<sup>۱</sup>

سید سعید غیائی<sup>۱\*</sup>، سادات فیض نیا<sup>۲</sup>، علیرضا مقدم نیا<sup>۳</sup> و سمیه ناجی راد<sup>۴</sup>

\*<sup>۱</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری؛ گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی؛ دانشگاه تهران؛ البرز؛ ایران

\*نویسنده مسئول مکاتبات: [saeid.ghiasi@ut.ac.ir](mailto:saeid.ghiasi@ut.ac.ir)

<sup>۲</sup> استاد؛ گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی؛ دانشگاه تهران؛ البرز؛ ایران

<sup>۳</sup> دانشیار؛ گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی؛ دانشگاه تهران؛ البرز؛ ایران

<sup>۴</sup> باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان؛ واحد اردبیل؛ دانشگاه آزاد اسلامی؛ اردبیل؛ ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۵/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۰۵

### چکیده

لازمه حفاظت از منابع خاک، مدیریت و ارائه راهکارهای مناسبی می‌باشد که با شناخت ماهیت واحدهای سنگی و اطلاع از اهمیت نسبی منابع اصلی رسوب حاصل می‌شود. هدف از مطالعه حاضر تعیین سهم هرکدام از واحدهای سنگی در تولید رسوب و تشخیص وضعیت فرسایشی آن‌ها می‌باشد. بدین منظور پس از نمونه‌برداری از منابع رسوب و رسوبات موجود در بستر آبراهه‌های حوزه آبخیز خیاوچای، اقدام به عملیات دانه‌بندی ذرات به روش خشک شد. سپس الک‌های ۶۰۰ میکرون و چهار میلی‌متر به‌عنوان الک‌های شاخص انتخاب شدند و با انتخاب ۱۰۰ دانه رسوبی از هر نمونه، بررسی‌های کانی‌شناسی با استفاده از بینوکلر با بزرگنمایی ۴۰ برابر و با توجه به واقعیت رسوبی منطقه، صورت پذیرفت و جنس کانی‌ها و خرده‌سنگ‌ها تعیین و با شمارش تعداد آن‌ها و تعیین سهم هرکدام از کانی‌ها و خرده‌سنگ‌ها، نتایج را با واحدهای سنگ‌شناسی مقایسه و تطبیق داده، سنگ و واحد تولیدکننده هرکدام و درصد سهم هر واحد سنگی در تولید رسوب مشخص شد. نتایج نشان داد واحد سنگی  $Q_{11}$  با ۴۵/۵۱ درصد بیش‌ترین سهم را در تولید رسوب حوضه دارد که با نمره کل شاخص فرسایش ۱۰۵۳/۱۴ در وضعیت فرسایشی خیلی شدید قرار دارد که به دلیل تخریب مکانیکی گسترده و نیز گسترش آن در دو طرف زهکش اصلی کاملاً توجیه‌پذیر است. پس از واحد سنگ‌شناسی  $Q_{11}$ ، واحد  $Q_{s2}^d$  و  $Q^{vb}$  به ترتیب با ۳۰/۸۷ و ۱۰/۵۴ درصد بیش‌ترین سهم در تولید رسوب را داشته و واحد  $Q_{s1}^a$  با ۱/۲۲ درصد کم‌ترین سهم را دارا می‌باشد.

**کلید واژه‌ها:** انگشت‌نگاری؛ پتانسیل رسوب‌زایی؛ حوزه آبخیز خیاوچای؛ شاخص فرسایش؛ فرسایش‌پذیری

### مقدمه

همکاران، (۱۳۹۰). تولید رسوب به‌عنوان یکی از پیامدهای مهم و مشخص فرسایش خاک، در اشکال مختلف سبب اثرات درون و برون منطقه‌ای ویژه‌ای می‌شود (Williams, 1983). در سامانه‌های آبخیز ایران نیز فرسایش خاک و

فرسایش خاک و تولید رسوب جزء محدودیت‌های اساسی در استفاده بهینه و پایدار از منابع آب و خاک می‌باشد، از این‌رو ارزیابی فرآیندهای حاکم بر مکانیسم آن‌ها به‌منظور درک بهتر سامانه‌های آبخیز و اتخاذ تصمیمات مدیریتی مناسب ضروری می‌باشد (صادقی و

۱- برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد

به عبارتی منشاء یابی رسوب به عنوان روشی جایگزین و مناسب مورد توجه محققان مختلف قرار گرفته است. در روش منشاء یابی، ویژگی‌های فیزیکی، ژئوشیمیایی و آلی رسوب و منابع رسوب برای تعیین منابع اصلی رسوب و نیز اهمیت نسبی آن‌ها در تولید رسوب مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد (Peart and Walling, 1988; Collins and Walling, 2002; Walling, 2005). در طول بیش از دو دهه گذشته کارآیی روش منشاء یابی به عنوان روشی موفق و مؤثر برای تعیین منابع رسوب به اثبات رسیده است. این روش بر این فرض استوار است که منابع مختلف رسوب با بهره‌گیری از شماری از ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و آلی قابل شناسایی بوده و با مقایسه آن‌ها با همان ویژگی‌ها در نمونه‌های رسوب می‌توان سهم و اهمیت نسبی منابع رسوب در تولید رسوب را به دست آورد.

تحقیقات متعددی در خصوص فرسایش پذیری و توان رسوب‌زایی سازندهای زمین‌شناسی با استفاده از ویژگی‌های رسوب‌شناسی، ترکیب کانی‌شناسی رسوبات، ژئوشیمی، ویژگی‌های مغناطیسی و غیره از سوی محققان داخلی و خارجی صورت پذیرفته است. به عنوان مثال پادیاب و فیض‌نیا (۱۳۹۱) در عرصه پخش سیلاب گچساران به بررسی نقش سازندهای مختلف واقع در بالادست حوضه در تولید رسوب اقدام نمودند. نتایج این تحقیق حاکی از سهم ۵۵/۳ درصدی سازند پابده گورپی در رسوب تولیدی منطقه حکایت داشت. نجفی و صادقی (۱۳۹۲) در تحقیقی در حوزه آبخیز ایده لو در استان زنجان به ارزیابی تطبیقی نتایج حاصل از روش‌های مبتنی بر انگشت‌نگاری رسوب، سیمای فرسایش خاک و اندازه‌گیری مستقیم منابع رسوب پرداختند. مقایسه نتایج حاصل از این پژوهش حاکی از تایید کلی نتایج انگشت‌نگاری رسوب حکایت داشت. در مجموع، اختلافات موجود در نتایج حاصل از روش‌های انگشت‌نگاری رسوب، نقشه

تولید رسوب از موضوعات بسیار مهم اقتصادی، اجتماعی و عمرانی کشور بوده که با از دست رفت سالانه بیش از یک میلیارد تن از خاک‌های حاصلخیز و نیز با تولید و انتقال حجم بالای رسوب از مناطق منشأ به سمت پایین دست، سبب تخریب شدید اکوسیستم‌های طبیعی، زیرساخت‌ها و مناطق مسکونی و صنعتی می‌شود (Bayramin *et al.*, 2003). به همین سبب بررسی میزان فرسایش برای ارزیابی راهبردهای مدیریتی و نیز برنامه توسعه تمامی کشورها بسیار مهم می‌باشد (Ownegh and Nohtani, 2003).

لازمه اجرای برنامه‌های حفاظت از منابع خاک و کنترل رسوب، کسب اطلاعات از اهمیت نسبی منابع رسوب و سهم آن‌ها در تولید رسوب و در نتیجه شناسایی مناطق بحرانی در داخل حوزه آبخیز است (حکیم‌خانی و همکاران، ۱۳۸۶). به طور کلی روش‌های کسب داده از اهمیت نسبی منابع رسوب و تعیین سهم آن‌ها در تولید رسوب به دو گروه یعنی روش‌های سنتی و منشاء یابی تقسیم می‌شود. از روش‌های سنتی می‌توان به میخ‌ها و کرت‌های فرسایشی، بررسی‌های چشمی منابع رسوب از راه عکس‌ها و مشاهدات صحرائی (Collins and Walling, 2002)، اندازه‌گیری بار رسوبی در انتهای زیرحوضه‌های اصلی برای تعیین اهمیت نسبی آن‌ها در تولید رسوب (Walling and Woodward, 1995) اشاره کرد. اما کاربرد این روش‌ها به طور معمول با دشواری‌های نمونه‌گیری و نیز تنگنای اجرای مواجه بوده و بعضی از آن‌ها به زمان و هزینه‌های زیادی نیاز دارند (Loughran *et al.*, 1992; Collins and Walling, 2004). از سویی روش‌های سنتی امکان مرتبط کردن منابع رسوب به منابع رودخانه و تولید رسوب انتهای حوزه آبخیز را فراهم نمی‌کنند (Collins and Walling, 2002). به دلیل محدودیت‌های یاد شده در استفاده از روش‌های سنتی، روش انگشت‌نگاری یا

و یا کیفی بررسی وضعیت فرسایش در روش‌های مذکور و در مناطق کشاورزی مشاهده نشد ولی رسوبات کم‌تر از دو میکرون موجود در رواناب دارای مقادیر بسیار زیادی کوارتز و تقریباً عاری از کائولینیت در مقایسه با خاک منطقه بود. Brown و McEnroe (۲۰۱۲) در پژوهشی در منطقه کوهستانی آدیرونداک در شمال نیویورک، به تهیه نمونه‌هایی از مقطع شرقی- غربی اقدام نمودند و پس از عملیات دانه‌بندی نمونه‌ها، بررسی‌های کانی‌شناسی انجام شد. در این تحقیق از کانی‌شناسی مغناطیسی و پالئومغناطیسی استفاده شد و در نتیجه آن منابع سنگ‌های آذرین و دگرگونی به راحتی از هم تفکیک شدند. Sadeghi و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهشی با استفاده از تکنیک‌های ترکیبی انگشت‌نگاری، رسوب تولیدی در حوزه آبخیز ایده‌لو در استان زنجان را به انواع مختلف فرسایش سطحی، شیاری و خندقی نسبت دادند. نتایج نشان داد اشکال فرسایشی مذکور به ترتیب ۵۶، ۴۴ و صفر درصد از رسوب تولیدی را بر عهده دارند. که حاکی از موفقیت‌آمیز بودن روش‌های تلفیقی انگشت‌نگاری در ارزیابی منشأ رسوبات نهشته شده در نقطه خروجی حوضه مطالعاتی می‌باشد. Vale و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای در رودخانه Manawatu در نیوزیلند، اقدام به بررسی و سنجش ویژگی‌های منابع رسوب معلق نمودند. در این تحقیق که از روش انگشت‌نگاری ژئوشیمیایی به منظور منشأ یابی ۸ منبع اصلی رسوب استفاده شد.

نتایج مربوط به آنالیز تشخیص نشان داد ۱۶ ردیاب استفاده شده در این مطالعه با دقت ۹۲/۶ درصد قابلیت تفکیک منابع رسوب را از هم داشته که از بین ۸ منبع سنگ‌شناسی و ژئومرفولوژیکی، واحد سنگ‌شناسی گل‌سنگ نزدیک به ۴۶ درصد از رسوب منطقه را تولید می‌نماید و سنگ آهک منطقه سهمی در تولید رسوب ندارد. سهم منابع رسوب در تولید رسوب منطقه متناسب با درک ماهیت سست و ناپایدار گل‌سنگ می‌باشد که این واحد را نسبت

سیمای فرسایش و اندازه‌گیری مستقیم به دلیل رویکرد کمی عدم لحاظ نسبت تحویل رسوب و سایر فرآیندهای حاکم بر انتقال رسوب بوده است که استفاده همزمان و ترکیبی آن‌ها برای دستیابی به نتایج قابل اعتماد را مورد تأکید قرار می‌دهد. صمدی ارقینی و همکاران (۱۳۹۳) در مطالعه‌ای در حوزه آبخیز حسن ابدال زنجان با استفاده از عملیات کانی‌شناسی، ویژگی‌های مغناطیسی و ردیاب‌های ژئوشیمیایی به منشأ یابی رسوبات بستر آبراهه‌ها و پشت سازه‌های آبخیزداری اقدام نمودند. سپس با تلفیق نتایج مطالعات کانی‌شناسی، ژئوشیمیایی و ویژگی‌های مغناطیسی، نقشه فرسایش‌پذیری تلفیقی که نشان‌دهنده‌ی پتانسیل رسوب‌زایی سنگ‌ها و سازنده‌های منطقه می‌باشد، تهیه نمودند. تیموریان و همکاران (۱۳۹۴) در تحقیقی در حوزه آبخیز فشند هشتگرد با استفاده از بررسی‌های کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی، میزان اشتراک هر واحد سنگ‌شناسی در تولید رسوب را تعیین و در نهایت با تلفیق روش کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی، نقشه فرسایش‌پذیری تلفیقی مواد زمین‌شناسی را تهیه نمودند. از مطالعات انگشت‌نگاری رسوب در خارج از کشور نیز می‌توان به موارد زیر اشاره داشت. برای مثال Wood (۱۹۷۸) در حوضه‌ای با مساحت تقریبی ۳۸۴ کیلومتر مربع در انگلستان به تعیین منشأ رسوبات با بررسی کانی‌هایی چون مونت موریونیت، کوارتز، کائولونیت، ایلیت، کلسیت و آپاتیت به صورت کیفی اقدام نمود. در نتیجه‌گیری‌های توأم با احتمال و تردید منشأ اصلی کانی مونت موریونیت و کلسیت را به ترتیب سنگ بستر و آب‌های زیرزمینی قلمداد کرد. Shaw و همکاران (۲۰۰۲)، نیز در آلابامای مرکزی با روش‌های حرارتی و اشعه ایکس به کانی‌شناسی رسوبات ناشی از خاک‌های آلتی سول نمودند که نتایج حاکی از همبستگی بالای قابلیت پخشیدگی رس در اثر آب با درصد کربن آلی خاک ناشی از عملیات کشاورزی داشت. با این وجود تفاوتی بین کانی‌شناسی رسوبات کم‌تر از دو میکرون

به سایر منابع رسوب بسیار حساس به فرسایش نشان می‌دهد. Pully و Powntree (۲۰۱۶) با استفاده از یک اسکندر رنگی معمولی به انگشت‌نگاری منابع رسوب اقدام نمودند. این مطالعه با هدف ارزیابی متناسب رنگ رسوبات به‌عنوان ردیاب، با استفاده از یک دستگاه اسکندر تجاری انجام شد. به‌منظور به حداقل رساندن عدم قطعیت، با استفاده از پراکسید هیدروژن ( $H_2O_2$ ) به تجزیه مواد آلی موجود در رسوبات اقدام شد. سپس تأثیر اندازه ذرات در استفاده دقیق از مشخصه رنگ رسوبات به‌عنوان یک ردیاب تعیین شد. نتایج نشان داد که رنگ رسوبات پتانسیل مناسبی در ردیابی رسوبات داشته و استفاده از ( $H_2O_2$ ) با مقادیر متفاوت، ابهامات مربوط به مواد آلی و اندازه ذرات را کاهش می‌دهد. نتایج این تحقیق حاکی از دقت قابل توجه روش انگشت‌نگاری و مقرون‌به‌صرفه بودن این ردیاب از سایر ردیاب‌های معمول می‌باشد.

از بررسی پژوهش‌های صورت پذیرفته چنین جمع‌بندی می‌شود که در بسیاری از مطالعات منشاء‌یابی، به‌ضرورت استفاده از یک گروه ویژگی، شامل استفاده از ویژگی‌های کانی‌شناسی (Wood, ۱۹۷۸؛ Shaw و همکاران، ۲۰۰۲؛ Brown و McEnroe، ۲۰۱۲)، رنگ رسوبات (Pully و Powntree، ۲۰۱۶)، ژئوشیمیایی (Vale و همکاران، ۲۰۱۶) و در برخی موارد به چندین گروه ویژگی مانند ویژگی‌های کانی‌شناسی، ژئوشیمیایی و مغناطیسی (صمدی ارقینی و همکاران، ۱۳۹۳؛ تیموریان و همکاران، ۱۳۹۴) پرداخته شده است. همچنین، جمع‌بندی سوابق تحقیقی مستند دلالت بر توجه کم‌تر محققین به نقش روابط تجربی مرتبط می‌باشد. به عبارتی در پژوهش‌های یاد شده بیشتر به استفاده از نوع روش منشاء‌یابی و تنوع ردیاب‌ها تأکید شده درحالی‌که به تحلیل نتایج آزمایشگاهی با استفاده از روابط تجربی کم‌تر توجه شده است که ضرورت انجام تحقیقات در این زمینه را تأیید می‌نماید. بر همین اساس، در این مطالعه سعی شده

است با استفاده از انگشت‌نگاری رسوبات با روش کانی‌شناسی، علاوه بر بررسی کارآیی این روش، از روابط تجربی ارائه شده توسط محققین صاحب‌نظر در تعیین پتانسیل رسوب‌زایی و شاخص فرسایش واحدهای سنگی استفاده شود. تعیین سهم منابع رسوب در رسوب تولید شده و مشخص نمودن وضعیت فرسایش نسبی واحدهای سنگی موجود از اهداف دیگر این پژوهش می‌باشد. تحقیق حاضر در حوزه آبخیز خیاوچای از زیر حوزه‌های آبخیز بزرگ خزر در استان اردبیل به دلیل سابقه وقوع سیلاب‌های واریزه‌ای شدید به‌منظور شناسایی مناطق حساس و تولیدکننده‌ی رسوب انجام پذیرفته است.

#### مواد و روش

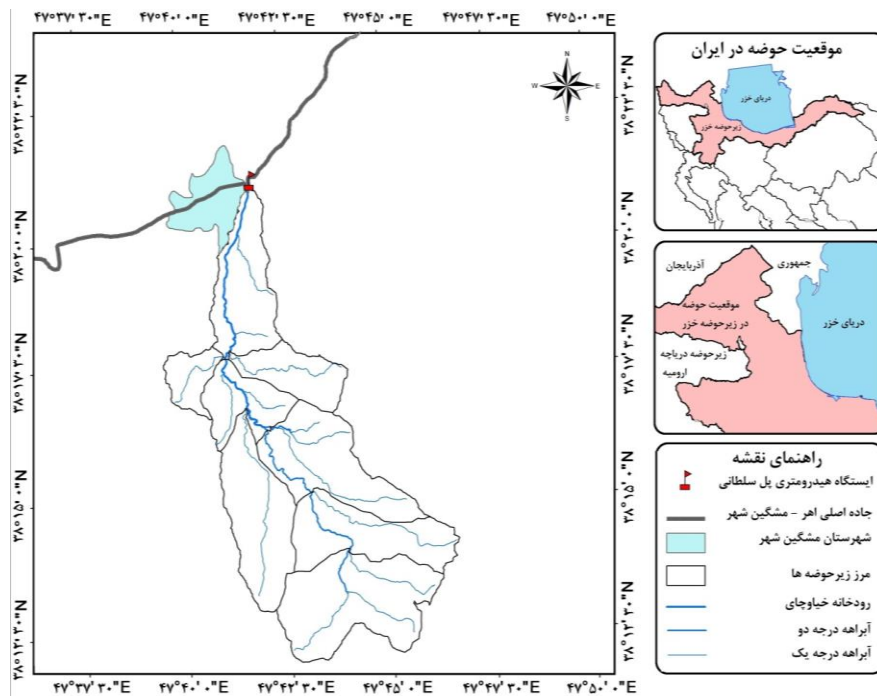
##### منطقه مطالعاتی و داده‌ها

حوزه آبخیز خیاوچای به وسعت تقریبی ۱۳۰۰۰ هکتار، در حاشیه غربی کوه سبلان، در جنوب شهرستان مشگین‌شهر قرار داشته و از نظر تقسیمات سیاسی بخشی از استان اردبیل و از لحاظ تقسیمات جاماب از زیر حوزه‌های آبخیز بزرگ خزر محسوب می‌شود. که آبخیز مذکور با هشت زیرحوضه در محدوده جغرافیایی  $37^{\circ} 47'$  تا  $48^{\circ} 47'$  طول شرقی و  $11^{\circ} 38'$  تا  $23^{\circ} 38'$  عرض شمالی، با حداکثر ارتفاع ۴۵۶۰ متر از سطح دریا در محل قله کسری در ارتفاعات جنوبی حوضه و حداقل ارتفاع ۱۳۷۵ متر در محل خروجی حوضه در محل ایستگاه هیدرومتری پل سلطانی واقع شده است. به لحاظ زمین‌شناسی واحدهای سنگی منطقه تحت مطالعه مربوط به دوره کواترنر می‌باشد. که در اکثر موارد ساختاری سست و شکننده داشته و از ذرات منفصلی برخوردارند که در هنگام بارندگی و یا ذوب برف دامنه‌ها در فصول گرم سال، به‌صورت فرسایش‌های سطحی، شیاری و توده‌ای وارد آبراه‌های فرعی و در نهایت رودخانه اصلی (خیاوچای) می‌شود. شکل ۱ موقعیت منطقه تحت مطالعه را در کشور و ریزحوضه بزرگ خزر نمایش می‌دهد.

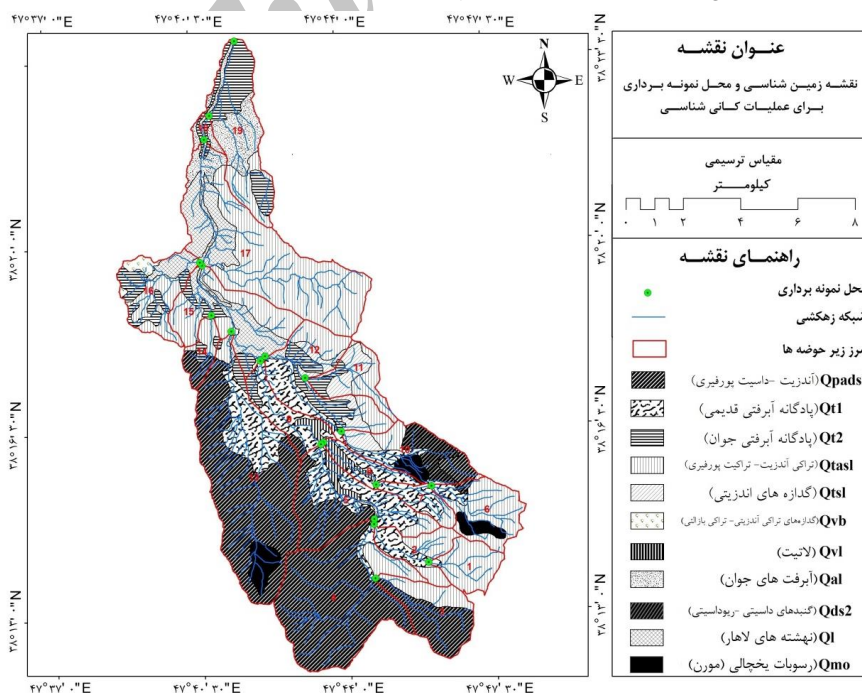
روش تحقیق

مبنای تحقیق در این مطالعه با تهیه نقشه زمین‌شناسی منطقه شکل گرفت. بدین صورت که ابتدا از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ مشگین شهر، محدوده زمین‌شناسی مورد مطالعه در محیط ArcGIS 9.3 استخراج و سپس با کمک

عکس‌های هوایی ۱:۵۰۰۰۰ منطقه و بازدیدهای مکرر میدانی اقدام به تدقیق مرز واحدهای سنگی شد. شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی منطقه مطالعاتی به همراه نقاط نمونه‌برداری و جدول ۱ ویژگی واحدهای سنگی آن را نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت حوزه آبخیز خیاوچای در حوضه بزرگ خزر و کشور



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی به همراه نقاط نمونه‌برداری

جدول ۱. ویژگی‌های زمین‌شناسی و گسترش واحدهای سنگی منطقه

مساحت		نام سازند	علامت	ویژگی‌های سنگ‌شناسی	سن	
درصد	هکتار				دوره	دوران
۴/۲۹	۵۵۸/۶۸۹۱	-	Q <sup>al</sup>	آبرفت‌های جوان	کواترنر	
۷/۸۲	۱۰۱۷/۴۷۸۸	-	Q <sup>2</sup>	پادگانه‌های آبرفتی جوان	"	
۲/۱۱	۲۷۵/۴۴۰۹	-	Q <sup>mo</sup>	رسوبات یخچالی (مورن)	"	
۱۴/۴۲	۱۸۷۵/۶۸۲۳	-	Q <sup>1</sup>	پادگانه‌های آبرفتی قدیمی	"	
۶/۲۰	۸۰۶/۹۴۳	-	Q <sup>l</sup>	لاهار	"	
۱/۵۲	۱۹۷/۹۵۵۷	-	Q <sup>ds2</sup>	گدازه و گنبدهای داسیتی-ریوداسیتی	"	سنوزوئیک
۲۸/۹۷	۳۷۶۷/۵۶۶۶	-	Q <sup>pad</sup> <sub>sl</sub>	آندزیت- داسیت پورفیری	"	
۲۹/۹۱	۳۸۸۹/۱۱۴۳	-	Q <sup>ta</sup> <sub>sl</sub>	تراکی آندزیت- تراکیت پورفیری	"	
۲/۸۲	۳۶۶/۶۳۷۱	-	Q <sup>sl</sup>	گدازه‌های آندزیتی	"	
۰/۴۵۲	۵۸/۸۸۶	-	Q <sup>vb</sup>	جریان‌های گدازه و گدازه‌های برشی تراکی آندزیتی- تراکی بازالتی و فونولیتیکی	"	
۱/۴۳	۱۸۶/۸۶۹	-	Q <sup>l</sup>	لاتیت	"	

واحدهای سنگی تغییر می‌کند صورت پذیرفت و محل دقیق تمامی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه موقعیت یاب جغرافیایی ثبت گردید. شکل ۲ موقعیت محل‌های نمونه برداری را نشان می‌دهد.

#### دانه‌بندی نمونه‌ها

پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه رسوبشناسی به منظور دانه‌بندی نمونه‌ها، از سری الک‌های استاندارد با قطرهای ۶۳، ۱۵۰، ۳۰۰، ۶۰۰، ۱۱۸۰، ۱۷۰۰، ۲۸۰۰ و ۴۰۰۰ میکرون و با بکارگیری صفحه‌ی لرزاننده اقدام به دانه‌بندی رسوبات بستر شد (خیرفام و صادقی، ۱۳۹۳).

#### بررسی ترکیب کانی‌شناسی

به منظور بررسی‌های کانی‌شناسی الک‌های با قطر سوراخ ۶۰۰ میکرون و چهار میلیمتر که بیش‌ترین فراوانی رسوب را شامل می‌شدند به عنوان الک‌های شاخص انتخاب شدند. سپس با انتخاب ۱۰۰ دانه رسوبی از هر نمونه، بررسی‌های کانی‌شناسی با استفاده از میکروسکوپ بینوکلر و با توجه به واقعیت رسوبی منطقه، توجه به حضور واحدهای سنگ‌شناسی مختلف، جنس رسوب ارائه

#### نمونه‌برداری از رسوبات بستر آبراهه‌ها جهت بررسی ترکیب کانی‌شناسی

در این مطالعه پس از پیمایش در مسیر آبراهه و تعیین مناسب‌ترین محل برای نمونه‌برداری، بر مبنای روش نمونه‌برداری انجمن مهندسی عمران آمریکا از عمق ۲۵ سانتیمتری ۱۹ نقطه در بستر آبراهه از ۱/۶، ۵/۶ و ۱/۲ عرض محدوده رسوب‌گذاری در حدود دو کیلوگرم برداشت شد سپس این سه نمونه با یکدیگر مخلوط و یک نمونه ساخته شد. (American Society of Civil Engineers, 2006، نقل از فیض‌نیا، ۱۳۸۷). با توجه به هدف مطالعه، بدلیل سابقه وقوع سیلاب‌های واریزه‌ای در منطقه مطالعاتی، در زمان نمونه‌برداری از بستر آبراهه‌ها سعی بر این شد آبراهه‌هایی که در محدوده مناطق مسکونی جریان دارند، با حساسیت بیش‌تری پیمایش و حتی الامکان تراکم نمونه برداری در این نقاط بیش‌تر باشد. نمونه‌برداری از رسوبات بستر آبراهه به نحوی انجام شد که قابل تعمیم به کل منطقه باشد و در اکثر موارد نمونه‌برداری در محل تلاقی آبراهه‌ها، جایی که جنس

اهمیت نسبی محاسبه شد. اهمیت نسبی که حساسیت به فرسایش هر کدام از واحدهای سنگ‌شناسی را به طور نسبی نشان می‌دهد، با دخالت دادن عامل مساحت از روی سهم اشتراک و پتانسیل رسوب‌زایی به صورت رابطه ۳ (فیض‌نیا، ۱۳۸۷) به دست می‌آید.

$$(۲) \text{ پتانسیل رسوب‌زایی هر واحد سنگی } 100 \times \frac{\text{پتانسیل رسوب‌زایی کل حوضه}}{\text{درصد سهم اشتراک کل}}$$

$$(۳) \text{ اهمیت نسبی هر واحد} = \frac{\text{درصد سهم اشتراک کل هر واحد سنگی}}{\text{درصد مساحت هر واحد سنگی}}$$

سپس با تعیین درصد اهمیت نسبی هر کدام از واحدهای سنگی موجود، درصد سهم هر کدام از واحدها در تولید رسوب حوضه مشخص شد. در گام بعدی برای مشخص نمودن وضعیت فرسایش نسبی هر کدام از واحدهای سنگی با استفاده از رابطه ۴ (فیض‌نیا، ۱۳۸۷، نقل از خدابخش و همکاران، ۱۳۸۹)، اقدام به تعیین شاخص فرسایش برای هر کدام از واحدهای سنگی شد. با نسبت دادن فراوانی‌های مشخص از دانه‌ها به هر واحد همگن X (واحدهای سنگی که اندیس فرسایش در آن‌ها محاسبه می‌شود) و در نظر گرفتن مساحت‌های مرتبط با آن‌ها، شاخص فرسایش برای هر یک از واحدها محاسبه گردید.

$$(۴) \text{ شاخص فرسایش} = \frac{\text{درصد فراوانی رسوب حاصل از واحد همگن } X}{\text{درصد مساحت واحد همگن } X}$$

اعداد به دست آمده از رابطه ۴، فقط منعکس کننده بار بستر می‌باشد. لذا چنانچه بخواهیم بار معلق را در این محاسبات دخالت دهیم، لازم است به پارامترهای مؤثر در ایجاد بار معلق اشاره شود. اولین و مهمترین عامل ایجاد بار معلق، لیتولوژی واحدهای سنگی می‌باشد. به گونه‌ای که سازندهای رسی و مارنی، مؤثرترین بوده و بیشترین بار معلق را در بین سازندها ایجاد می‌کنند. دومین عامل، بافت سنگ‌های موجود در یک سازند است. به گونه‌ای که سنگ‌های منفصل و سست به راحتی بار معلق ایجاد میکنند. علاوه بر این دو عامل سن سازند، تکتونیک منطقه، شیب

شده به وسیله سازندها و بررسی راهنمای نقشه زمین‌شناسی، صورت پذیرفت. در نهایت پس از مطالعه دو غربال برای تک‌تک نمونه‌ها، اقدام به تلفیق نتایج مربوط به دو الک شد. بدین صورت که مجموع دانه‌های مربوط به هر واحد سنگی موجود در هر دو غربال، تقسیم بر تعداد الک‌های شاخص گردید و بدین ترتیب فراوانی رسوب حاصل از هر واحد سنگی با تلفیق نتایج مربوط به دو الک شاخص تعیین شد (جدول ۳).

### تعیین درصد اهمیت نسبی منابع رسوب و مشخص نمودن وضعیت فرسایش نسبی هر واحد سنگی

پس از تعیین فراوانی رسوب حاصل از هر واحد سنگی با استفاده از روابط تجربی مستند، به تعیین درصد اهمیت نسبی هر کدام از منابع رسوب در رسوب تولیدی اقدام شد و وضعیت فرسایشی هر واحد سنگی مشخص گردید. در گام اول به منظور تعیین درصد اهمیت نسبی هر کدام از منابع رسوب، ابتدا با استفاده از رابطه ۱ (فیض‌نیا، ۱۳۸۷)، اقدام به تعیین پتانسیل رسوب‌زایی واحدهای سنگی شد. پتانسیل رسوب‌زایی یک عدد بدون بعد است که با در نظر گرفتن مساحت واحد سنگی به صورت وزنی تعیین می‌شود و بیانگر حساسیت نسبی واحدها در برابر فرسایش می‌باشد که هر چه این نسبت برای هر یک از واحدهای همگن بالاتر باشد رسوب‌زایی نیز بالاتر است. در رابطه زیر واحد همگن همان واحدهای سنگ‌شناسی می‌باشد.

$$(۱) \text{ پتانسیل رسوب‌زایی} = \frac{\text{فراوانی رسوب حاصل از واحد سنگ‌شناسی همگن } X}{\text{فراوانی کل رسوب}} \times 100 = \frac{\text{مساحت واحد همگن (کیلومتر مربع)}}{\text{مساحت کل زیر حوزه آبخیز (کیلومتر مربع)}}$$

پس از تعیین پتانسیل رسوب‌زایی هر کدام از واحدها، با استفاده از رابطه ۲ (فیض‌نیا، ۱۳۸۷)، درصد سهم اشتراک کل برای هر کدام از واحدهای سنگی بدست آمد. برای مشخص نمودن حساسیت هر یک از واحدهای سنگی به فرسایش و تولید رسوب پارامتری تحت عنوان

### نتایج و بحث

نتایج مندرج در جدول ۲ نحوه قرارگیری زیرحوضه‌ها نسبت به یکدیگر را نشان می‌دهد. در خصوص مبنای تعیین هر زیرحوضه بایستی اذعان داشت محلی از بستر آبراهه که نمونه‌برداری در آن صورت گرفته به‌عنوان نقطه خروجی آن زیرحوضه تلقی شده، که بعضی از زیرحوضه‌ها شامل یک زیرحوضه بزرگ‌تر نیز می‌باشد. به‌عنوان مثال زیرحوضه شماره ۵ از مجموعه‌ای از زیرحوضه‌های کوچک‌تر (۱، ۲، ۳ و ۴) تشکیل شده است. به عبارت دیگر، رسوبات تولید شده از زیرحوضه ۱ وارد ریزحوضه ۲ شده و در مورد زیرحوضه‌های ۳ و ۴ نیز به همین منوال روند ادامه یافته و رسوب تولیدی از این چهار زیرحوضه وارد ریزحوضه ۵ می‌شود و به‌ترتیبی که در جدول ۲ آمده است در نهایت رسوب تولیدی از زیرحوضه‌های موجود در بالادست جمع‌آوری شده و همراه با جریان به نقطه خروجی حوضه انتقال می‌یابد. هم‌چنین نتایج نشان می‌دهد ریزحوضه ۱۹ با اینکه کم‌تر از هفت درصد از سطح حوضه را تشکیل داده اما به‌دلیل موقعیت جغرافیایی که دارد و خروجی آن مقارن با خروجی حوزه آبخیز خیاوچای می‌باشد می‌توان گفت منشأ رسوبات نهشته شده در بستر و خروجی این ریزحوضه ترکیبی از پراکنش ذرات واحدهای سنگی موجود در کل حوضه می‌باشد. نتایج حاصل از شمارش خرده‌سنگ‌های مربوط به رسوبات باقی‌مانده در الک‌های شاخص بصورت تلفیقی در جدول ۳ آورده شده است. نتایج مربوطه نشان می‌دهد از مجموع ۱۹۰۰ خرده سنگی که مورد شمارش و سپس شناسایی قرار گرفت، خرده‌سنگ‌های سبز رنگ لاتیتی با ۳۲۴ مورد بیش‌ترین تعداد را به خود اختصاص دادند.

منطقه و انرژی آب از جمله مواردی هستند که در تولید بار معلق مؤثر می‌باشند. بدین ترتیب اعداد بدست آمده از رابطه ۴ با توجه به موارد مذکور و با استناد بر دانش تخصصی و نظر کارشناسی، در عددی بین ۱ تا ۲ ضرب می‌شود. کمترین آن مربوط به واحدهای آهکی و دولومیتی با ضریب ۱ و بیشترین آن مربوط به واحدهای رسی و مارنی با ضریب ۲ می‌باشد و عدد حاصل معرف شاخص فرسایش کل برای هر واحد سنگی می‌باشد (خدابخش و همکاران، ۱۳۸۹). در صورتی که شاخص فرسایش کل بدست آمده برای واحد سنگی بزرگتر از ۳۰۰ باشد معرف وضعیت فرسایش‌پذیری خیلی شدید، بین ۲۰۰ - ۳۰۰ معرف فرسایش‌پذیری شدید، بین ۱۰۰ - ۲۰۰ معرف فرسایش‌پذیری متوسط، بین ۵۰ - ۱۰۰ معرف فرسایش‌پذیری ضعیف و مقادیر کم‌تر از ۵۰ معرف فرسایش‌پذیری خیلی ضعیف می‌باشد (خدابخش و همکاران، ۱۳۸۹). با توجه به موارد یاد شده ذکر این نکته ضروری می‌باشد، پتانسیل رسوب‌زایی، سهم اشتراک و اهمیت نسبی برای واحدهای سنگی موجود در هر ۱۹ زیرحوضه تعیین شد.

در واقع با توجه به این که نمونه‌برداری از خروجی زیرحوضه‌ها انجام گرفته بود، ابتدا به برآورد پارامترهای مذکور به تفکیک هر یک از ریزحوضه‌ها اقدام شد و سپس میانگین سهم اشتراک و اهمیت نسبی زیرحوضه‌ها به‌عنوان سهم اشتراک و اهمیت نسبی کل حوضه محاسبه شد. درخصوص شاخص فرسایش واحدهای سنگی حوضه نیز به همین منوال اقدام شد. در نهایت با استفاده از بررسی ترکیب کانی‌شناسی و با استناد به نتایج مربوط به پتانسیل رسوب‌زایی و شاخص فرسایش، به‌منظور نمایش بصری حساسیت واحدها به فرسایش، نقشه درصد اهمیت نسبی واحدهای سنگی و نیز وضعیت فرسایشی آن‌ها در محیط نرم افزار Arc Map 9.3 تهیه شد.



جدول ۲. نحوه قرارگیری ریزحوضه‌ها نسبت به یکدیگر

حوزه آبخیزخیاو چای	۱۹	۱۸	۱۷	۱۵	۹	۵	۲	۱		
						۸	۴	۳		
							۷	۶		
					۱۲		۱۰			
							۱۱			
									۱۳	
									۱۴	
									۱۶	

جدول ۳. شمارش خرده سنگ‌های مربوط به رسوبات دو الک ۶۰۰ میکرون و چهار میلیمتر (تلفیقی)

ریزحوضه	آلذزیت	تراکمیت پرفیری	داسین پرفیری	ریوداسیت پرفیری	ریوداسین	لاپن	ریولین	توف لاپن	تراکی آلذزیت
۱	۸	۱۵/۵	۴	۰	۱۰/۵	۲۲/۵	۲۷/۵	۰	۸
۲	۱۲/۵	۱۴	۰	۲۰/۵	۰	۱۶	۳	۰	۱۹/۵
۳	۲۲	۱۴/۵	۱۳/۵	۰	۰	۱۸/۵	۷/۵	۰	۱۰
۴	۱۹	۱۷	۲۱/۵	۰	۱۰	۷/۵	۱۲	۱/۵	۶/۵
۵	۱۷/۵	۱۶/۵	۲۱/۵	۰	۹/۵	۲۱	۵/۵	۰	۶/۵
۶	۱۱	۱۸	۱۴	۰	۲۰	۶/۵	۱	۰	۴
۷	۱۷/۵	۲۰	۱۲/۵	۰	۷/۵	۱۴	۱	۰	۱۳/۵
۸	۷	۲۰/۵	۲۸	۰	۱۷/۵	۰	۲	۰	۹
۹	۱۷/۵	۲۰	۱۲/۵	۰	۱۷/۵	۹/۵	۱۰/۵	۰	۹/۵
۱۰	۲	۴/۵	۱۶/۵	۰	۲۸	۱۳	۳۲	۰	۳/۵
۱۱	۱۲	۱۸	۰	۰	۱۲	۱۵	۳۰/۵	۰	۶
۱۲	۵	۲۳/۵	۱۴	۰	۹	۳۵	۵/۵	۰	۵/۵
۱۳	۹/۵	۸	۲۳/۵	۰	۲۲	۱۵/۵	۱۴	۰	۷
۱۴	۲۵	۲۳	۱۸	۰	۵	۲۲/۵	۴	۰	۰/۵
۱۵	۲۰/۵	۱۲/۵	۱۷/۵	۰	۹	۲۸/۵	۷/۵	۰	۲/۵
۱۶	۱۲/۵	۱۹/۵	۱۵	۰	۱۰/۵	۵/۵	۸	۱۵	۷/۵
۱۷	۱۵	۷/۵	۱۶/۵	۰	۷	۳۶	۱۰/۵	۰	۰/۵
۱۸	۶	۱۳/۵	۱۷/۵	۰	۱۲	۱۷/۵	۱۳/۵	۶/۵	۴/۵
۱۹	۱۳/۵	۱۷	۱۲	۰	۱۳/۵	۲۰/۵	۸/۵	۰	۹/۵

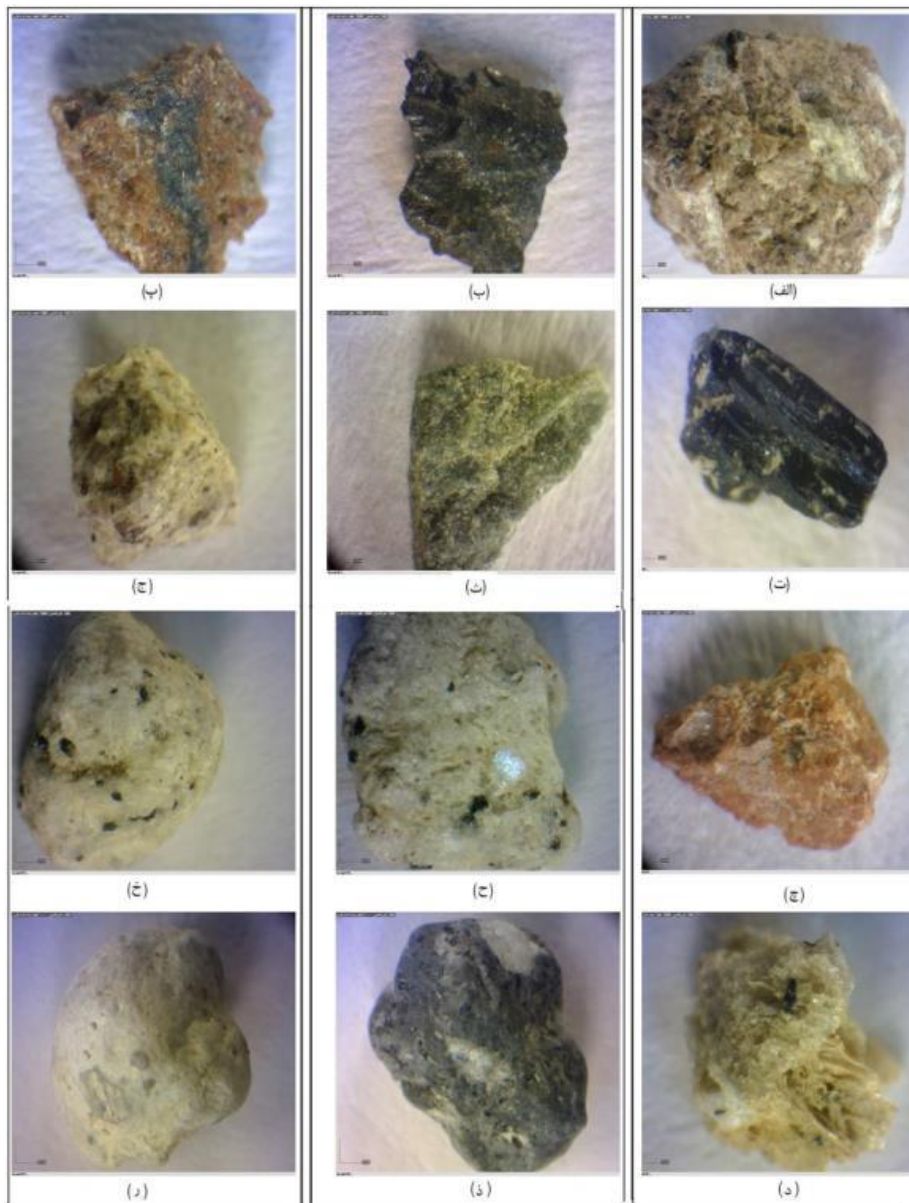
ادامه جدول ۳. شمارش خرده‌سنگ‌های مربوط به رسوبات دو الک ۶۰۰ میکرون و چهار میلیمتر (تلفیقی)

ردیف	توف تراکیتی	توف ریولیتی	تراکی بازالت	بازالت	پومیس	ابسیدین	داسیت	تراکیت
۱	۲	۰	۱/۵	۰	۰	۰/۵	۰	۰
۲	۳	۰	۰	۰	۰	۰	۱۱/۵	۰
۳	۱۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۴	۰/۵	۰	۰	۴/۵	۰	۰	۰	۰
۵	۰	۰	۱/۵	۰/۵	۰	۰	۰	۰
۶	۲/۵	۲/۵	۰	۰	۰	۰	۱۱/۵	۹
۷	۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۶
۸	۱۰	۰/۵	۰	۳	۰	۰	۰	۲/۵
۹	۰	۰	۱/۵	۱/۵	۰	۰	۰	۰
۱۰	۰	۰	۰	۰/۵	۰	۰	۰	۰
۱۱	۱	۰	۰/۵	۰/۵	۰	۰	۴/۵	۰
۱۲	۱	۰	۰	۱/۵	۰	۰	۰	۰
۱۳	۰	۰	۰	۰/۵	۰	۰	۰	۰
۱۴	۰	۰	۰	۱	۰/۵	۰/۵	۰	۰
۱۵	۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۶	۰	۰	۲	۴	۰/۵	۰	۰	۰
۱۷	۲/۵	۰	۰	۴	۰/۵	۰	۰	۰
۱۸	۶/۵	۱	۰	۰/۵	۰	۱	۰	۰
۱۹	۵	۰	۰/۵	۰	۰	۰	۰	۰

ابسیدین، ث) خرده سنگ سبز رنگ لاتیتی، ج) داسیت، چ) توف تراکیتی، ح) خرده سنگ ریوداسیتی، خ) خرده سنگ داسیت پورفیری، د) پومیس، ذ) توف لاتیتی و ر) خرده سنگ ریولیت می‌باشد. از طرفی جداول ۴ و ۵ به ترتیب درصد اهمیت نسبی واحدهای سنگی در تولید رسوب حوضه و نمره کل شاخص فرسایش واحدهای سنگی را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج مندرج در جدول ۴ مشخص است که واحدهای سنگی  $Q_{VL}$ ،  $Q_{s2}^d$  و  $Q^{vb}$  به ترتیب با ۴۵/۵۱، ۳۷/۸۷ و ۶/۲۳ درصد اهمیت نسبی، بیش‌ترین سهم را در تولید رسوب حوضه دارند که در مجموع با سهم کل نزدیک به ۹۰ درصد بیش‌ترین رسوب تولیدی حوضه را به خود اختصاص داده‌اند.

پس از آن خرده‌سنگ‌های شاخص تراکیت پورفیری، داسیت پورفیری، آندزیت، ریوداسیت، ریولیت و تراکی آندزیت به ترتیب با ۳۰۳، ۲۷۸، ۲۵۳، ۲۲۰، ۲۰۴ و ۱۳۳ مورد بیش‌ترین تعداد خرده سنگ‌ها را داشتند.

در مجموع بیش از ۹۰ درصد از مجموع خرده‌سنگ‌های شناسایی شده در واحدهای سنگی مذکور مشاهده شد. سایر خرده سنگ‌ها با کم‌تر از ۱۰ درصد رسوبات شناسایی شده از واحدهای توف لاتیتی، توف تراکیتی، توف ریولیتی، بازالت، پومیس، تراکی بازالت، ابسیدین و داسیت بودند. شکل ۳ به ترتیب نشان‌دهنده تصاویر میکروسکوپی (بینوکولر با بزرگنمایی ۴۰ برابر) خرده‌سنگ‌های شاخص الف) خرده سنگ تراکیت پورفیری، ب) بازالتی، پ) خرده سنگ آندزیتی، ت)



شکل ۳. نمونه ای از خرده سنگ‌های شاخص شناسایی شده در زیر میکروسکوپ بینوکولر (با بزرگنمایی ۴۰ برابر)

فرسایش و تولید رسوب شده است، مطابقت دارد. نتایج مندرج در جدول ۵ نیز نشان می‌دهد واحدهای  $Q_{s2}^d$ ،  $Q_{VL}$ ،  $Q_{sl}^{al}$ ،  $Q_{sl}^{pad}$ ،  $Q_{sl}^{al}$  و  $Q_{sl}^{ta}$  پس از اعمال ضریب بار معلق، به ترتیب دارای امتیاز شاخص فرسایش کل برابر با ۱۰۵۳/۱۴، ۹۳۹/۱۱، ۴۷۶/۰۳، ۴۳۷/۲۶، ۴۰۴/۴۵ و ۲۶۹/۶۵ شدند که در وضعیت فرسایشی شدید و خیلی شدید قرار دارند .

که به دلیل گسترش در بخش‌های میانی حوضه و قرار گرفتن در دو طرف زهکش اصلی همواره در طول سال مورد فرسایش قرار گرفته و سهم بسزایی در تولید رسوب حوضه دارد که با یافته‌های نجفی نژاد و همکاران (۱۳۸۶) مبنی بر اینکه عبور رودخانه زیارت از روی سازند تول بنه موجب ناپایداری این واحد و کاهش مقاومت آن در برابر

جدول ۵. درصد اهمیت نسبی واحدهای سنگی مختلف در تولید رسوب حوزه آبخیز خیاوچای

واحدهای سنگی	پتانسیل رسوب‌زایی	سهم اشتراک کل (%)	مساحت هر واحد سنگی		اهمیت نسبی	درصد اهمیت نسبی
			(هکتار)	(درصد)		
Q <sub>sl</sub> <sup>ta</sup>	۱/۷۹۷	۵/۳۱	۳۸۸۹/۱۱۴۱	۲۹/۹	۰/۱۷۷	۰/۳۶۳
Q <sub>sl</sub> <sup>pad</sup>	۳/۹۷۵	۱۱/۷۵	۳۷۶۷/۵۶۶۶	۲۹/۰	۰/۴۰۵	۰/۸۲۹
Q <sup>mo</sup>	۰/۴۹۴	۱/۴۶	۲۷۵/۴۴۰۹	۲/۱	۰/۶۹۵	۱/۴۲۳
Q <sup>l</sup>	۰/۳۰۳	۰/۸۹۶	۸۰۶/۹۴۳	۶/۲	۰/۱۴۴	۰/۲۹۵
Q <sup>al</sup>	۲/۷۲	۸/۰۴۶	۵۵۸/۶۸۹۱	۴/۳	۱/۸۷۱	۳/۸۲۷
Q <sub>2</sub> <sup>t</sup>	۰/۳۴۲	۱/۰۱۱	۱۰۱۷/۴۷۸۸	۷/۸	۱/۲۹	۰/۲۶۵
Q <sub>sl</sub> <sup>t</sup>	۱/۰۳۸	۳/۰۷	۳۶۶/۶۳۷۱	۲/۸	۱/۰۹۶	۲/۲۴۲
Q <sub>1</sub> <sup>t</sup>	۲/۶۹۶	۷/۹۷	۱۸۷۵/۶۸۲۳	۱۴/۴	۰/۵۵۴	۱/۱۳۲
Q <sup>vb</sup>	۰/۵۱۵	۱/۵۲۳	۵۸/۸۸۶	۰/۵	۳/۰۴۷	۶/۲۳۱
Q <sub>s2</sub> <sup>d</sup>	۹/۳۹۱	۲۷/۷۸	۱۹۷/۹۵۵۷	۱/۵	۱۸/۵۲۱	۳۷/۸۷
Q <sub>v1</sub>	۱۰/۵۳۱	۳۱/۱۵۴	۱۸۶/۸۶۹	۱/۴	۲۲/۲۵۳	۴۵/۵۱

جدول ۶. شاخص فرسایش و وضعیت فرسایش نسبی واحدهای سنگی مختلف حوزه آبخیز خیاوچای

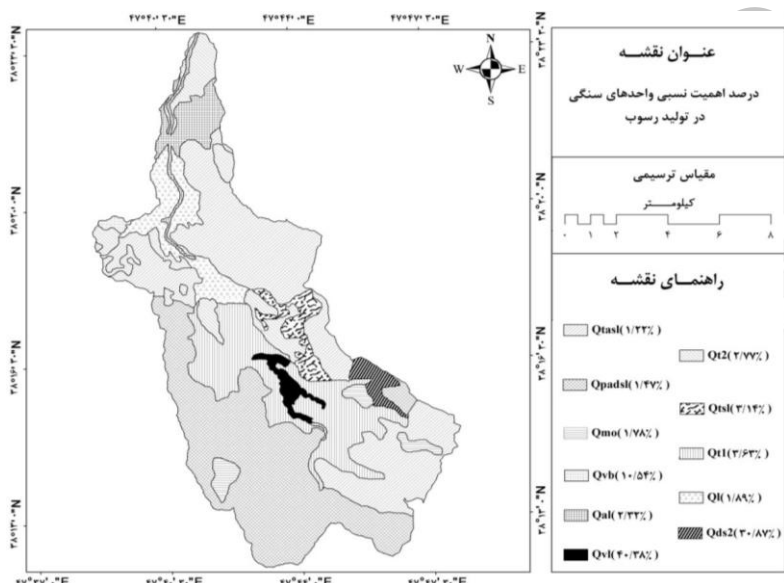
واحدهای سنگی	شاخص فرسایش	ضریب بار معلق	شاخص فرسایش کل (پس از اعمال ضریب بار معلق)	وضعیت فرسایش
Q <sup>l</sup>	۳۰/۳۰	۱/۵	۴۵/۴۵	خیلی ضعیف
Q <sup>mo</sup>	۴۹/۳۹	۱	۴۹/۳۹	خیلی ضعیف
Q <sup>vb</sup>	۵۱/۵۶	۱	۵۱/۵۶	ضعیف
Q <sub>2</sub> <sup>t</sup>	۳۴/۲۲	۱/۷۵	۵۹/۸۹	ضعیف
Q <sub>sl</sub> <sup>t</sup>	۱۰۳/۸۱	۱/۱	۱۱۴/۱۹	متوسط
Q <sub>sl</sub> <sup>ta</sup>	۱۷۹/۷۷	۱/۵	۲۶۹/۶۵	شدید
Q <sub>1</sub> <sup>t</sup>	۲۶۹/۶۳	۱/۵	۴۰۴/۴۵	خیلی شدید
Q <sub>sl</sub> <sup>pad</sup>	۳۹۷/۵۱	۱/۱	۴۳۷/۲۶	خیلی شدید
Q <sup>al</sup>	۲۷۲/۰۱	۱/۷۵	۴۷۶/۰۳	خیلی شدید
Q <sub>s2</sub> <sup>d</sup>	۹۳۹/۱۱	۱	۹۳۹/۱۱	خیلی شدید
Q <sub>v1</sub>	۱۰۵۳/۱۴	۱	۱۰۵۳/۱۴	خیلی شدید

(بیش از ۷۰ درصد) از بخش‌های میانی و شرقی حوزه وارد آبراهه‌ها شده که وجود فرسایش‌های توده‌ای، لغزش‌های کم عمق کنار آبراهه‌ای و نیز حضور واریزه‌ها دلیل مبرمی بر این موضوع می‌باشد که با یافته‌های

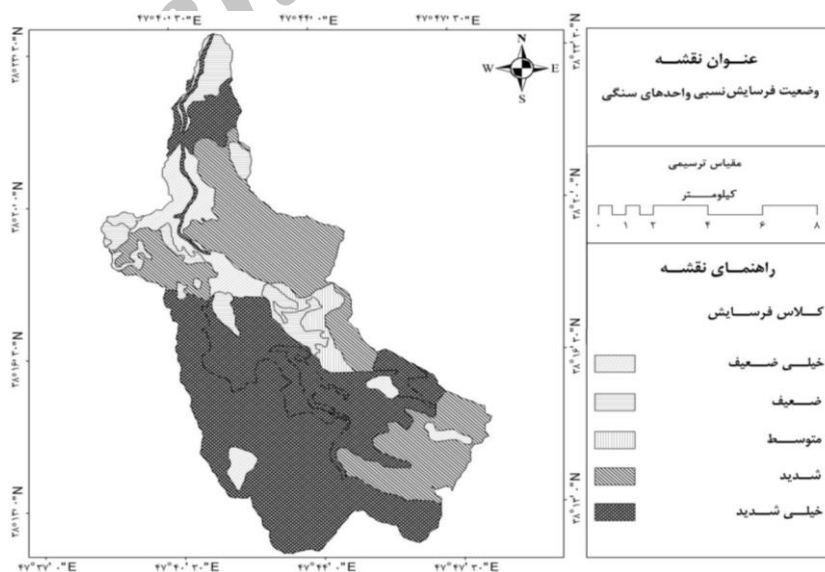
به‌منظور نمایش بصری حساسیت واحدهای سنگ‌شناسی به فرسایش، همان‌طوری که در نقشه درصد اهمیت نسبی واحدهای سنگی در تولید رسوب در شکل ۴ مشخص است، به لحاظ گسترش مکانی بیش‌ترین رسوب تولیدی

خیلی شدید برخوردارند (شکل ۵). نزدیکی نتایج مربوط به دو بخش تعیین درصد اهمیت نسبی واحدهای سنگی در تولید رسوب و مشخص نمودن وضعیت فرسایش نسبی واحدهای سنگی، کارآیی بالای روش منشاء‌یابی کانی‌شناسی را در تعیین حساسیت واحدهای سنگی به فرسایش نشان می‌دهد که کاملاً مطابق با یافته‌های نجفی و صادقی (۱۳۹۲)، صمدی ارقینی و همکاران (۱۳۹۳)، تیموریان و همکاران (۱۳۹۴) می‌باشد.

نجفی نژاد و همکاران (۱۳۸۶) کاملاً مطابقت دارد. به‌طوریکه در هر دو مطالعه فرسایش‌های توده‌ای به‌ویژه لغزش‌های کم عمق کنار آبراه‌های نقش مهمی در تولید رسوب برای وقوع سیلاب و آریزه‌ای دارد. در این راستا بازدیدهای میدانی نیز صحت این موضوع را تأیید نمودند. نتایج مربوط به وضعیت فرسایش نسبی واحدها بصورت مکانی، حاکی از آن بود که به جزء نوار باریکی از میانه حوضه سایر مناطق از وضعیت فرسایش نسبی شدید تا



شکل ۴. نقشه درصد اهمیت نسبی واحدهای سنگی حوزه آبخیز خیاوچای در تولید رسوب



شکل ۵. نقشه وضعیت فرسایش نسبی واحدهای سنگی حوزه آبخیز خیاوچای

## نتیجه گیری

مطالعات کانی‌شناسی در حوزه آبخیز خیاوچای نشان داد که واحد سنگی  $Q_{VI}$  (متشکل از خرده‌سنگ‌های سبز رنگ لاتیتی) در نه ریزحوضه از ۱۹ زیرحوضه گسترش داشته و رسوب ناشی از آن ابتدا وارد ریزحوضه پنجم شده و از این ریزحوضه به زیرحوضه‌های پایین‌تر جریان پیدا می‌کند. لذا واحد سنگی  $Q_{VI}$  حساس‌ترین واحد سنگی به فرسایش در منطقه مطالعاتی شناسایی شده که بیش‌ترین سهم در تولید رسوب حوزه آبخیز خیاوچای را دارد. فرارگیری این واحد سنگی در محدوده ارتفاعی ۲۳۰۰ تا ۳۰۰۰ متری، آن را بیش از پیش به تخریب مکانیکی حساس نموده است. از آنجایی که محدوده مورد مطالعه در طول سال از نوسانات دمایی بالایی برخوردار می‌باشد همین امر دلیل مبرمی بر انقباض و انبساط مداوم لاتیت در طول شبانه‌روز بوده که منجر به خرد شدن آن و تولید رسوب بالا می‌باشد. دلیل مهم دیگر گسترش واحد سنگی  $Q_{VI}$  در دو طرف زهکش اصلی حوضه می‌باشد که همواره تحت تأثیر فرآیندهای فرسایشی قرار داشته و رسوب زیادی را وارد رودخانه می‌کند. و به همراه واحدهای سنگی  $Q_{s2}^d$ ،  $Q^{al}$ ،  $Q_{s1}^{pad}$  و  $Q_1^l$  در وضعیت فرسایشی خیلی شدیدی نسبت به بقیه واحدهای سنگی قرار دارند. هم‌چنین ۴۹/۲ و ۲۹/۹ درصد از سطح حوضه به ترتیب در وضعیت فرسایش خیلی شدید و شدید قرار دارد که در مجموع ۷۹/۱ درصد از سطح حوضه وضعیت نامطلوبی به لحاظ فرسایش داشته که بازدیدهای میدانی نیز ظهور انواع مختلف اشکال فرسایشی در آبخیز خیاوچای را تأیید کرد. به‌طور کلی با ارزیابی نتایج مربوط به دو بخش تعیین

درصد اهمیت نسبی واحدهای سنگی در تولید رسوب و مشخص نمودن وضعیت فرسایش نسبی واحدهای سنگی نتیجه می‌شود واحدهای سنگی  $Q_{VI}$  و  $Q_{s2}^d$  که به ترتیب بیش‌ترین سهم را در تولید رسوب حوضه دارند دارای وضعیت فرسایشی خیلی شدید می‌باشند. اخذ این نتایج مبنی بر تأیید کلی نتایج مربوط به روش انگشت‌نگاری رسوب در بررسی حساسیت واحدهای سنگی به فرسایش دارد. هم‌چنین می‌توان به نقش مهم سلسله روابط تجربی در تحلیل گام به گام نتایج آزمایشگاهی اشاره داشت که در مطالعات پیشین بصورت جزئی مورد توجه قرار گرفته بود که در این تحقیق بصورت جامع مورد استفاده قرار گرفت. از این رو پیشنهاد می‌شود از روش کانی‌شناسی به‌عنوان یک روش اقتصادی، قابل اعتماد و نسبتاً زودبازده در شناسایی و اولویت‌بندی مناطق فرسایش‌پذیر آبخیزها در راستای اقدامات مدیریتی و دست‌یابی به اهداف متصوره در حفظ منابع آب و خاک استفاده شود. به‌منظور افزایش اطمینان از نتایج اخذ شده با این روش، انجام تحقیقات گسترده با دیگر روش‌های تعیین حساسیت و فرسایش‌پذیری واحدهای سنگی در مناطق مشابه توصیه می‌شود.

## سپاسگزاری

از دوست گرانقدر، جناب آقای مهندس بهروز گل‌حسن که در تهیه عکس از کانی‌ها و خرده سنگ‌ها بنده را همراهی نمودند و نیز تمامی عزیزانی که به‌نحوی در تدوین این اثر یاری رساندند، تشکر و قدردانی می‌شود.

## فهرست منابع

پادیاب، م. و فیض‌نیا، س. ۱۳۹۱. تعیین نقش سازندهای مختلف زمین‌شناسی حوزه آبخیز بالادست عرصه پخش سیلاب گچساران در تولید رسوب. نشریه مرتع و آبخیزداری، ۶۵ (۴): ۴۷۳-۴۸۲

- تیموریان، ت.، فیض‌نیا، س.، سید علی‌خانی، س. د. و صمدی ارقینی، ح. ۱۳۹۴. ارزیابی حساسیت به فرسایش حوزه آبخیز فشند با استفاده از روش‌های کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی. مجله پژوهش‌های محیطی، ۵ (۳): ۶۰-۷۰.
- حکیم‌خانی، ش.، احمدی، ح.، غیومیان، س.، فیض‌نیا، س. و بی‌همتا، م. ر. ۱۳۸۶. تعیین ترکیب مناسبی از عناصر ژئوشیمیایی برای جداسازی واحدهای سنگ‌شناسی حوضه پخش سیلاب پلدشت. مجله منابع طبیعی ایران، ۶۰ (۳): ۶۹۳-۷۱۱.
- خدابخشی، ز.، ارزانی، ن.، عبداللهی، خ. و داودیان، ع. ۱۳۸۹. مطالعه فرسایش‌پذیری واحدهای سنگی و تولید رسوب با استفاده از مدل EPM به کمک GIS در بخشی از حوزه آبخیز زاینده‌رود - حوضه حیدری شمال شهرکرد. پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، ۲۶ (۲): ۳۳ - ۴۸.
- خیرفام، ح. و صادقی، س. ح. ر. ۱۳۹۳. تاثیر برداشت شن و ماسه بر میزان بار رسوبی و دانه‌بندی بار بستر در رودخانه کجور. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۸ (۲۶): ۲۷-۳۴.
- صادقی، س. ح. ر.، نور، ح.، فضلی، س. و ریسی، م. ب. ۱۳۹۰. تخمین رسوب رگبار بر اساس متغیرهای بارش و رواناب در حوزه آبخیز آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس. مجله دانش آب و خاک، ۲۱ (۲): ۱۴۹-۱۵۸.
- صمدی ارقینی، ح.، فیض‌نیا، س. و نظری، ع. الف. ۱۳۹۳. بررسی سهم واحدهای سنگی در تولید رسوب با استفاده از ویژگی‌های کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی، مطالعه موردی: حوزه آبخیز حسن ابدال زنجان. نشریه مهندسی و مدیریت آبخیز، ۶ (۳): ۷۴۲-۷۵۲.
- فیض‌نیا، س. ۱۳۸۷. رسوب‌شناسی کاربردی با تاکید بر فرسایش خاک و تولید رسوب، انتشارات دانشکده علوم کشاورزی و منبع طبیعی گرگان، ۳۵۶ صفحه.
- نجفی، س. و صادقی، س. ح. ر. ۱۳۹۲. تعیین سهم منابع تولید رسوب از طریق مقایسه نتایج روش‌های تهیه نقشه سیمای فرسایش، انگشت‌نگاری و اندازه‌گیری میدانی، نشریه مهندسی و مدیریت آبخیز، ۵ (۳): ۱۶۶-۱۷۹.
- نجفی نژاد، ع.، فیض‌نیا، س.، بنی‌حبیب، م. الف.، احمدی، ح. و زکی‌خانی، س. ۱۳۸۶. ویژگی‌های رسوب‌شناسی سیلاب واریزه ای و مقایسه آن با منطقه منشأ در حوزه آبخیز زیارت گرگان، مجله منابع طبیعی ایران، ۶۰ (۱): ۴۵-۵۲.
- American Society of Civil Engineers. 2006. Sedimentation Engineering: Theory, Measurements, Modeling and Practice. 1801 Alexander Bell Drive, Reston, VA, USA, 424 pp.
- Bayramin, I., Dengiz, O., BAŞKAN, O. and Parlak, M. 2003. Soil erosion risk assessment with ICONA model; case study: Bey pazarı area. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 27(2): 105-116.
- Brown, L.L. and McEnroe, S.A., 2012. Paleomagnetism and magnetic mineralogy of Grenville metamorphic and igneous rocks, Adirondack Highlands, USA. Precambrian Research, 212: 57-74.
- Collins, A.L. and Walling, D.E. 2002. Selecting fingerprinting properties for discriminating potential suspended sediment sources in river basins. Journal of Hydrology, 261: 218-244.
- Collins, A.L. and Walling, D.E. 2004. Documenting catchment suspended sediment sources: problems, approaches and prospects. Progress in Physical Geography, 28: 159-196.
- Loughran, R.J., Campbell, B.L., Shelly, D.J. and Elliott, G.L. 1992. Developing a sediment budget for a small drainage basin in Australia. Hydrological processes, 6(2): 145-158.
- Ownegh, M. and Nohtani, M. 2003. Relationship between geomorphologic units and erosion and sediment yield in kashidar watershed, Golestan province, Iran. 13th International soil Conservation Organization Conference - Brisbane July 2004.
- Peart, M.R. and Walling, D.E. 1988. Techniques for establishing suspended sediment sources in two drainage basins in Devon, UK: a comparative assessment. IN, Sediment Budgets, IAHS Publication, 174 pp.
- Pulley, S. and Rowntree, K. 2016. The use of an ordinary colour scanner to fingerprint sediment sources in the South African Karoo. Journal of environmental management, 165: 253-262.
- Sadeghi, S.H.R., Najafi, S., Riyahi Bakhtiari, A. and Abdi, P. 2014. Ascribing soil erosion types for sediment yield using composite fingerprinting technique. Hydrological Sciences Journal, 59(9): 1753-1762.

- Shaw, J.N., Truman, C.C. and Reeves, D.W. 2002. Mineralogy of eroded sediments derived from highly weathered Ultisols of central Alabama. *Soil and Tillage Research*, 68(1): 59-69.
- Vale, S.S., Fuller, I.C., Procter, J.N., Basher, L.R. and Smith, I.E. 2016. Characterization and quantification of suspended sediment sources to the Manawatu River, New Zealand. *Science of the Total Environment*, 543: 171-186.
- Walling, D. E. and Woodward, J. C. 1995. Tracing sources of suspended sediment in river basins: a case study of the River Culm, Devon, UK. *Marine and Freshwater Research*, 46: 327-336.
- Walling, D.E. 2005. Tracing suspended sediment sources in catchments and river systems. *Science of the Total Environment*, 344: 159-184.
- Williams, G.P. 1983. Paleohydrological methods and some examples from Swedish fluvial environments I. Cobble and boulder deposits. *Geografiska Annaler, Series A*, 65(3-4): 227-243.
- Wood, P.A. 1978. Fine-sediment mineralogy of source rocks and suspended sediment, Rother Catchment, West Sussex. *Earth Surface Processes*, 3: 255-263.

Archive of SID



## Investigation of lithological units susceptibility of erosion using mineralogical characteristics

Seyedsaid. Ghiasi<sup>1\*</sup>, Sadat Feiznia<sup>2</sup>, Alireza Moghadam nia<sup>3</sup> and Somaye Najirad<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup>) M.Sc., Department of Rehabilitation Dry and Mountain Areas, University of Tehran, Alborz, Iran

\*Corresponding author email: [saeid.ghiasi@ut.ac.ir](mailto:saeid.ghiasi@ut.ac.ir)

2) Professor, Department of Rehabilitation Dry and Mountain Areas, University of Tehran, Alborz, Iran

3) Associate Professor, Department of Rehabilitation Dry and Mountain Areas, University of Tehran, Alborz, Iran

4) Young Researchers and Elite Club, Ardabil Branch, Islamic Azad University, Ardabil, Iran

Received: 25-05-2016

Accepted: 14-08-2016

### Abstract

Soil resource conservation requires management approaches and provides appropriate solutions that can be achieved by knowing nature of rock units and relative importance of main sediment sources. The aim of this study is to determine role of each lithological unit in sediment generation and to recognize their erosion conditions. For this purpose after sampling the sediment source and sediments of waterways of Kiov-chai Watershed, grading was performed for all samples by dry sieving. Then, 600 micron and 4 mm sieves were selected as indicators and by choosing 100 grains of sediment from each sample, mineralogical analysis was performed using a pair of binocular and considering mineral and rock fragments the results were compared with and adapted to the lithological units and the share percentage of each stone, was determined by counting the number of minerals and rock fragments. The results showed,  $Q_{v1}$  lithological unit has the highest share in sediment yield with a 45.51 percent and has the very severe erosion status with total erosion index score with a 1053.14 which can be justified completely due to extensive degradation and its spread on both sides of the main river. After  $Q_{v1}$  lithological unit,  $Q_{s2}^d$  and  $Q^{vb}$  lithological units have the highest share in sediment yield with a 30.87 and 10.54 percent, respectively and  $Q_{s1}^{ta}$  lithological unit has the lowest share in sediment yield with a 45.51 percent.

**Keywords:** erodibility, erosion index, fingerprinting, Kiov-chai watershed, potential sediment yield